9 GEOGRAFÍA PARA EL SIGLO XXI SERIE: LIBROS DE INVESTIGACIÓN

Centro-Occidente de México

Variación climática e impactos en la producción agrícola

Rebeca Granados Ramírez
Teresa Reyna Trujillo
Coordinadoras

IG INSTITUTO DE GEOGRAFÍA UNAM

Centro-Occidente de México
Variación climática e impactos en la producción agrícola

Rebeca Granados Ramírez
Teresa Reyna Trujillo
(Coordinadoras)

México, 2012

Centro-Occidente de México: variación climática e impactos en la producción agrícola / coord. Rebeca Granados Ramírez y Teresa Reyna Trujillo.--México: UNAM, Instituto de Geografía, 2012.
223 p.; 22 cm. (Geografía para el Siglo XXI; Serie Libros de Investigaciòn: 9)
Incluye bibliografías
ISBN 970-32-2976-X (obra completa)
ISBN 978-607-02-3639-6

1. Región Centro-Occidente - México, 2. Cambio climático - Impacto en la producción agrícola, 3. Cambio climático - Impactos hidrológicos y sociales, I. Granados Ramírez, Rebeca, II. Reyna Trujillo, Teresa, III. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía, IV. Serie.

Centro-Occidente de México. Variación climática e impactos en la producción agrícola

Primera edición, agosto de 2012

D.R. © 2012 Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad Universitaria
Coyoacán, 04510
México, D. F.
Instituto de Geografía
www.unam.mx
www.igeograf.unam.mx

Prohibida la reproducción parcial o total
por cualquier medio, sin la autorización escrita
del titular de los derechos patrimoniales.

La presente publicación presenta los resultados de una investigación científica
y contó con dictámenes de expertos externos, de acuerdo con las normas editoriales
del Instituto de Geografía.

Proyecto PAPIIT IN-307908
"Variaciones de la precipitación y temperatura e impacto en la producción
agrícola de la región Centro-Occidente de México"

Geografía para el siglo XXI (Obra general)
Serie Libros de de investigación
ISBN: 970-32-2976-X
ISBN: 978-607-02-3639-6

Impreso y hecho en México

Agradecimientos

Se hace patente el apoyo y colaboración de las instituciones y personas que hicieron posible la realización y publicación de esta obra: Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que financió el proyecto IN-307908 durante el desarrollo de la investigación y publicación de sus resultados. Al Instituto de Geografía de la UNAM, por la utilización de la infraestructura y el tiempo dedicado de su personal académico en la investigación misma y a lo largo del proceso editorial. Así como a los colegas de las dependencias: Colegio de Geografía, Instituto de Ecología y Facultad de Estudios Superiores Acatlán y Zaragoza. También a los de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). A Jacobo Karim Bautista y Alma Luz Cabrera por la elaboración de varios mapas que conforman esta obra; a Sara Jane Velázquez Juárez y Rafael Salceda López, por su participación en la transcripción de textos, imágenes y mapas.

Contenido

Introducción 11

Primera parte: Aspectos generales

Capítulo 1. Delimitación geográfica de la región Centro-Occidente 17
Rebeca Granados Ramírez y Teresa Reyna Trujillo

Capítulo 2. Dinámica atmosférica y climatológica 31
Teresa Reyna Trujillo, Rebeca Granados Ramírez y Gabriela Gómez Rodríguez

Segunda parte: Indicadores agroclimáticos y su aplicación

Capítulo 3. Los indicadores climáticos en la planeación agrícola 51
Rebeca Granados Ramírez y María de la Paz Medina Barrios

Capítulo 4. Distribución de las horas frío y alteraciones 63
ante el fenómeno de El Niño
Rebeca Granados Ramírez, Stacy Hernández Millán y Teresa Reyna Trujillo

Capítulo 5. Respuesta fenológica del aguacate (*Persea americana* Mill) 77
al gradiente climático en Michoacán
Luis Mario Tapia Vargas, Antonio Larios Guzmán y Víctor L. Barradas Miranda

Capítulo 6. Variabilidad del periodo de crecimiento 95
y alteraciones con el fenómeno del ENOS
María de la Paz Medina Barrios, Rebeca Granados Ramírez y Fernando M. Cortina Cerdeña

Capítulo 7. Duración, frecuencia e intensidad de la sequía 115
por medio del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)
Gabriel Díaz Padilla, Ignacio Sánchez Cohen
y Rafael Alberto Guajardo Panes

Capítulo 8. Variabilidad climática e impactos hidrológicos y sociales 137
Ignacio Sánchez Cohen, Gabriel Díaz Padilla,
Miguel Á. Velásquez Valle y Rafael Alberto Guajardo Panes

Tercera parte: Indicadores físico-socioeconómicos y producción agrícola

Capítulo 9. Ordenamiento territorial de la región Calpulalpan, ... 155
Tlaxcala, México
Genaro Aguilar Sánchez y Juventino Reza Salgado

Capítulo 10. Comercialización, industrialización, ... 177
transformación y problemática de la tuna en la región
de Zumpango, Estado de México
Alfonso Moreno de Gante y Pablo Pérez Akaki

Anexo 201

Bibliografía 207

Introducción

La región Centro-Occidente fisiográficamente ocupa la parte sur de la Altiplanicie Mexicana conocida como Meseta Central, misma que por las condiciones físico-geográficas favorables, junto con diversos acontecimientos histórico-económicos, coadyuvaron a que alcanzara un progresivo desarrollo económico. Dentro de las condiciones físicas, el clima templado predominante favoreció dicho impulso. Desde el enfoque de la economía ecológica, los ecosistemas de las zonas templadas se consideran de alta y moderada productividad económica, y desde la perspectiva de los "índices de confort", poseen un clima en términos coloquiales "agradable", donde se asientan ciudades importantes, entre otras: Querétaro, Morelia, Toluca y la Ciudad de México. Sin embargo, en los últimos años se han agotado algunos recursos y se observan cambios en el clima que están afectando las actividades económicas, esto ha llevado a realizar un nuevo diagnóstico del estado que guardan los recursos naturales y a conocer el comportamiento actual y la distribución en el espacio del clima.

Por lo anterior y con la participación de diversos académicos, se integró este libro cuya la finalidad es estudiar dicha zona desde el enfoque agroclimático, se analizaron y aplicaron algunos indicadores termopluviométricos que por efecto del fenómeno El Niño, por ejemplo, han variado afectando así la temporalidad y la distribución general de los elementos climáticos, lo que ha repercutido en la forma tradicional que tenían los campesinos y productores agropecuarios temporaleros de llevar a cabo las prácticas agrícolas, reflejándose finalmente en afectaciones a la producción.

Los temas abordados incluyen conceptos teóricos, nuevas metodologías e investigaciones de caso que se estructuraron en tres partes. La primera, *Aspectos generales*, está conformada por dos capítulos, en el primero Rebeca Granados y Teresa Reyna abordan la ubicación de la región en el contexto nacional y las condiciones físico-geográficas que junto con acontecimientos histórico-económicos permitieron definir y delimitar varias regiones en el país, tomando en cuenta principalmente el uso agrícola de cada una de ellas y la forma en que éste se ha visto amenazado por el crecimiento de los grandes centros urbanos y el agota-

miento que a través del tiempo han sufrido los recursos naturales. En el segundo capítulo, Teresa Reyna, Rebeca Granados y Gabriela Gómez analizan uno de los recursos de importancia vital para el desarrollo agrícola –el clima–; en principio, explican la dinámica atmosférica que impera en la República Mexicana y particularmente en la región en estudio; analizan la distribución de los elementos temperatura y precipitación y los grupos, subgrupo y tipos climáticos en la misma. La segunda parte, *Indicadores agroclimáticos y su aplicación,* cubre seis apartados y se inicia con una revisión de las funciones que la temperatura y la precipitación ejercen en el desarrollo de los cultivos. Exponen además, Rebeca Granados y María de la Paz Medina en el capítulo tres, el desarrollo logrado por la disciplina que estudia las relaciones clima-agricultura y las diferentes expresiones cuantitativas que se han derivado de estos elementos del clima. Los capítulos cuatro y cinco de este bloque abordan indicadores derivados de la temperatura, Rebeca Granados, Stacy Hernández y Teresa Reyna resaltan la importancia de las horas frío en México y particularmente en la región en estudio, ya que a la acumulación de esta variable no se le da la importancia debida en la planeación, aplicación y/o apertura de nuevas áreas frutícolas; analizaron también los cambios que registró el indicador ante la influencia del fenómeno El Niño. Por otro lado, Luis Mario Tapia, Antonio Larios y Víctor L. Barradas exponen los efectos de la temperatura en la fenología de las plantas, en particular señalan que el aguacate, al igual que muchos de los frutales leñosos, presentan un comportamiento en sus estados fenológicos en función de la temperatura, se puede tener uniformidad en dos o tres factores físicos, pero al variar la temperatura la respuesta en las plantas también es diferente, pudiéndose adelantar o retrasar o simplemente no presentarse una etapa fenológica específica. Los cambios de los elementos del clima repercuten en los tiempos que tienen los productores para llevar a cabo las labores agrícolas, así María de la Paz Medina, Rebeca Granados y Fernando M. Cortina en el capítulo seis, analizaron la Duración del Periodo de Crecimiento (DPC) e Inicio del Periodo de Crecimiento (IPC) de forma normal histórica y los cambios registrados en años donde se presentaron variaciones oceánicas y atmosféricas ante la presencia del fenómeno del ENOS. Por otro lado, se pone de manifiesto la distribución y el comportamiento de indicadores derivados de la precipitación, mismos que en los últimos años causan mayor preocupación, ya que se están presentando de manera atípica, son más severos y cubren mayores superficies, así Gabriel Díaz, Ignacio Sánchez y Rafael A. Guajardo analizaron la intensidad de la sequía mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para determinar en la región Centro–Occidente si existe déficit o exceso de humedad y su variación anual ante la presencia del fenómeno El Niño. En el capítulo ocho

Ignacio Sánchez, Gabriel Díaz, Miguel A. Velásquez y Rafael A. Guajardo, enfatizan la importancia de la agricultura en los estados de Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Hidalgo y Puebla, donde los ingresos de los campesinos y productores provienen en gran parte de esta actividad, de acuerdo con los datos arrojados por los modelos de cambio climático analizados, los recursos hídricos disminuirán y es de esperarse un fuerte impacto en el ingreso familiar ante las vicisitudes climáticas.

El tercero y último bloque *Indicadores físico-socioeconómicos y producción agrícola*, se integró con dos capítulos, Genaro Aguilar y Juventino Reza estudian además de las condiciones climáticas, otros elementos físico-geográficos importantes para llevar a cabo un ordenamiento territorial, teniendo como caso de estudio Calpulalpan, Tlaxcala. En el último capítulo Alfonso Moreno y Pablo Pérez abordan la investigación sobre el fruto de la tuna, fitorecurso con importancia dual debido a que es un cultivo originario de México y posee requerimientos mínimos ambientales en relación con otros productos alimenticios lo cual hace potencialmente alternativo para introducirse en nuevas áreas con condiciones físicas y climáticas precarias; sus autores abordaron las diferentes etapas productivas por las que pasa el fruto desde su manejo en campo hasta la comercialización; el espacio en estudio fue el Distrito de Desarrollo de Zumpango, Estado de México, ya que es el más importante a nivel nacional por la alta producción que tiene y la amplia extensión que ocupa.

Primera parte: Aspectos generales

Capítulo 1. Delimitación geográfica de la región Centro-Occidente

Rebeca Granados Ramírez
Teresa Reyna Trujillo
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

Las regiones y la regionalización son, respectivamente, una herramienta conceptual y un procedimiento metodológico útiles en la diferenciación de escenarios, tanto naturales como socialmente construidos (López y Sánchez, 2009). Son construcciones humanas cuyos límites se determinan por criterios específicos para poder diferenciarlas. A la región también se le debe considerar como una abstracción analítica valiosa, para estudiar áreas a escala intermedia (entre lo planetario y lo local).

Las primeras regionalizaciones eran usadas ampliamente en Geografía física con variables de la misma índole, en la actualidad las componentes económicas y sociales poseen gran peso, para diferenciar espacios. A través de la historia de México se han realizado diversas regionalizaciones a nivel nacional con diversos fines. Para llevar a cabo planes de desarrollo, atender problemas locales, municipales, estatales, entre muchos otros. Se han llevado a cabo desde aquéllas que toman en cuenta criterios: naturales, económicos, demográficos, etc. (Bassols, 1967).

La Secretaría de Agricultura y Fomento en 1936, por primera vez delimitó las regiones económicas de la República Mexicana, basadas en doce factores tanto naturales como económicos. Posteriormente, la Dirección General de Estadística llevó a cabo la división del país en "zonas", la cual se realizó con fines estadísticos generales, para agrupar mejor los datos censales (Bassols, 1972).

Entre otras diversas regionalizaciones, destaca la obra del ingeniero Francisco Quintanar A., titulada "Las regiones económicas-agrícolas de México", el trabajo del ingeniero Efraín Hernández X., llamado "Zonas agrícolas de Méxi-

co", quien diferencia 30 regiones agrícolas, ambos trabajos citados en la obra de Bassols (1979).

Las condiciones climáticas también han sido consideradas, así se cuenta con la "Regionalización de climas de México", basada fundamentalmente en la distribución de la humedad, esta división fue realizada por E. García y citada por García y Lugo (2003).

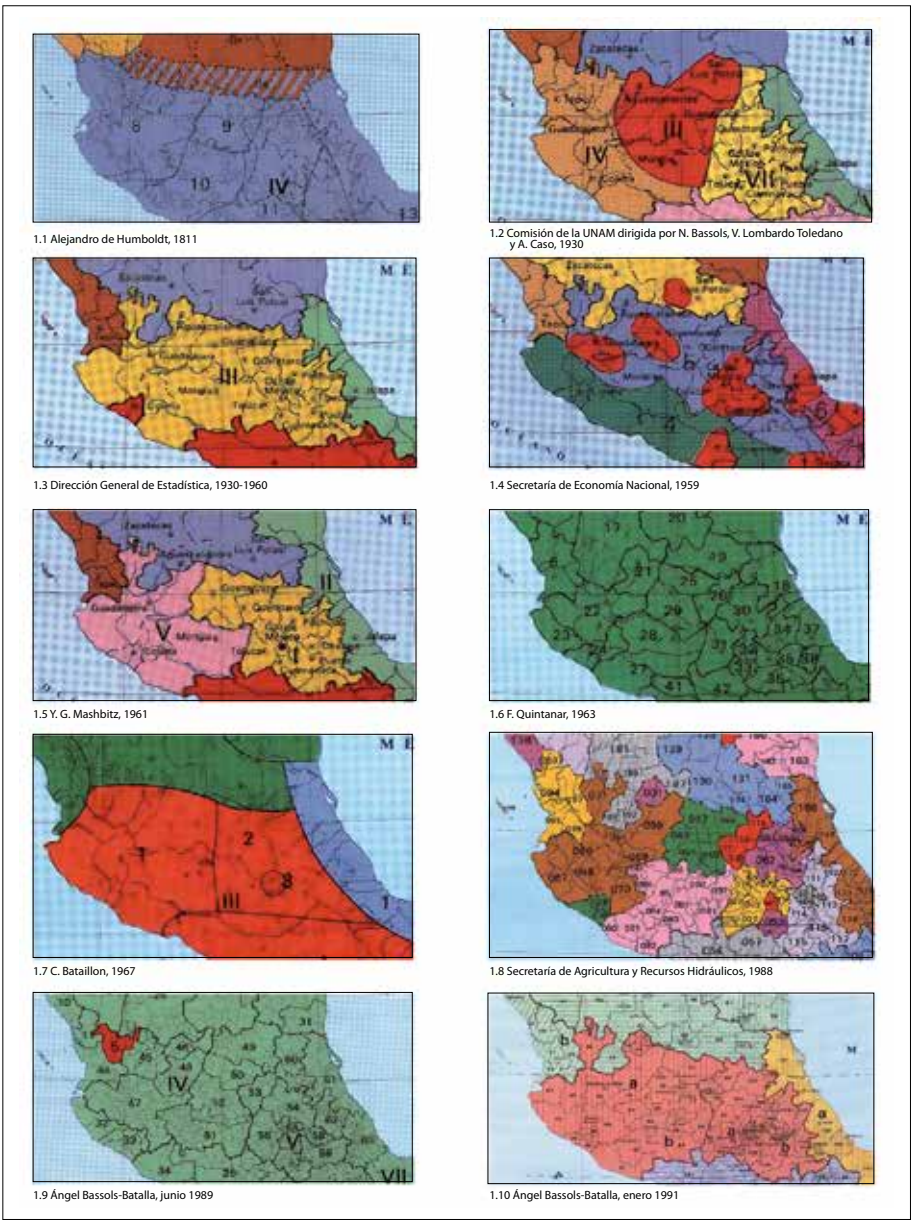
Interpretaciones regionales de la zona Centro-Occidente

Por las funciones y percepciones de la región en cuestión, se le conoce con diferentes denominaciones. Por ello se procedió a la consulta de diversos documentos, propuestas, organismos y mapas producto, donde diferencian el territorio según los indicadores consultados y es esta información la que ahora se presenta en forma sintética.

1. División regional (física y social). La regionalización socioeconómica de México compilada y formada por Bassols, quien se basó en documentos de Alejandro de Humboldt de 1811, utilizó elementos naturales, población total de 1803 y densidad demográfica, y consideró a la región Central de acuerdo con la división de Provincias e Intendencias presentes en 1804 que estaba conformada por el sur de San Luis Potosí, Zacatecas centro y sur, Guadalajara, Guanajuato, Valladolid, México, Puebla y Veracruz (Figura 1a).

2. Regionalización considerando las condiciones ejidales. También compilada por Bassols (1989), según la Comisión de la UNAM dirigida por N. Bassols, V. Lombardo Toledano y A. Caso (1930), es quizá la división moderna del país para conocer la situación en que se encontraban los ejidos y los ejidatarios que habían sido beneficiados en el pre-reparto agrario. División que sirvió de base a la reforma agraria bajo la administración del Presidente Cárdenas. El país quedó dividido en ocho grandes regiones de las cuales la zona que nos ocupa quedó comprendida en las zonas III, IV y VII: Bajío, Centro y Costa del Pacífico (Figura 1b).

3. Zonificación con fines estadísticos. La Dirección General de Estadística formuló el primer mapa de división regional de carácter económico de México. La zona Centro contemplaba la porción centro-occidente del país, abarcando los estados de Jalisco, Michoacán, Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Guanajuato y Aguascalientes (Figura 1c).



Fuente: Bassols, 1989.

Figura 1. Zonificación de la zona Centro y Occidente según diferentes fuentes.

4. Regiones naturales-económicas y zonas de concentración económica. En 1959 la Secretaría de Economía Nacional realizó la delimitación de regiones naturales y en ella se estudiaron las formas de comportamiento de la población y las principales ramas económicas. Las zonas de concentración económica representaron áreas donde los fenómenos de producción, distribución y consumo se agruparon de manera preponderante y se manifestaron como centros neurálgicos de las regiones naturales. La zona objeto de este estudio quedó considerada en la zona Centro, misma que se amplió a los estados de Morelos y porción norte de Guerrero (Figura 1d).

5. Regiones económicas de México según Y. G. Máshbitz (1961). Esta división tomó en cuenta la integración histórica de las grandes regiones, se utilizaron las principales variables de la estructura regional moderna: superficie, población total, peso específico de la población urbana, producción agrícola e industrial, producto interno bruto (PIB) y densidad de vías de ferrocarril, así como otras variables sociales. Se conformaron ocho regiones, de ellas la Central y Pacífico Central contemplaban la actual zona estudiada en esta investigación (Figura 1e).

6. Regiones económico-agrícolas. Bassols Batalla cita a Quintanar (1963), quien dividió al país en "regiones agrícolas" basadas en 22 indicadores de índole agrícola y ganadero. En total 52 regiones que en general respetaban los límites administrativos municipales y estatales y 20 de ellas correspondían al área motivo de esta investigación (Figura 1f).

7. Macrorregiones y microrregiones C. Batallón. En 1967 Claude Batallón dividió al país en macrorregiones y microrregiones tomando en cuenta, entre otros, la articulación de los medios naturales, poblamiento del territorio, condiciones agrarias, difusión y polarización de la actividad urbana; el área en estudio formaba parte de la macrorregión III (Figura 1g).

8. Distritos de desarrollo rural (DDR). Con la finalidad de alcanzar el máximo desarrollo en las zonas agrícola de riego y temporal, la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) realizó dicho estudio y zonificación, la zona que nos ocupa incluye los DDR de los estados: de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Puebla, Querétaro y Tlaxcala (Figura 1h).

9. Zonificación para fines de planeación socioeconómica (regiones "reales"). Los primeros mapas de división regional por estado o municipios fueron publicados

en 1961 y para 1965 ya presentaban separación de "zonas" o grandes regiones y regiones; integradas con base en la unión de municipios con cierto grado de homogeneidad. En esas fechas la zona en estudio quedaba ubicada en dos grandes zonas o grandes regiones: Centro-Occidente y Centro-Este (Bassols, 1989; Figura 1i).

10. Regionalización económica. Realizada por Bassols (1989) sobre bases político-administrativas, e incluye como grandes regiones: La Central, que se divide en Centro-Occidente y Centro-Este, diferenciándose las de mayor y menor desarrollo como a continuación se detalla. El mapa con esa información fue editado en 1991 (Figura 1j, Cuadro 1).

La distribución normal de la temperatura y precipitación también fueron consideradas para zonificar, así se dividió a la República Mexicana en once regiones climáticas; cada región por su latitud, situación geográfica, orientación general del relieve y sistemas de viento, guarda similitudes climáticas (Figura 2; García *et al*., 1989; Vidal, 2005).

Así, una región o provincia climática es una extensión de la superficie terrestre, la cual posee una gran similitud de tipos de clima, principalmente en cuanto a fenómenos meteorológicos dominantes, régimen de lluvia, marcha anual de la temperatura y oscilación térmica. En cada una de las regiones la orografía, el relieve local, vegetación, proximidad a los litorales y amplitud a la llanura costera, originan un comportamiento particular en los elementos del clima (temperatura y precipitación).

La Región Climática Centro, fisiográficamente ocupa la parte meridional de la Altiplanicie Mexicana. La sierra de Zacatecas, Guanajuato y Querétaro dividen a esta provincia, formándose dos grandes subregiones: la Mesa del Norte y la Mesa Central o Mesa de Anáhuac, limitadas por las Sierras Madre Occidental y Oriental, y hacia el sur el Sistema Volcánico Transversal, la altitud es de 1 200 msnm, en el norte y de más de 2 000 msnm, en el sur; sobre la que se asientan montañas aisladas y conjuntos montañosos (Lugo y Córdova, 1992; Figura 3).

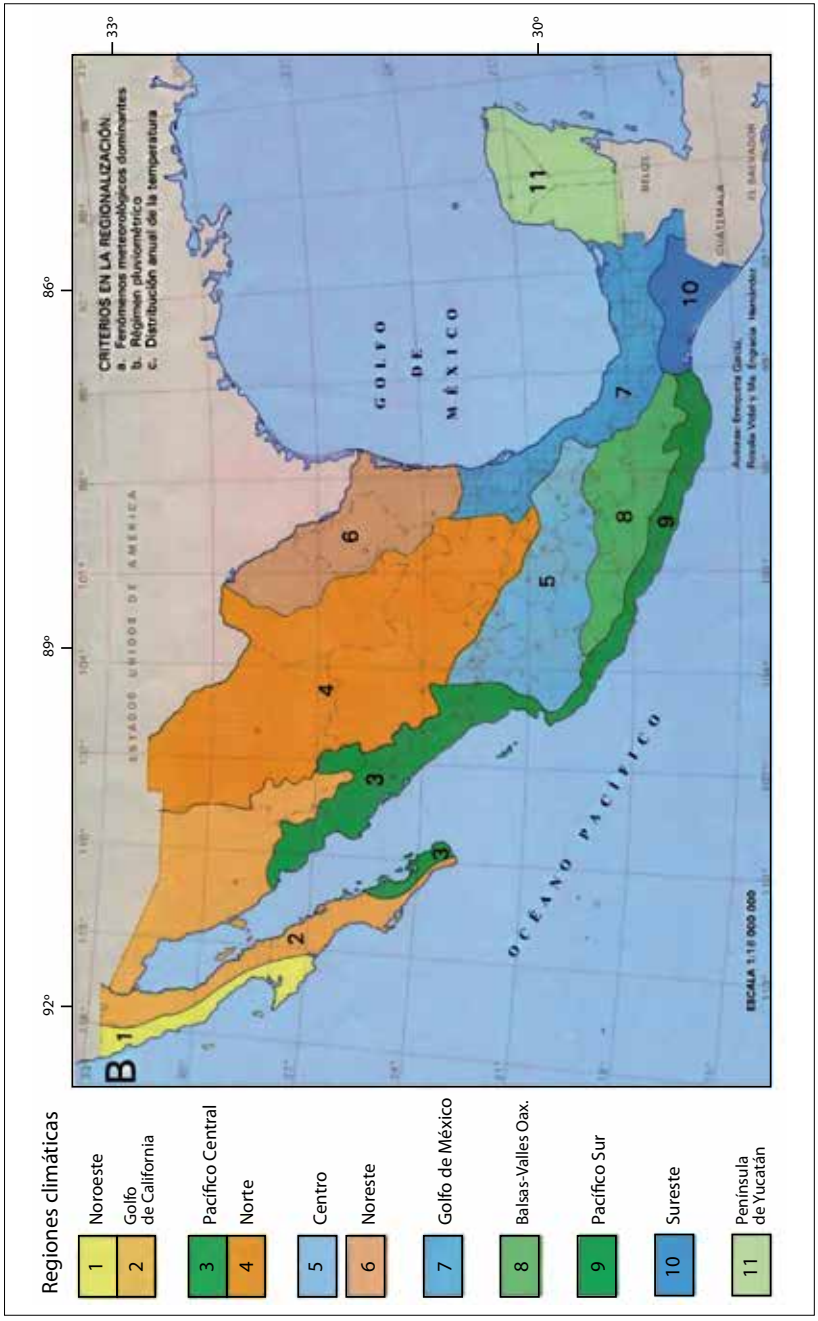
La subregión Mesa Central cubre parte de los estados de Aguascalientes, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Tlaxcala, Puebla y Zacatecas. La delimitación de la zona por variables físicas es de vital importancia, pero dada la necesidad de analizar información económica, tal como superficies sembradas y cosechadas y producción, se recurrió a considerar también las unidades político-administrativas: Distritos de Desarrollo Rural.

Cuadro 1. Jerarquía de la macrorregión Central

Gran macroregión	Gran región	Mesorregión a.b.	Regiones medias	
			Mayor desarrollo relativo	Menor desarrollo relativo
Central	4. Centro-Occidente	Jalisco	64. Puerto Vallarta 65. Costa Sur de Jalisco-Autlán 66. Norte de Jalisco 67. Ameca 68. Guadalajara 69. Sur de Jalisco 70. Ocotlán-La Barca 71. Los Altos	
		Aguascalientes	72. Calvillo 73. Pabellón-Tepezalá 74. Sur de Aguascalientes	
		Guanajuato	75. Norte de Guanajuato 76. Bajío de Guanajuato-León 77. Bajío de Guanajuato-Celaya	
		Colima		78. Manzanillo 79. Noreste de Colima 80. Tecomán 81. Costa de Michoacán-Lázaro C. 82. Valle de Apatzingán 83. Ciénagas de Chapala-Zamora 84. Meseta Purépecha-Uruapan 85. Bajío de Michoacán 86. Morelia 87. Tierra Caliente Huetamo 88. Noreste de Michoacán
	5. Centro-Este	Querétaro		89. Querétaro 90. San Juan del Río 91. Norte de Querétaro-Cadereyta

Continuación Cuadro 1

Gran macroregión	Gran región	Mesorregión a.b.	Regiones medias	
			Mayor desarrollo relativo	Menor desarrollo relativo
Central	5. Centro-Este	Estado de México	92. Nordeste del Estado de México-Atlacomulco 93. Valle de Bravo 94. Sur del Estado de México 95. Toluca-Lerma 96. Cuenca de México Norte-Tlalnepantla 97. Cuenca de México-Oriente-Texcoco 98. Cuenca de México Sureste-Amecameca 99. Norte-Centro del Distrito Federal 100. Sur del Distrito Federal	
		Hidalgo		101. Valle del Mezquital-Tula 102. Jacala-Molango 103. Huasteca Hidalguense 104. Pachuca 105. Ciudad Sahagún-Apan 106. Tulancingo
		Morelos		107. Cuernavaca 108. Puente de Ixtla-Zacatepec 109. Cuautla
		Tlaxcala		110. Calpulalpan 111. Tlaxca-Apizaco 112. Huamantla
		Puebla		113. Sierra Norte de Puebla 114. Teziutlán 115. Puebla-Atlixco 116. Izúcar de Matamoros 117. Sur de Puebla 118. Oriental-Ciudad Zahagún



Fuente: elaboración propia con base en García *et al.*, 1989.

Figura 2. Regiones climáticas de México.

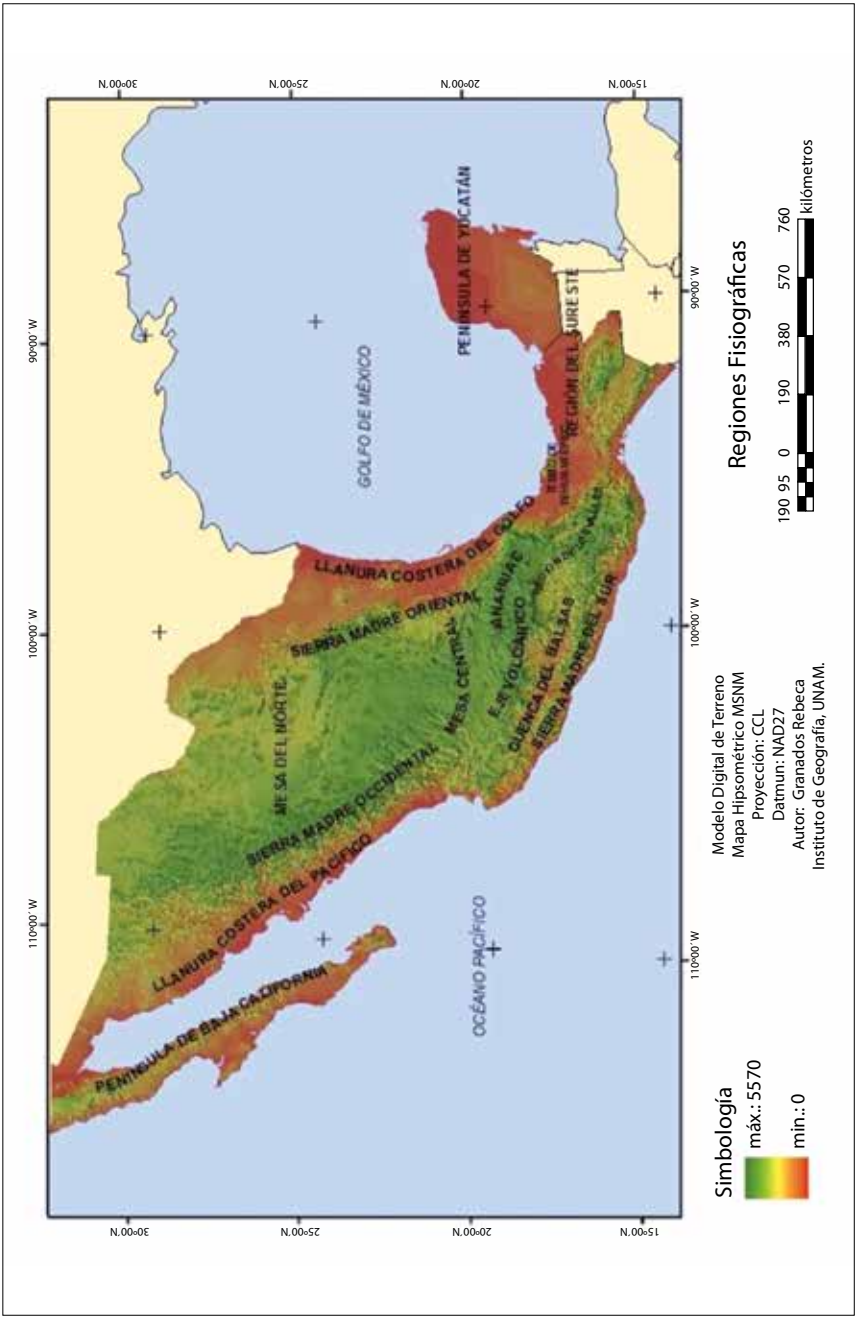


Figura 3. Regiones fisiográficas.

En resumen, la denominada Región Centro-Occidente que se considera en este estudio toma en cuenta la regionalización climática, geomorfológica y los DDR.

A pesar de la existencia de múltiples definiciones en cuanto al uso del término, una región es una porción de la superficie terrestre que tiene características comunes contenidas en espacios concretos. En este contexto, las regiones poseen tres cualidades territoriales básicas: *ubicación, extensión superficial y límites* (López y Sánchez, 2010).

En resumen, la región considerada en este estudio tiene como límites los DDR: al norte Fresnillo, Zacatecas, con coordenadas 23° 34′ y 102° 55′ al sur el DDR Pátzcuaro, Michoacán 18° 44′ y 101°18′ al este Coatepec, Veracruz a los 19° 20′ y 96° 50 y finalmente al oeste Tomatlán, Jalisco 20° 23′ latitud Norte y 105° 40′ longitud Oeste (Figura 4, Cuadro 2).

Abarca una superficie aproximada de 242 432 km^2 que incluye un total de 50 DDR (Cuadro 2). Esta región, topográficamente tiene características particulares tales como: llanos, llanuras, sierras y valles, y en cada una las características geológicas, edáficas y de vegetación son específicas.

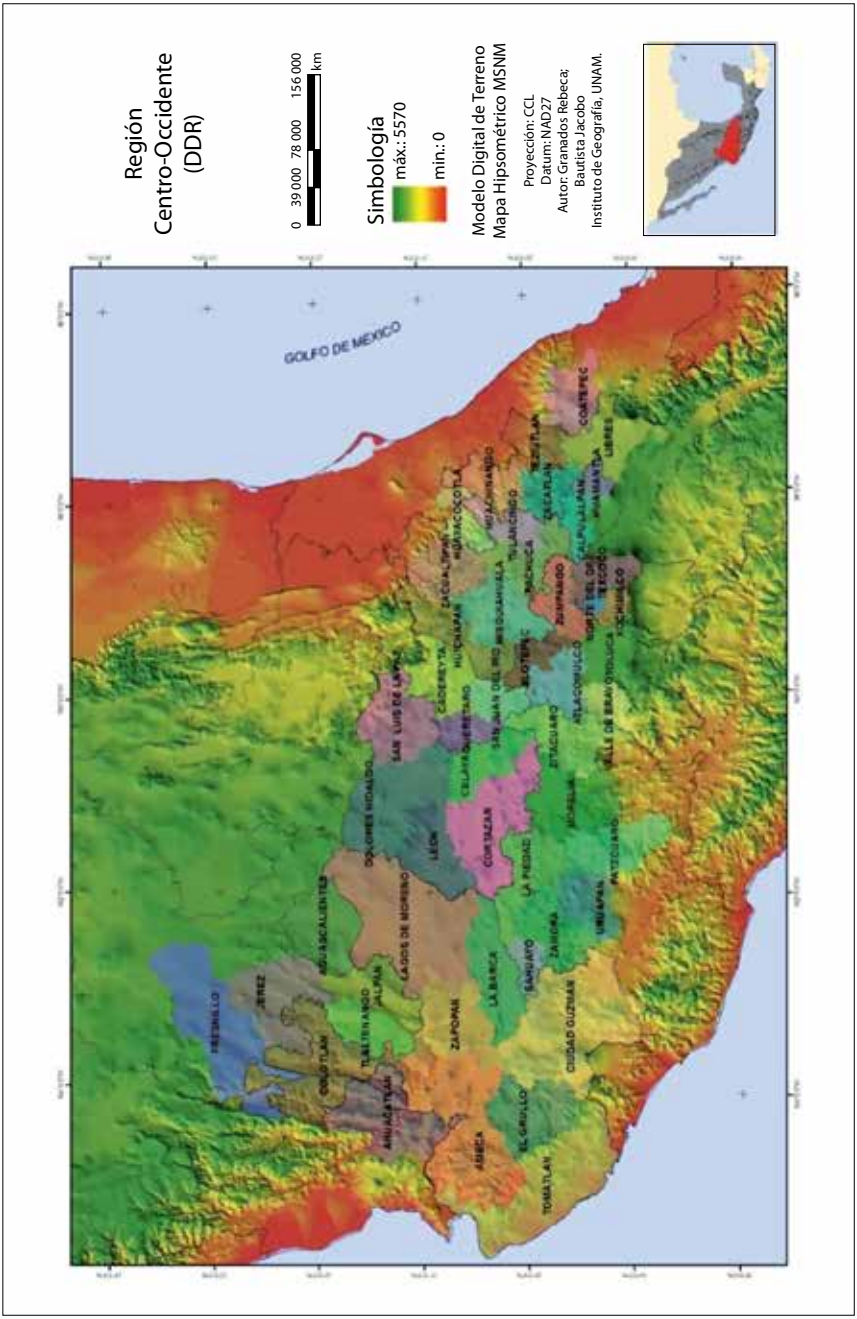


Figura 4. Región Centro-Occidente.

Cuadro 2. Superficie de los DDR que conforman la región Centro-Occidente

Estado	Distrito de Desarrollo Rural	Área en km
Aguascalientes	Aguascalientes	5 568.25
Distrito Federal	Xochimilco norte del Distrito Federal	1 027.33 567.37
Guanajuato	Dolores Hidalgo San Luis de la Paz León Celaya Cortázar	8 173.19 5 652.26 4 704.72 3 587.30 8 233.86
Hidalgo	Zacualtipan Tulancingo Pachuca Mixquiahuala Huichapan	3 942.76 2 561.99 3 538.08 4 674.65 4 408.43
Jalisco	Zapopan Lagos de Moreno Ameca Tomatlán El Grullo La Barca Ciudad Guzmán Colotlán	5 502.34 14 724.04 13 180.63 11 430.60 5 496.31 5 363.64 13 539.79 8 735.21
Estado de México	Toluca Zumpango Texcoco Atlacomulco Valle de Bravo Jilotepec	2 973.21 3 159.82 2 487.99 3 193.19 1 993.95 2 046.70
Michoacán	Uruapan Zamora Sahuayo La Piedad Pátzcuaro Morelia Zitácuaro	3 446.63 4 402.46 1 544.04 4 488.71 4 719.34 5 861.35 4 895.91
Nayarit	Ahuacatlán	7 429.77
Puebla	Huachinango Zacatlán Teziutlán Libres	2 990.49 2 614.98 2 806.39 4 494.11
Querétaro	Cadereyta San Juan del Río Querétaro	4 077.69 2 130.06 2 035.59

Continuación Cuadro 2

Tlaxcala	Calpulalpan Huamantla	1 753.14 1 129.78
Veracruz	Huayacocotla Coatepec	2 244.92 3 794.56
Zacatecas	Fresnillo Tlaltenango Jérez Jalpa	11 079.69 3 288.27 6 539.45 4 197.24

Capítulo 2. Dinámica atmosférica y climatológica

Teresa Reyna Trujillo
Rebeca Granados Ramírez
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Gabriela Gómez Rodríguez
Laboratorio de Análisis Geoespacial, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

La dinámica atmosférica que se presenta en la región Centro-Occidente del país es sumamente interesante por diversos factores, tanto físicos como económicos y sociales, resultado de su ubicación en el interior de la Altiplanicie Mexicana, respecto a la faja subtropical de alta presión y a la orientación general de las sierras que la limitan y la aíslan de los mares, imprimiéndole características climáticas que guardan en general similitud en lo que a temperatura y precipitación se refiere. Predominan las condiciones templadas, mismas que se les reconoce como las más confortables y benignas para diversas actividades. Desde la perspectiva de la economía ecológica, los ecosistemas de zonas templadas se consideran de alta y moderada productividad, de tal forma que se les califica como un espacio que ha logrado un importante desarrollo económico y social y ha sobresalido en el contexto nacional, como una región con un acelerado y concentrado crecimiento económico, lo cual ha derivado en un marcado crecimiento poblacional.

En esta región también se presentan, ocupando una mínima área, pero de importancia majestuosa, las cumbres pintorescas de México, donde se encuentran condiciones frías y de hielos perpetuos (Iztaccíhuatl y Popocatépetl). Otras áreas reducidas tienen climas cálidos y otras más son áridas, debido a condiciones de latitud, altitud y continentalidad.

El objetivo de este trabajo fue integrar e interpretar información de los fenómenos meteorológicos dominantes y las variaciones de los elementos del clima en la región, estudio básico y útil en el área de planeación, desarrollo agrícola,

pecuario, forestal e incluso de la población misma, por la interacción que juega el clima en cada uno de ellos.

Es importante conocer las generalidades de la circulación general de la atmósfera, recordando que esta dinámica varía regionalmente, ya que los factores tales como: sombras meteorológicas, zonas de cañones, circulación regional de montaña-valle, proximidad a los litorales, amplitud de llanura costera y vegetación, originan un comportamiento particular en los elementos temperatura y precipitación.

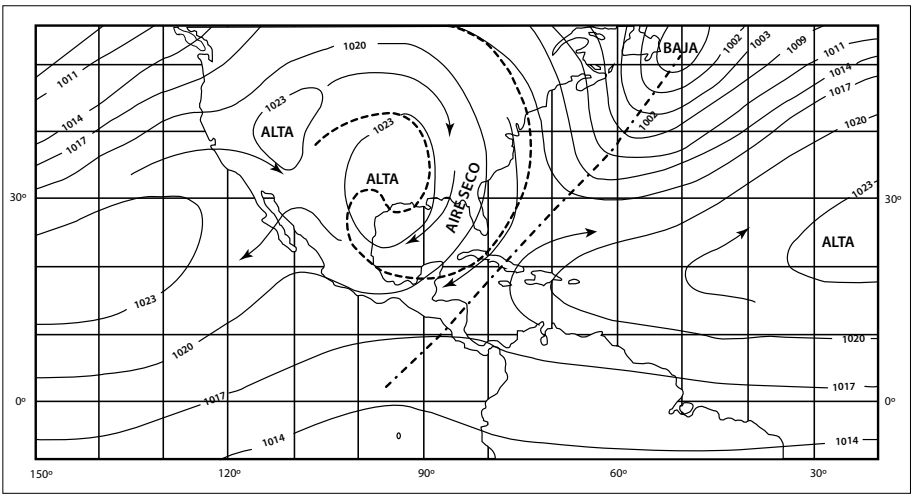
Generalidades de la circulación atmosférica

Las condiciones climáticas, variaciones en la temperatura y precipitación están en función de la dinámica que ocurre en las capas inferiores de la atmósfera (Granados y Soria, 2006). La República Mexicana se encuentra dentro de las zonas tropical y subtropical del Hemisferio Norte, la parte sur en la zona de influencia de los vientos alisios y la norte en la faja subtropical de alta presión, a lo largo de la cual se desarrollan los anticiclones oceánicos del Atlántico y del Pacífico del Norte.

Las fluctuaciones que presentan las temperaturas y precipitaciones tienen su origen en el desplazamiento que sufren las zonas de los vientos alisios y la faja subtropical de alta presión a lo largo del año. Generalmente desde noviembre y en los primeros meses del año el país se caracteriza por tener condiciones secas y frías, época en que la Zona Intertropical de Convergencia (ITC) se ubica al extremo sur y coincide aproximadamente con el Ecuador Geográfico. La faja subtropical de alta presión y la zona de los alisios se desplazan hacia el sur, dominando los vientos del oeste, mismos que acarrean perturbaciones de las latitudes medias, como los vórtices fríos y depresiones ciclónicas que afectan las condiciones climáticas del norte del país (O´ Briend y Liverman, 1996).

El territorio nacional también se encuentra influenciado por frentes provenientes del norte del continente, que dan lugar a lluvias y tormentas a lo largo de su trayectoria, descensos de temperatura y frecuentes heladas y nevadas en las sierras de los estados del norte.

En la Figura 1 se ilustra una situación típica de la estación invernal donde predominan sobre América del Norte las masas de aire de alta presión, y se observa también una vaguada superior sobre el mar, frente a las costas este de los Estados Unidos, que frecuentemente se estaciona en dicha posición durante la época fría del año, separando al anticiclón de las Azores de la celda anticiclónica antes mencionada. La presencia de dicha celda sobre Norteamérica trae consigo



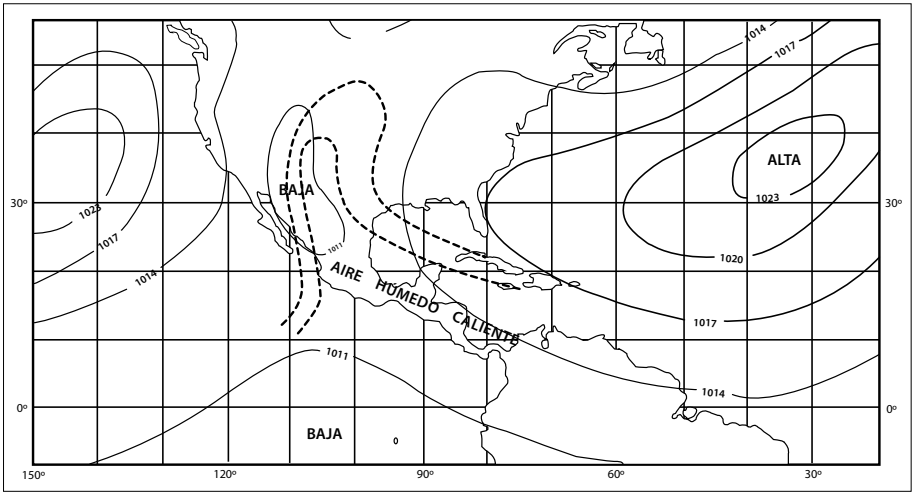
Fuente: García, 2005.

Figura 1. Desplazamiento de la celda de alta presión en el invierno.

el acarreo de masas de aire seco continental hacia el Golfo de México en su rama latitudinal descendente. Estas masas de aire son frecuentemente modificadas a su paso sobre las aguas relativamente tibias del Golfo de México, por lo que las costas mexicanas que limitan a dicho cuerpo de agua en el sur, se manifiestan como masas húmedas.

La época cálida y húmeda se inicia cuando la zona subtropical de alta presión y el (ITC) se traslada al norte del Ecuador Geográfico. El flujo de los vientos alisios aumenta en intensidad, latitud y altura, por lo que prácticamente todo el país queda bajo la influencia de estos vientos, que proceden del Golfo de México, con una dirección original de NE a SW en superficie, o de E a W en las alturas. Esto sucede comúnmente a partir de mayo hasta octubre, que es la estación de lluvias en México. En la Figura 2 se muestra esquemáticamente la invasión al territorio mexicano por el aire tropical caliente y húmedo. Asimismo, entre el anticiclón de las Azores y el Pacífico existe una vaguada superior que se ubica aproximadamente a lo largo de las costas occidentales de Norte América. La época húmeda se intensifica en septiembre y se prolonga hasta parte del otoño por la influencia de las ondas del este y los ciclones tropicales que se originan en el Mar de las Antillas y Océano Pacífico (Hernández *et al*., 2001).

Debido a la extensión del territorio y a su compleja orografía, la República Mexicana se encuentra dividida en diversas regiones climáticas; cada región por



Fuente: García, 2005.

Figura 2. Desplazamiento de la celda de alta presión en verano.

su latitud, situación geográfica, orientación general del relieve y sistemas de viento regional, presenta análogas condiciones de calentamiento y por ende guarda similitudes climáticas, en lo que a temperatura y precipitación se refiere (Vidal, 2005).

Una región o provincia climática es una extensión de la superficie terrestre, la cual posee una gran similitud de tipos de clima, principalmente en cuanto a fenómenos meteorológicos dominantes, régimen de lluvia, marcha anual de la temperatura y oscilación térmica.

Ubicación e influencia de los fenómenos meteorológicos

La región Centro es una de las once zonas climáticas que conforman la República Mexicana: incluye los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Jalisco, Nayarit, Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Tlaxcala, Puebla, Veracruz, Colima, Morelos y San Luis Potosí, estos cuatro últimos considerados en este análisis por encontrarse dentro de la zona buffer incluida por la ocupación total que guardan los Distritos de Desarrollo Rural que también fueron contemplados en este estudio, así que la región presenta condiciones climáticas diferentes por la topografía y los fenómenos meteorológicos que ahí convergen.

Fisiográficamente ocupa la parte sur de la Altiplanicie Mexicana, conocida también como Meseta Central o de Anáhuac, está limitada al sur por el Sistema Volcánico Transversal, al oeste por las derivaciones australes de la Sierra Madre Occidental, al este por la Sierra Madre Oriental, y al norte por las sierras de Zacatecas, Guanajuato, Pinal de Amoles y Jalpan. Su altitud varía de 900 msnm en el oeste y suroeste (valles del río Santiago, cañón de Bolaños y valle del río Armería) a 5 452 m en el Popocatépetl.

Fuentes de información climática en México

Existen diversas fuentes bibliográficas, bases de datos climáticas y cartográficas relativas a esta temática: CLICOM, 1993, CONABIO, 1998, García, 2004, INIFAP, 2006. Estas bases y productos se derivan de las fuentes meteorológicas originales que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), organismo que tiene como objetivo básico el de concentrar la información de diversos parámetros de la atmósfera para identificar fenómenos meteorológicos que puedan perjudicar las actividades económicas y sobre todo para evitar pérdidas humanas. El SMN tiene también la función de coleccionar, comprobar, correlacionar y clasificar la información climática generando un banco de datos a nivel nacional, así como suministrar la información a dependencias académicas y de investigación.

Para la región Centro-Occidente se manipularon bases de datos del organismo antes citado, el número de estaciones climáticas que conforman el área en estudio son 634, para fines de interpolación de algunas isolíneas se consideraron estaciones de estados vecinos, de tal manera que el total de información analizada fue de 872 estaciones (Cuadro 1, Figura 3).

Climas

La interacción entre los elementos del tiempo y del clima, principalmente de la temperatura y la precipitación y de los factores relieve y altitud, se manifiesta en la región Centro-Oeste cuya mayor superficie queda dentro de la que Vidal (2005) denomina climáticamente como Región 5 Centro, ésta comparte en general algunas similitudes en ambos elementos; sin embargo, por su situación geográfica entre las coordenadas 18° 44′ y 23° 34′, se ve influenciada en parte por el cinturón de altas presiones del Hemisferio Norte, organizadas en dos enormes celdas anticiclónicas: la del Atlántico o Bermuda-Azores y la del Pacífico del Norte.

Cuadro 1. Estaciones en la región Centro-Occidente

Área en estudio		Área en estudio con buffer de 40 km	
Estados	Estaciones	Estados	Estaciones
Aguascalientes	47	Aguascalientes	47
		Colima	23
Distrito Federal	22	Distrito Federal	22
Guanajuato	87	Guanajuato	87
Hidalgo	40	Hidalgo	42
Jalisco	119	Jalisco	119
Estado de México	111	Estado de México	126
Michoacán	75	Michoacán	86
		Morelos	22
Nayarit	7	Nayarit	20
Puebla	33	Puebla	54
Querétaro	18	Querétaro	23
		San Luis Potosí	37
Tlaxcala	17	Tlaxcala	20
Veracruz	20	Veracruz	74
Zacatecas	38	Zacatecas	70
Total	634		872

A lo largo de esta faja, que se sitúa en promedio a los 30° de latitud Norte, el aire es descendente y propicia condiciones templadas y distribución heterogénea de la precipitación en la temporada caliente del año.

Temperatura media anual

La temperatura media anual que predomina en los valles de hasta 1 000 msnm, al sur-oeste de la región (costa de Jalisco, cuenca de los ríos Tomatlán-Tecuán, Chacala-Purificación, cuenca del Río Bolaños, Cañón de Juchipila, cuencas bajas de los ríos Santiago y Armería, entre otros), es mayor de 22° o hasta de 26° C, lo que caracteriza a estos lugares como cálidos y muy cálidos respectivamente (Figura 4).

La porción media occidental, noroeste y zona central de la región en estudio, aproximadamente de 1 600 a 2 000 m de altitud donde quedan situados el Valle

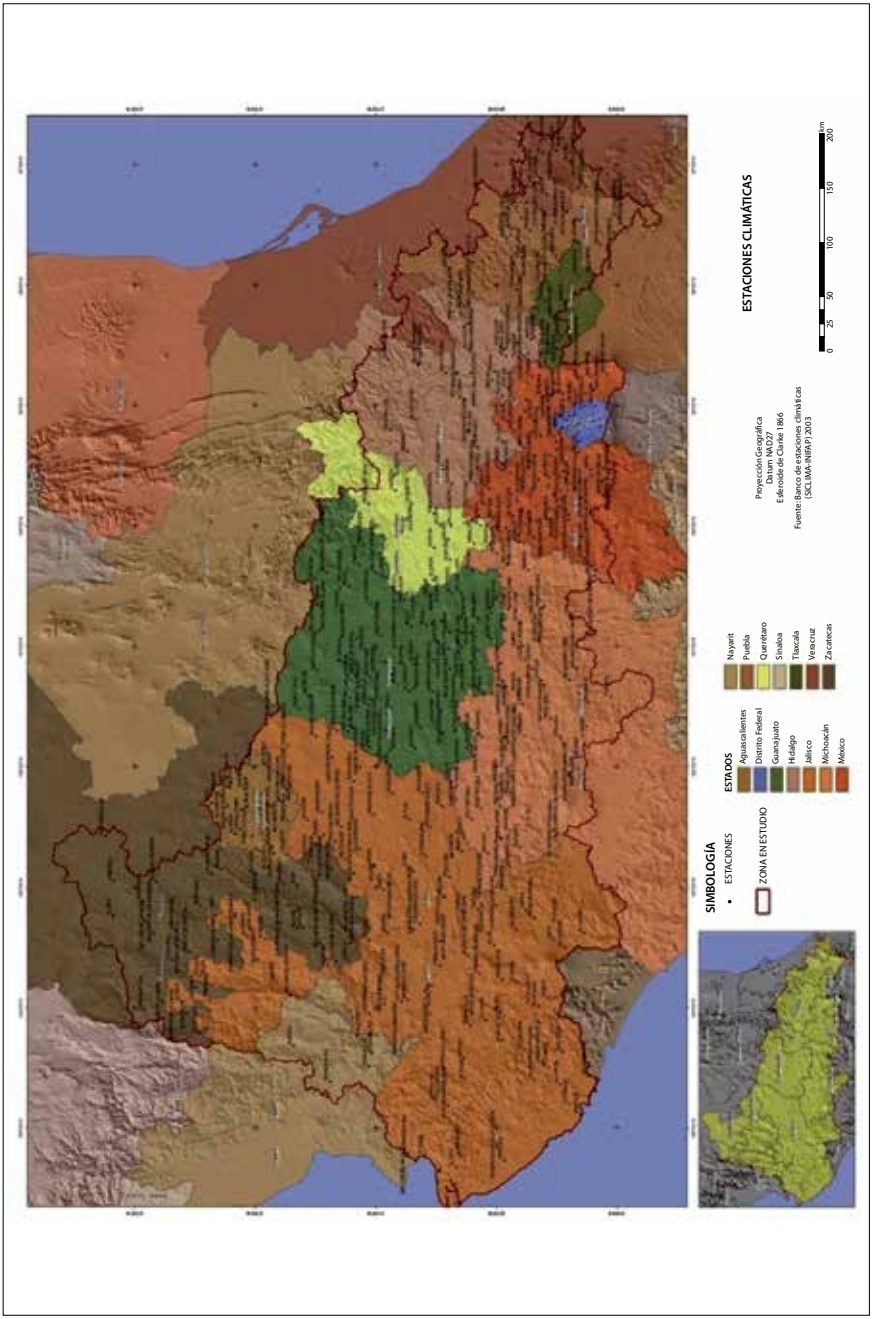


Figura 3. Distribución de las estaciones en la región Centro-Occidente.

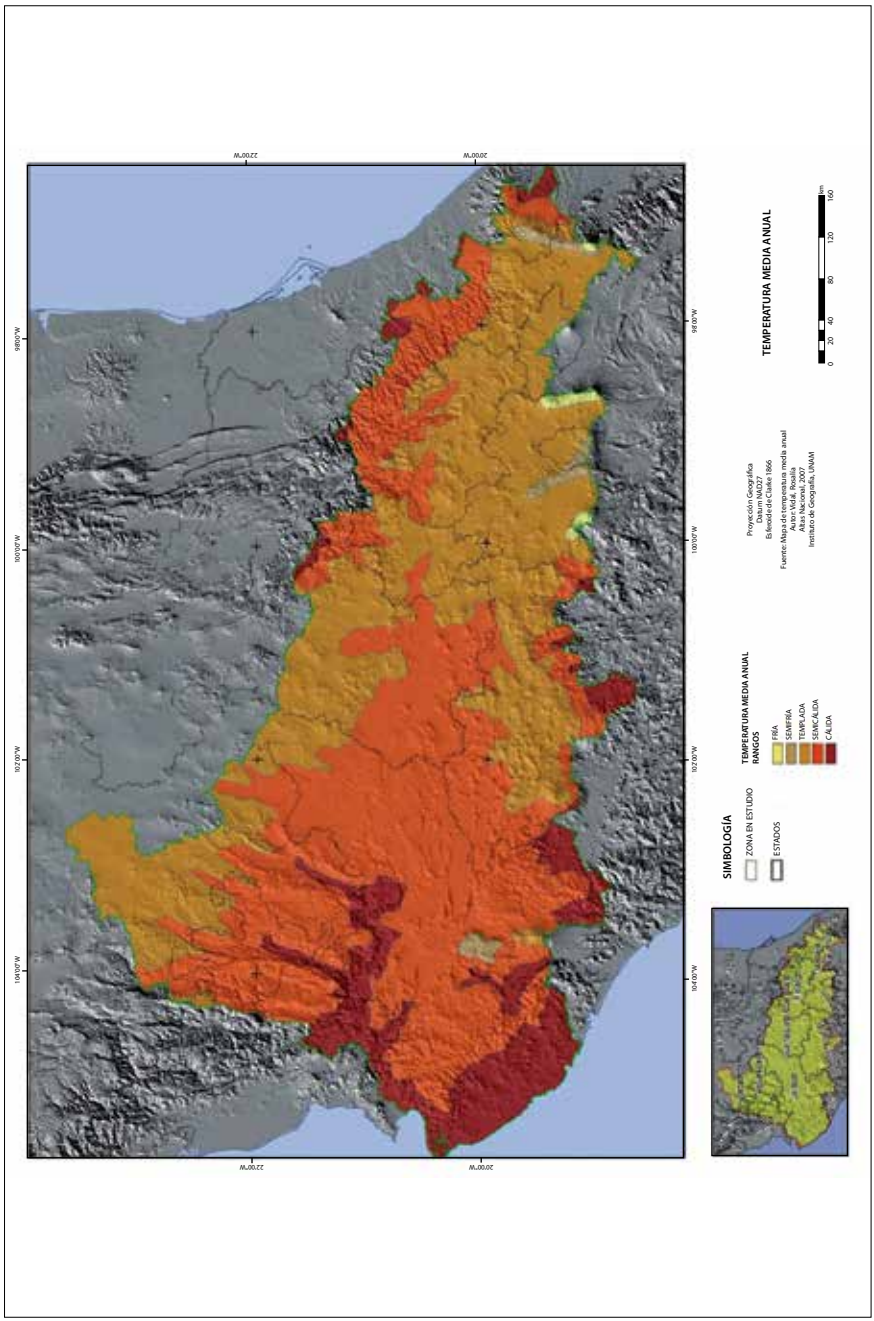


Figura 4. Temperatura media anual.

de Guadalajara, Altos de Jalisco, Bajío, Valles de Tulancingo e Ixmiquilpan, tienen temperaturas anuales comprendidas entre 18 y 22° C, y se consideran como semicálidas. Entre los 2 000 y 2 800 m en la Meseta de Anáhuac, las condiciones de temperatura son templadas (temperatura media anual entre 12 y 18° C) propias de los climas templados C (García, 1964 y 2004). Las zonas semicálidas y templadas ocupan cerca de tres cuartas partes de la región, así que cubren grandes extensiones del área en estudio. Estas condiciones desde la perspectiva de los índices de confort, corresponden a la zona más poblada del país, ya que poseen, en general, un clima, en términos coloquiales "agradable", donde se asientan importantes ciudades entre ellas Querétaro, Morelia, Toluca y Ciudad de México.

Una reducida extensión con altitudes entre 3 000 y 3 800 m aproximadamente y por tanto con temperaturas menores a 12° C califica a estos lugares como semifríos, tal es el caso de parte de las sierras: Nevada, de las Cruces, Ajusco, Angangeo, Nevado de Toluca y Malinche, entre otras.

Las condiciones frías también están presentes, la temperatura media anual se encuentra entre -2 y 5° C, ocupan áreas muy reducidas y muy localizadas, con altitudes marcadas entre 4 000 y 5 000 m, como en los volcanes: Citlaltépec, Popocatépetl e Iztaccíhuatl. Las temperaturas menores a -2° C (muy frías) se registran en las cimas aún más elevadas de estos volcanes.

Las variaciones de las temperaturas máximas y mínimas dependen de la estación del año, altitud, nubosidad, naturaleza del terreno, condiciones topográficas, vegetación y cercanía a cuerpos de agua. En días despejados las temperaturas máximas se registran entre las 14 y 16 horas y las mínimas al salir el sol.

Dentro de las condiciones térmicas, la variable más estudiada es la temperatura media, sin embargo, ésta no muestra los límites extremos que pueden ocasionar efectos limitantes a la vegetación, a la fauna y al hombre mismo. Por ejemplo, las temperaturas máximas y mínimas provocan daños en la vegetación y en la agricultura en general, que pueden ir desde la suspensión de algunas funciones, pérdida de órganos e incluso la muerte. Los mapas de isolíneas de temperaturas máximas promedio y extremas, muestran áreas semejantes a las que ocupan las zonas térmicas cálidas con temperaturas máximas promedio superiores a 30° C, en estas mismas zonas se han registrado temperaturas máximas extremas del orden de 42 a 46° C.

Las superficies ocupadas por las zonas térmicas: semicálida y templadas según Vidal (2007a, b) han registrado temperaturas máximas promedio de 24 a 30° C. En el área en estudio, históricamente las máximas extremas han sido de 36 a 42° C (Figura 5a).

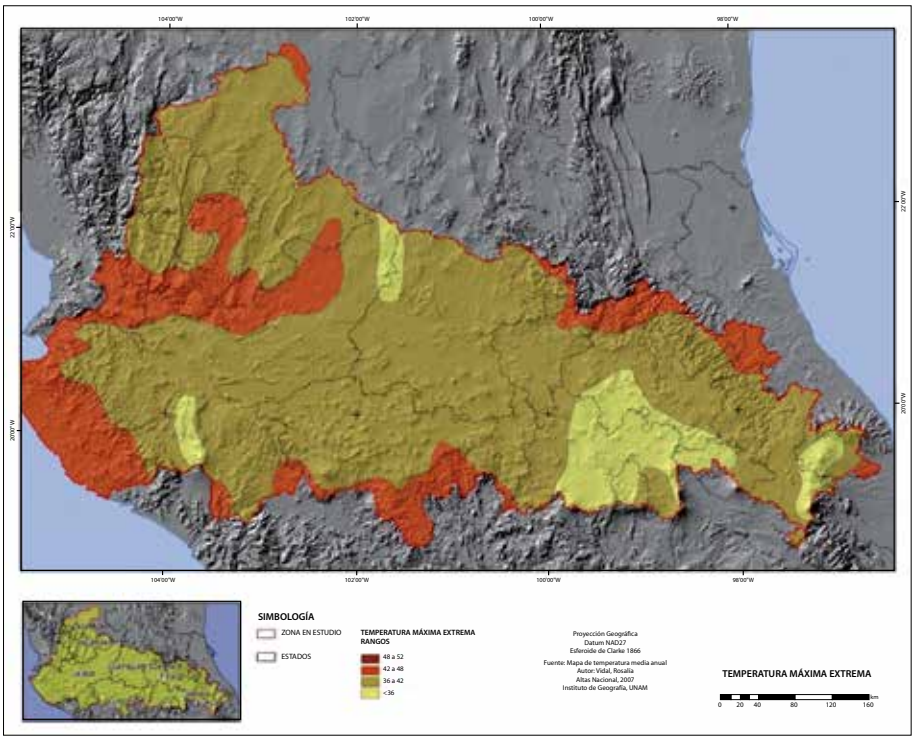


Figura 5a). Distribución de las temperaturas máximas extremas.

En cuanto a las temperaturas mínimas anuales promedio en la región oscilan de 6 a 12° C en pequeñas áreas y en mayor extensión de 12 a 18° C, mismas que ocupan la porción central y occidente. Las temperaturas mínimas extremas en la mayor extensión del territorio en estudio, han registrado rangos de 0 a 6° C, también se presentan áreas con temperaturas que van de -6 a -12° C, mismas que son atípicas a lo largo de la historia de los registros climáticos (Figura 5b).

Respecto a la marcha anual de las temperaturas, éstas inician su ascenso a partir de abril, prologándose hasta septiembre. En general se presentan dos máximos característicos de los lugares situados en la zona intertropical, mayo y junio son los meses más calientes, notándose una disminución paulatina en los meses subsecuentes, el segundo máximo es más tenue, debido a la presencia de la lluvia, ante la dinámica atmosférica propia de la época caliente del año. En octubre, por el retorno del ITC y el dominio de las masas continentales del norte, se inicia la temporada fría, acentuándose en diciembre y enero que son los meses más fríos en esta extensa región.

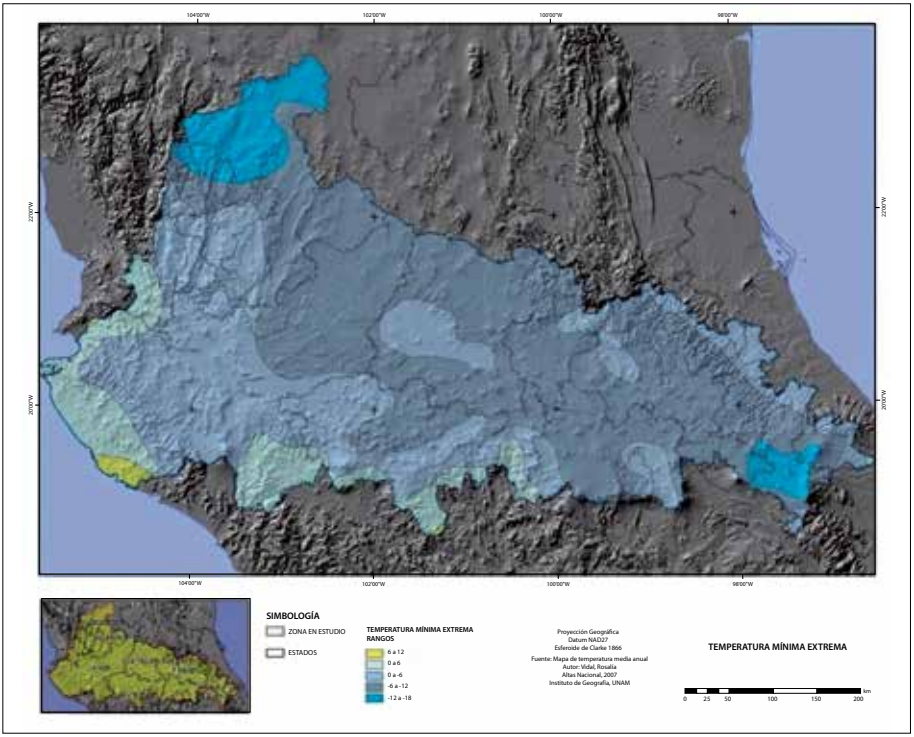


Figura 5b). Distribución de las temperaturas mínimas extremas.

La oscilación anual, es otro indicador que hace que la región sea agradable para diversas actividades humanas. En una gran extensión la diferencia entre el mes más caliente y el más frío es escasa con valores entre 5 y 7° C, lo que indica que en estos sitios se registra poca oscilación térmica.

Precipitación total anual

La precipitación es la cantidad de lluvia que cae sobre un lugar determinado, suponiendo que el suelo fuese lo suficientemente impermeable y plano para impedir que el agua escurra o se infiltre. El almacenamiento de agua de lluvia en el pluviómetro es medido en milímetros y expresa la cantidad de agua caída en un periodo preciso, que puede ser día, mes o año. Al sumar los valores similares de precipitación, se trazan las isoyetas, mismas que permiten observar gráficamente la distribución y cantidad de la lluvia caída en la superficie terrestre.

El relieve es uno de los factores que influyen en la distribución de la precipitación. En la porción noreste se localiza un extenso macizo conocido como las Grandes Montañas del estado de Veracruz, este es parte del complejo montañoso donde confluyen el Sistema Volcánico Transversal y la Sierra Madre Oriental. El efecto de barrera climática se nota claramente en dicha porción, hacia el barlovento se registran precipitaciones abundantes mayores a 2 500 mm (Vidal, 2007c), en tanto que en el sotavento solamente de 400 y 600 mm, así que el relieve en este flanco de las montañas funciona claramente como sombra pluviométrica. Ejemplo de este efecto se localiza en los Valles de Ixmiquilpan, Apan y San Juan con las cantidades ya mencionadas de lluvia al año (Figura 6), así como también en zonas de Aguascalientes, sierra de Zacatecas y Guanajuato y otras superficies de Hidalgo principalmente, condiciones que se ven acentuadas por la marcada continentalidad donde están ubicados estos lugares y que les imprimen el carácter climático del grupo B seco, semiárido y/o árido dentro de la clasificación de García (1964 y 2004). Por cuanto a temperatura pueden ser cálidos, semicálidos o templados.

Valores superiores (600-1 200 mm aproximadamente) son recibidos en gran parte del Bajío (Jalisco, Michoacán, en el fondo de varias cuencas del Sistema Volcánico Transversal) al incrementarse la lluvia y ante niveles altitudinales mayores como en las sierras Nevadas, de las Cruces y del Ajusco, laderas del Popocatépetl e Iztacíhuatl se reciben más de 2 000 - 2 500 mm hasta alcanzarse casi 4 000 mm en laderas de la Sierra Madre Oriental que reciben vientos muy húmedos provenientes del Golfo de México.

Es importante también en estas zonas más húmedas el aporte de la precipitación que viene acompañado por la presencia de procesos ciclónicos durante el verano y por otras perturbaciones atmosféricas propias de la época invernal (nortes por ejemplo).

Debido a la dinámica atmosférica ya descrita, la temporada lluviosa en la región Centro-Occidente en general se inicia en la época caliente, abarca el verano y parte del otoño (mayo a octubre) es decir, el régimen es de verano w (García, 2004) y se puede decir que éste se recibe en más del 95% de toda el área en estudio y en el resto lluvias todo el año f(m) y monzónicas m, es decir, con verano extremadamente lluvioso.

Las lluvias recibidas en mayo, junio, julio son en general abundantes (más de 50 mm) y son aprovechadas para emprender diversas actividades primarias (cultivos de temporal); sin embargo, la distribución en algunos años no es homogénea y puede presentarse una sequía relativa o "canícula" que ocurre tanto en los meses de julio y/o agosto o hasta en septiembre (Reyna *et al*., 2007).

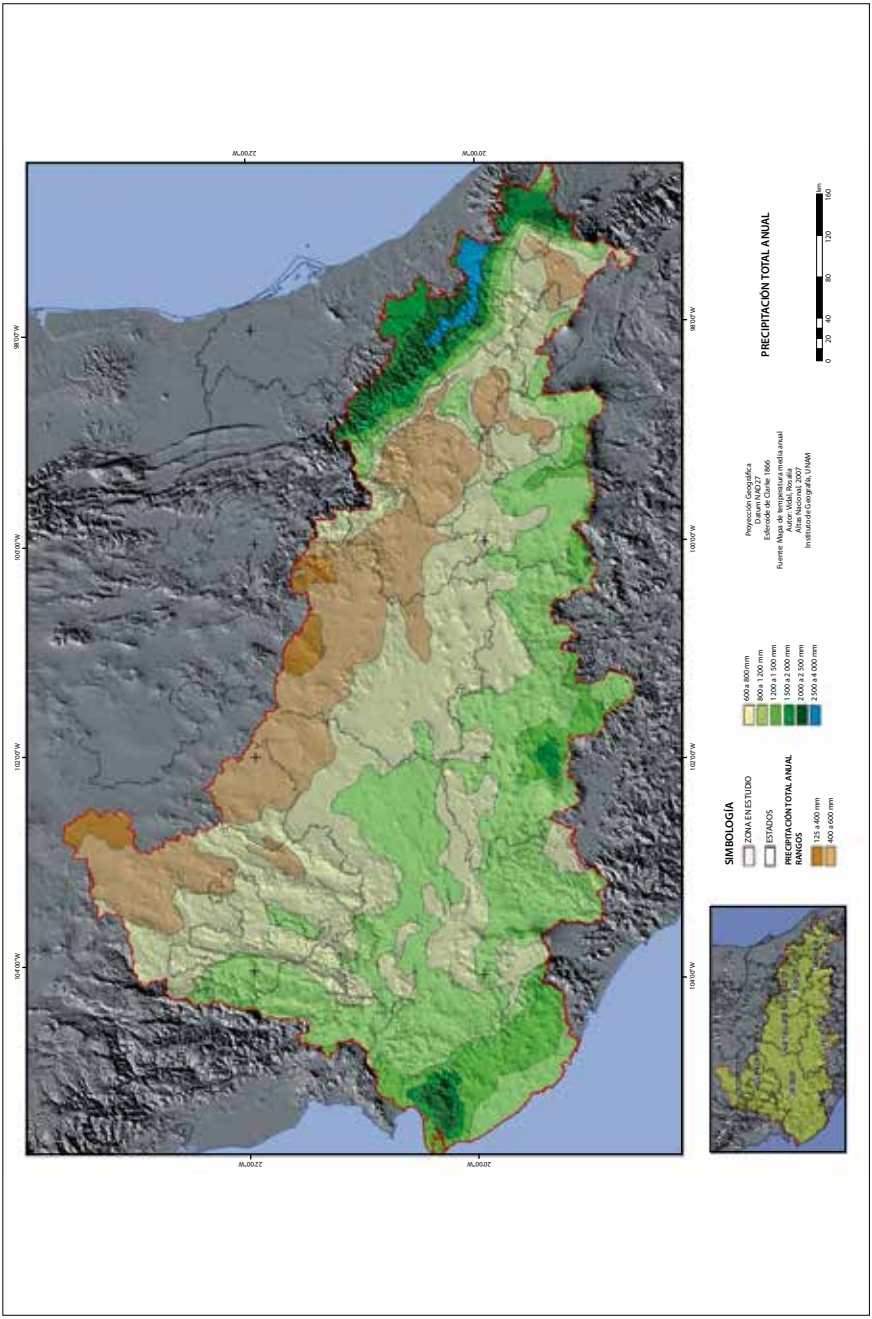


Figura 6. Precipitación total anual.

En algunas zonas, todavía en el otoño, se presentan lluvias constantes y abundantes por la influencia de los ciclones tropicales del Golfo y del Pacífico. Situación que en los últimos veinte años se ha visto modificada, sobre todo ante la presencia del fenómeno El Niño, posiblemente dicha variación se remonta a años atrás, pero debido a los daños en el sector agrícola y principalmente en la alimentación, esto ha ocasionado que en la actualidad sea motivo de mayor investigación sobre su funcionamiento, cuantificación y proyección.

De noviembre a abril prevalecen condiciones de sequía y por lo tanto, una disminución considerable de lluvia. En días aislados de enero, los vientos del oeste y los nortes generan cierta humedad así que las lluvias invernales aportan aproximadamente el 5% de la total anual.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (1964, 1988, 2004) en el Cuadro 2 y la Figura 7 se presenta con detalle la condición climática para esta región y en el Cuadro 3 la superficie ocupada por cada uno de los grandes grupos, subgrupo y tipos de climas.

Sintetizando, los climas en la región Centro-Occidente son diversos y esto se debe fundamentalmente a la interacción que existe entre la temperatura y la precipitación con los factores altitud, relieve y en gran parte también a la continentalidad donde quedan ubicadas amplias zonas. Los climas muy cálidos y cálidos (Cuadro 3) ocupan el 23.3% de la superficie y están presentes en pisos altitudinales menores a 1 000 msnm, en cuanto a la precipitación son subhúmedos con régimen de verano y solo pequeñas áreas son muy húmedos f todo el año y húmedos f(m) o (m)f, es decir, con un verano extremadamente lluvioso con cierta influencia de monzón.

A altitudes mayores se registran los semicálidos y preponderadamente los templados, ambos cubren el 36.2% del territorio en estudio. Entre los cálidos ya mencionados y estos últimos ocupan el 59.3% de la superficie total. En tanto que los secos B (BS semiáridos y pequeñísimas áreas de los BW áridos) no detectados en el mapa de climas por cuestión de escala, cubren el 39.2% de la región y su presencia se debe a la continentalidad y al efecto de sombras meteorológicas que los aíslan de vientos húmedos provenientes sobre todo del Golfo de México y aunque escasas las lluvias son veraniegas.

Finalmente los semifríos, fríos y muy fríos se localizan a más de 3 000 m, por tanto ocupan superficies reducidas (1.3%). En estos climas las lluvias son también de verano y suelen presentarse al final del otoño y sobre todo en el invierno (diciembre-marzo) precipitaciones menos copiosas ocasionadas por la entrada al territorio de masas polares y/o frentes fríos acompañados de vientos fríos, heladas o incluso nevadas.

Cuadro 2. Grupos, subgrupos* y tipos climáticos

Grupos climáticos	
A Cálidos	
Af(m)	Cálido muy húmedo, régimen de lluvias abundantes todo el año.
A(m)	Cálido húmedo, lluvias abundantes en verano con influencia de monzón.
A(w2)	Cálido subhúmedo, el más húmedo de los subhúmedos, régimen de lluvias en verano.
A(w1)	Cálido subhúmedo, el intermedio de los subhúmedos, régimen de lluvias en verano.
A(w0)	Cálido subhúmedo, el más seco de los subhúmedos, régimen de lluvias en verano.
(A) C Semicálidos*	
(A)C(w2,w1, w 0)	Semicálidos subhúmedos, del grupo de los templados con régimen de lluvias en verano.
C Templados	
C(fm)	Templado muy húmedo, lluvias todo el año.
C(m)	Templado húmedo lluvias abundantes en verano con influencia de monzón.
C(w2,w1, w 0)	Templados subhúmedos, con lluvias en verano.
C(b´) Semifríos	
Cm(f)(b´)	Semifrío húmedo con lluvias abundantes en verano.
Cb´(w2,w1, w 0)	Semifríos subhúmedos, con régimen de lluvias en verano.
B Secos	
BS1(h´)w, BSo(h´)w	Semiáridos muy cálidos y cálidos con régimen de lluvias escasas aun en el verano.
BS1h´(h)w, BSoh´(h)w	Semiáridos semicálidos, con régimen de lluvias escasas aun en el verano.
BS1kw BS0 kw	Semiáridos templados con lluvias escasas en verano.
BW (h´)	Árido cálido con lluvias aun más escasas en verano.
BW h´(h)	Árido semicálido con lluvias aun más escasas en verano.
BWkw	Árido templado con lluvias escasas en verano.
E(T) y F Frío y Muy Frío	
E(T) CHw	Frío con temperatura media anual entre -2 y 5°C régimen de lluvias en verano.
EFHw	Muy frío con temperatura media anual menor a -2° C.

Fuente: García (1964,1988, 2004), Vidal y Gómez (2007), algunas rectificaciones hechas por las autoras (2010).

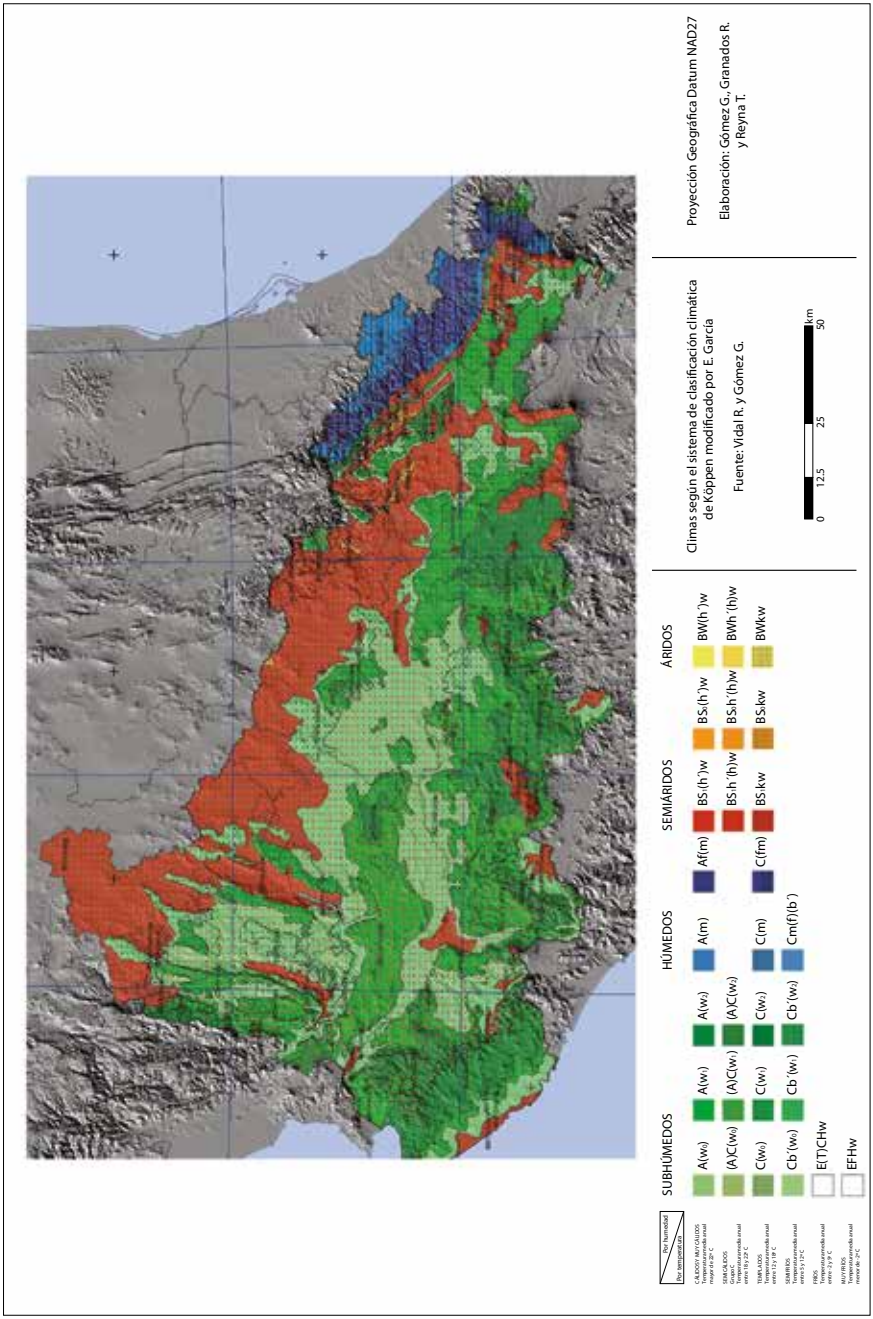


Figura 7. Climas.

Cuadro 3. Superficie ocupada de los grupos y subgrupo* climáticos

Grupos y subgrupo*		Superficie ocupada (%)
(A)C *	Semicálidos*	23.3
C	Templados	36.2
B	Secos	39.2
C(b´)	Semifríos	1.3
E	Fríos	
Total		100

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La dinámica atmosférica fuerte y cambiante a lo largo del año, así como la variación espacial de la temperatura anual, máxima y mínima, además de la distribución de la precipitación y su temporalidad, permitieron identificar los climas de tan amplia región; sin embargo, el análisis detallado de cada uno de los elementos y factores climáticos se pueden interrelacionar con otros factores e indicadores geográficos que mostrarán la influencia directa que tienen por ejemplo en los ecosistemas.

Cabe mencionar que estos parámetros son los más estudiados y se pueden obtener de bases de datos ya disponibles e igualmente al consultar cartografías locales y/o regionales, y si bien, en principio pueden orientar la actividad agrícola, son específicamente los indicadores agroclimáticos, algunos de los cuales se analizan en esta obra, los que darán mayor certeza para realizar una agricultura menos vulnerable a los eventos extremos que se están presentando en la actualidad.

Segunda parte: Indicadores agroclimáticos y su aplicación

Capítulo 3. Los indicadores climáticos en la planeación agrícola

Rebeca Granados Ramírez
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

María de la Paz Medina Barrios
Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

El clima es el componente del medio físico, cuya influencia se deja sentir en la actividad agrícola, los elementos que lo integran están sometidos a variaciones en el tiempo y sus efectos son más visibles a corto plazo. El recurso clima ha pasado de estable a cambiante, en los últimos años los elementos temperatura y precipitación han presentado variaciones importantes en el tiempo y en el espacio, y causan preocupación ya que sus efectos se traducen en pérdidas de alimento, entre otros. Por tanto, se debe insistir en el conocimiento profundo del medio climático para que las especies se puedan desarrollar óptimamente, sin invertir grandes sumas de dinero en insumos.

La ciencia que se ha desarrollado como una necesidad de conocer las relaciones intrínsecas que existen entre la agricultura y el clima es la agroclimatología, misma que estudia el potencial climático de las regiones y las necesidades de los organismos vivos. El actual conocimiento del clima en el tiempo y espacio conllevará a una mejor planeación y aprovechamiento de los recursos agrícolas.

Entre los elementos meteorológicos y climáticos a considerar se tienen: radiación, temperatura, viento, precipitación, evaporación, etc., cuya medición se realiza con equipo meteorológico, los cuales al ser monitoreados y registrados permiten analizar su comportamiento, ocurrencia, frecuencia, duración y predicción.

La cuantificación de los recursos climáticos tradicionalmente se ha hecho usando los promedios anuales o mensuales de los elementos del clima, comúnmente registrados en las estaciones meteorológicas. Los resultados son importantes para conocer la distribución de la temperatura y precipitación y finalmente el clima en una región; este conocimiento no es suficiente, es necesario investigar además de la información climatológica convencional, índices que puedan relacionarse directamente con el potencial productivo. La evaluación de los recursos climáticos en forma de índices agroclimáticos permite hacer una planificación de la agricultura, así los estudios agroclimáticos cobran un gran significado dentro del campo de la planeación agrícola, su aplicación contribuye a asegurar la eficiencia de las áreas agrícolas, minimizando riesgos y maximizando la cantidad y calidad de las cosechas. A raíz de los impactos que se han presentado en diversos ecosistemas y actividades productivas por los cambios regionales y/o globales del clima, la aplicación de los estudios agroclimáticos ha tomado un fuerte impulso.

Importancia de la Agroclimatología en México

El hombre desde que inventó la agricultura llegó a conocer la influencia del tiempo en la producción. Los pueblos y civilizaciones antiguas de México, conocían las fluctuaciones de la naturaleza en su conjunto y realizaban prácticas adecuadas para asegurar el sustento alimenticio de la población, es decir, tenían un amplio conocimiento de la naturaleza.

Fue a principios del siglo XIX cuando se realizaron investigaciones sobre la influencia de la temperatura y el desarrollo de las plantas, por dichas relaciones se le conoce a Alejandro Von Humboldt como el padre de la Climatología. Diferentes estudiosos y obras del clima son citados en las memorias de la primera reunión de Agroclimatología, entre otras contribuciones resume que en el siglo XIX apareció la traducción de la *Enciclopedia Agrícola*, donde se dedicó un volumen a la Meteorología y a la Física agrícola, en Estados Unidos se conformó una red de estaciones meteorológicas a la par con los estudios de Meteorología y Climatología aplicados a la agricultura, otras obras importantes fueron las de Köppen (1900), Emmanuel de Martonne (1926) y Thornthwaite (1936), (UNAM, 1985*)*.

Es a partir de la Revolución Mexicana cuando se inicia una masiva difusión en torno a la Meteorología y Climatología en relación con la agricultura. Aparecen obras importantes, instalación de instrumentos registradores de estas variables que puntualizan dicha analogía y reuniones de estudiosos del tema. A partir de entonces obras como –agroclimatología, agrometeorología o de elementos en

particular relacionados con el crecimiento de los cultivos se han multiplicando, como lo demuestran las obras (Romo y Arteaga, 1983; Torres, 1983; Ortiz, 1987; Palacios, 2002; Campos, 2005).

Dentro de los primeros foros en torno a esta temática se celebró la I Reunión Nacional de Agroclimatología en 1985, participaron 182 investigadores y profesores de instituciones como la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Campo Agrícola Experimental de Zacatecas (INIFAP), Campo Agrícola Experimental Mixteca Oaxaqueña (INIA), Colegio de Geografía, Centro de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de Geografía, Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía, Instituto de Biología, UNAM, Banco Nacional de Crédito Rural (BANRURAL), Coordinación de Programas Ganaderos, Subdirección de Hidrología (SARH), Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (ya extintas); con secciones tan variadas, de acuerdo con su temática, como son: Metodologías y Técnicas de Investigación, Enseñanza, Fenología Agrícola, Investigación, Agroclimatología, Desarrollo y Planeación. Este ciclo de conferencias concluyó con la mesa redonda que abarcó el tema "La Agroclimatología en México, desarrollo, problemas y perspectivas". Continuó la temática en la segunda Reunión Nacional de Agroclimatología en 1989, celebrada en la Universidad Nacional Autónoma Chapingo, posteriormente la temática fue abordada en el evento *Primer Congreso Nacional de Fenología Agrícola y Modelos de Simulación Aplicados* a la Agricultura, México, 2004 (UACH, 2004).

Es tal la importancia de esta relación que varias instituciones, entre ellas: la entonces Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), Servicio Meteorológico Nacional (SMN), Escuela de Agricultura "Antonio Narro", Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Universidad Autónoma Chapingo (UACH), Colegio de Postgraduados (CP) e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) poseen estaciones climáticas y realizan investigaciones de zonificación climática, estudios a gran escala (1:1000 000 y 1:500 000) así como zonificaciones regionales.

Aguilar (1995) menciona que el desconocimiento de los fenómenos climáticos que ocurren en el medio rural ocasionan frecuentemente errores en la planeación agrícola, ya que en tierras de temporal es muy difícil tener una idea precisa de cuándo va a llover, granizar o helar. Sin embargo, es posible tener una idea aproximada de la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos, con base en la estadística de datos climáticos.

En varias partes del mundo se ha buscado la interacción del clima con el aspecto agrícola; algunos ejemplos son la división de distritos agroclimáticos hecha por De Fina con la cual se trataron de definir las unidades climáticas utilizadas

en la planeación agrícola (De Fina y Ravelo, 1973). La metodología de zonas agroecológicas propuestas por la FAO, cuyo procedimiento se basa en la estimación de rendimientos máximos potenciales expresados como la capacidad genética de los cultivos para producir biomasa y su adaptabilidad a las características ambientales de la región, mismas que se relacionan con intervalos de duración de periodos de crecimiento (FAO, 1997). Posteriormente y con base en el análisis cuantitativo del clima y cualitativo del suelo estos rendimientos son ajustados para obtener los rendimientos reales agronómicos por clase de aptitud: muy apta (MA), apta (A), marginalmente apta (MA) y no apta (NA); metodología propuesta para el pronóstico de cosechas utilizando diversas variables del clima (Frére y Popov, 1980). Otras obras señalan la importancia de esta relación y zonifican al país de acuerdo con la distribución de diversos indicadores (Pascale y Damario, 2004).

Algunas investigaciones en México han adoptado metodologías para ser aplicadas en áreas de riego y es la falta de éstas en las zonas de temporal lo que ha ocasionado que no se obtengan mejores producciones. Entre las investigaciones de zonificación agrícola realizadas para México a escala nacional, regional y estatal están las de Gómez (1981) en el estudio de distritos agroclimáticos según De Fina aplicado al estado de Aguascalientes, donde identifica a éstas como áreas suficientemente pequeñas que permiten afirmar que dentro de los mismas, las condiciones de clima son tan homogéneas como para asegurar que en todas las localidades pueden introducirse los mismos cultivos con probabilidad de éxito. El sistema de distritos es de gran utilidad pues permite recomendar nueva variedad de un cultivo, tipificar productores o cosechas, dictar normas de política agrícola; en síntesis, sirve para planear la agricultura sobre una base climática firme.

Romo (1985) efectuó una zonificación del potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana. Flores (1987) realizó el estudio del comportamiento de los elementos del clima en tiempo y espacio en el estado de Michoacán y García *et al.* (1996) concluyó una zonificación agroecológica de los principales cultivos de riego en el estado de Guanajuato.

Igualmente se han realizado investigaciones aún más particulares donde se ha concluido que conociendo los requerimientos climáticos de los cultivos (variedades de frijol, maíz, café y amaranto, por ejemplo) y correlacionándolos con las condiciones climáticas predominantes de una zona pueden ser una alternativa para desarrollar nuevas áreas (Romo, 1985; Reyna y Granados, 1987; Hernández, 1989; Amador, 1989; Álvarez, 1990; Pérez, 1990; Reyna, 1993; Reyna *et al.*, 1997; Reyna *et al.*, 2007a y b). Por otro lado, existen estudios específicos encami-

nados a la búsqueda de especies vegetales que pudieran ser alternativas en las áreas temporaleras, dentro de éstas se propone el amaranto (Pérez y Taboada, 1995).

Actualmente diversas universidades, dependencias de gobierno e institutos privados, forman investigadores y docentes capaces de manejar con fluidez las teorías y metodologías y realizar investigación original en torno a la Agroclimatología.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), con apoyo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y de las Fundaciones Produce de los estados, implementó la *Red Nacional de Estaciones Estatales Agroclimatológicas.* Para mediados del 2010, la red estaba constituida por 845 estaciones distribuidas en 29 estados. AGROCLIMA se encarga de diseñar productos especializados para la toma de decisiones en el sector agrícola, se aplican pronósticos agrometeorológicos semanales como pronósticos agroclimatológicos estacionales [http://www.agroclima.com.mx/productos.php].

Igualmente el INIFAP desarrolló el Sistema para Caracterizaciones Agroclimáticas (SICA), sistema útil para la captura y análisis de datos climáticos (Medina y Ruíz, 1992). El Sistema de Centros Regionales Universitarios (SCRU) de la Universidad Autónoma Chapingo realiza investigación y forma personal con conocimientos agronómicos. La Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM en su página relacionada a huertos fenológicos, incluye temas referentes al clima, artículos científicos, cuenta con un Boletín, incluso con un Atlas Agroclimático [http://www.huertofenologicounam.com/index.htm]. También el Centro de Ciencias de la Atmósfera ya cuenta con el *Atlas Climático Digital de México*, mismo que proporciona la distribución espacial de los parámetros: temperatura media, temperatura máxima promedio, temperatura mínima promedio, precipitación y algunos parámetros bioclimáticos [http://www.atmosfera.unam.mx/uniatmos/atlas/].

AGROASEMEX ha desarrollado un Sistema de Información sobre Riesgos Agrícolas que permite de manera gráfica conocer la probabilidad de pérdida asociada a la presencia de amenazas climáticas. La consulta de dicha información se hace posible gracias al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ya que a través de su herramienta IrisWeb se tiene acceso a los mapas temáticos de una manera fácil y rápida [http://www.agroasemex.gob.mx ; http://201.158.1.171/irisweb_agro/htdocs/].

Instituciones privadas especialistas en riesgos catastróficos, mencionan que México es altamente vulnerable a factores climáticos extremos, principalmente relacionados con eventos de carácter hidrometeorológico (precipitación y tempe-

raturas), es por esta razón que se han realizado diversos esfuerzos para medir la influencia de estos fenómenos [http://www.catriskmexico.com/].

Es, pues, importante realizar estudios agroclimáticos que permitan conocer las relaciones de los cultivos con el clima; que entre otras cosas ayuden a evitar pérdidas de cosechas, adecuar los cultivos y sus variedades a zonas con climas óptimos; o bien, a realizar labores agrícolas de tal manera que no se arriesgue al cultivo a factores climáticos adversos.

Objetivos de la Agroclimatología

Sus objetivos son profundizar en el conocimiento de las relaciones que existen entre el clima y la actividad agrícola, tanto en los cultivos como en los métodos y técnicas utilizadas. Proporcionar las bases científicas necesarias para optimizar la toma de decisiones en la planificación agrícola; en este sentido, la información se transmitirá en dos direcciones y dos escalas interconectadas entre sí: a los agricultores (individual) ya sea a corto y medio plazo; a los diferentes organismos (regional y nacional) responsables de la ordenación agrícola, a medio y largo plazo. Lo anterior con el fin de mejorar la producción del campo mediante la previsión y conocimiento de las condiciones atmosféricas.

El conocimiento del recurso clima tiende a favorecer el incremento de la producción agrícola en aspectos tales como: apertura de nuevas zonas a la producción agrícola, evaluando los recursos agroclimáticos regionales, mismo que involucra el análisis estadístico de la información histórica de los diferentes elementos climáticos (temperatura, precipitación, humedad, etc.). Este conocimiento permite evaluar a nivel regional lo siguiente: *a)* valoración del ecosistema; *b)* estimación de los recursos agroclimáticos disponibles; *c)* selección de cultivos y planificación a largo plazo de los sistemas agrícolas; *d)* estudios de condiciones climáticas análogas, y *e)* estudios de variabilidad climática.

En la etapa de planificación, el análisis del clima de una región determinada con bases probabilísticas permite definir las siguientes actividades: *a)* la utilización de maquinaria para la siembra, recolección y secado de forrajes, legumbres, etc.; *b)* medidas de control de plagas y enfermedades; *c)* construcción de almacenes para productos agrícolas, y *d)* prevención de posibles daños causados por fenómenos meteorológicos adversos (heladas, granizo, viento fuerte, etc.). En todos estos casos la disponibilidad de datos agroclimáticos es un instrumento de primer orden para asegurar la eficiencia de la operación y planeación de cultivos, minimizando riesgos y maximizando la calidad de las cosechas.

Fuentes de información

Para poder establecer las expresiones cuantitativas que relacionan el crecimiento y desarrollo de los cultivos en cada fase fenológica y su productividad final con el clima, es necesario analizar los elementos atmosféricos, su variabilidad y frecuencia de aparición; así como también disponer de una base de datos meteorológicos, proveniente de los observatorios y estaciones climáticas; con dicha información se establecen expresiones cuantitativas que relacionen el crecimiento y desarrollo de los cultivos en cada fase fenológica y su productividad.

Es necesario disponer de valores medios de los siguientes parámetros:

- temperatura del aire,
- índices actinotérmicos (desde el nivel del suelo a los 200 cm),
- humedad del aire,
- velocidad y dirección del viento (a 200 cm),
- insolación y radiación,
- nubes e hidrometeoros,
- temperatura del suelo (a -5, -10 y -20 cm),
- humedad del suelo,
- medidas de evapotranspiración y balance hídrico.

En función de las exigencias climáticas de los cultivos a lo largo de las distintas fases de desarrollo será necesario trabajar los datos a escala diaria, semanal, decenal o mensual. Para algunas actividades agrícolas las series deben ser analizadas con referencia al ciclo vegetativo y periodos que corresponden a determinadas fases fenológicas críticas o a periodos que corresponden con determinadas actividades agrícolas. Además de la información climática, el banco de datos agroclimáticos se compone de información fenológica, evaluación de rendimientos agrícolas y contabilización de daños agrícolas y disminución o pérdidas de cosecha.

El periodo de referencia de las series de datos climáticos debe ser lo más larga posible, según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) son 30 años como media para las series climáticas. No obstante, en el caso de las precipitaciones se recomiendan 40 años si se trata de un área de montaña.

La información de producción es proporcionada por el Sistema Nacional de Información del Sector Agroalimentario (SIAP), esta institución es un órgano desconcentrado de la SAGARPA, y es el encargado de diseñar y coordinar la operación de la información agrícola.

Importancia de la temperatura en los cultivos

De la misma forma que el clima ayuda a que la vegetación llegue a su óptimo desarrollo, también establece límites para la producción agrícola. A pesar de que los cultivos están afectados, además por otros factores tales como suelo, condiciones del relieve, etc., no pueden alcanzar una importancia real en un sistema agrícola a menos que estén bien adaptados a las condiciones del clima; es decir, la agricultura de temporal todavía sigue siendo dependiente de las condiciones climáticas prevalecientes en un lugar.

El hombre mediante ciertas prácticas, controla o altera el clima en pequeñas áreas, para favorecer el crecimiento de algunos cultivos, pero los métodos son costosos, por ejemplo: campos cubiertos con plásticos para reducir la pérdida de agua por evaporación, o para amortiguar las heladas, irrigación y barreras rompevientos (Bacsó, 1967).

Todos los cultivos tienen ciertos límites naturales climáticos fuera de los cuales no se desarrollan eficientemente. Las investigaciones de mejoramiento y obtención de variedades más resistentes al clima, están gradualmente extendiendo esos límites, tales como: trigo, cebada y maíz, entre otros; no obstante, el clima sigue teniendo gran influencia en la agricultura de temporal.

Las plantas, como seres vivos, se pueden considerar como aparatos meteorológicos registradores que tienen la ventaja de ser sensibles, a varios elementos del clima: temperatura, lluvia, viento, iluminación, etc. (Fuentes, 1989).

El ciclo vegetativo, rendimientos cuantitativos y cualitativos de las plantas están vinculados con numerosos elementos climáticos; son la temperatura y la precipitación los que acusan las más estrechas relaciones.

La temperatura del aire es un elemento del clima necesario para la agricultura y consecuentemente para la producción de alimentos; afecta los procesos fisiológicos de las plantas. Su comportamiento y evaluación es de suma importancia para la planeación de actividades agrícolas. Por tanto, es substancial considerarlo como un factor ecológico que influye directamente en los procesos fisiológicos de las plantas.

La fenología estudia los fenómenos periódicos de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico, fases como: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de los frutos, etc., tienen fuerte relación con las condiciones prevalecientes de temperatura. Los diferentes cultivos tienen necesidades especiales de calor en sus distintas etapas fenológicas, por lo que debe existir gran concordancia entre las temperaturas necesarias y su ocurrencia, para obtener rendimientos óptimos y buena calidad.

Cada planta presenta límites mínimos, óptimos y máximos de temperatura para cada fase de desarrollo. Algunas son susceptibles a las temperaturas altas en las primeras fases fenológicas, aunque posteriormente pueden resistir el calor extremo. No todos los vegetales tienen las mismas temperaturas críticas o extremas, algunos suspenden funciones que no pueden ejercer bajo la acción de las bajas temperaturas, e incluso pierden los órganos encargados de cumplirlas (Wilsie, 1966). Las altas temperaturas que sobrepasan los límites de tolerancia pueden producir escaldamientos o lesiones debido a la radiación intensa, la cual conduce al excesivo calentamiento de la planta. Las quemaduras de las plantas también suelen aparecer cuando existen noches heladas y días soleados, en el caso del maíz es afectada la mazorca (Bacsó, 1967).

Ciertas plantas mueren al ser expuestas a temperaturas bajas y no necesariamente debajo del punto de congelación. El frío reduce la circulación del agua hacia la raíz y ésta puede llegar aun a secarse; con estas características bastan dos o tres días para que se arruinen cosechas enteras (Bonner y Galston, 1961).

Importancia del agua en los cultivos

El agua en todas sus formas tiene una participación fundamental en el crecimiento de los cultivos. Igualmente posee un papel importante en la constitución de la planta, a tal grado que en algunas constituye el 95% del total del contenido en masa. Por lo que respecta a las funciones del agua en las plantas son múltiples; es el constituyente principal del protoplasma (Larcher, 1995). El agua actúa como un regulador de calor y hace posible que la planta absorba una gran cantidad de radiación solar sin elevar grandemente su temperatura; aun más, debido al calor latente, la transpiración actúa refrescando a la planta permitiéndole disipar el calor tomado de la radiación solar (Gómez, 1991).

En la actividad agrícola temporalera de cualquier región es esencial conocer la cantidad de agua disponible, la cual proviene directamente de la precipitación pluvial. Así como la distribución de ésta durante el ciclo agrícola.

La precipitación excesiva es perjudicial por ejemplo en fases fenológicas tempranas, debido al impacto de ésta sobre los retoños, además de que tiende a compactar las capas superiores del suelo, retrasando o impidiendo el brote de las plántulas. Igualmente causa grandes daños cuando cae excesivamente en la fase de la floración y fructificación y más, cuando se acompaña de granizo (Terrones, 1989).

La humedad en el ambiente, causada por precipitaciones continuas y abundantes, también llega a dañar los cultivos, pues permite o estimula la presencia

de fungosis especialmente en aquellas partes de la planta, en donde la circulación del aire queda restringida. El exceso de humedad en el suelo, es decir, por arriba de la capacidad de campo, restringe el movimiento libre de oxígeno, formándose compuestos tóxicos para la raíz de la planta.

Contrariamente, se encuentran las condiciones de mínima precipitación y sequía bajo las cuales la cantidad de agua transpirada y evaporada excede el agua disponible del suelo, y si estas condiciones no se equilibran mediante la aplicación de una cantidad suficiente de agua de riego, las plantas comienzan a marchitarse y terminan muriendo.

Los 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.), proporcionan tanto exigencias como relaciones de las plantas con elementos del clima.

Los indicadores agroclimáticos son diversos, algunos pueden proceder de un solo elemento del clima como las horas frío, constante térmica, etc., derivados de la temperatura; sequía, porcentaje de lluvia invernal, precipitación total anual, etc., indicadores derivados de la precipitación. Existen también indicadores de evaluación compleja, las cuales combinan ambos elementos del clima: P/T, evapotranspiración, duración del periodo de crecimiento y otros.

De acuerdo con la escala de aplicación, los indicadores pueden ser a nivel nacional, regional y local. Los métodos para su determinación se basan en observaciones paralelas del crecimiento, desarrollo y cosecha de cultivos con las condiciones climáticas. Mediante herramientas de análisis espacial los indicadores son cartografiados para así poder conocer la distribución en el espacio, a su vez relacionarlos con otros elementos físico-geográficos y sugerir propuestas de adaptación y ordenación del espacio agrícola (Cuadro 1). Los indicadores se listan en tres grupos: indicadores térmicos, derivados de la precipitación y de fenómenos meteorológicos.

Conclusiones

En los últimos años diversos ecosistemas entre ellos los agrícolas se han tornado más sensibles a las variaciones, los cambios regionales y/o globales del clima. La

Cuadro 1. Indicadores propuestos para una investigación agroclimática (García, 1966; Wilsie, 1966; Mosiño y García, 1966; Villalpando, 1985)

Indicadores de temperatura	Indicadores de precipitación
Temperatura media	Precipitación total anual
Temperatura máxima	Precipitación total mensual
Temperatura mínima	Precipitación total de verano
Temperatura diurna	Porcentaje de precipitación de verano
Temperatura nocturna	Sequía relativa
Temperatura máxima extrema	Probabilidad de lluvia
Temperatura mínima extrema	Días con precipitación apreciable
Fototemperatura	Índice de humedad
Nictotemperatura	Evaporación total
Fluctuación entre foto y nictotemperatura	Evaporación potencial
Unidades calor	Evapotranspiración potencial
Constante térmica	Inicio de estación de crecimiento
Horas frío	Término de estación de crecimiento
Amplitud térmica	Duración de la estación de crecimiento
Unidades fototérmicas	Inicio del periodo húmedo
	Terminación del periodo húmedo
Fenómenos meteorológicos	
Fecha de la primera helada	Fecha de la última helada
Periodo de heladas	Probabilidad de heladas
Probabilidad de granizadas	Número de días nublados
Número de días soleados	

información climatológica convencional no es suficiente para planificar las actividades agrícolas, más ahora que las variaciones de los elementos del clima han tenido gran impacto en diferentes sectores económicos, por ello se hace necesario el cálculo de indicadores que puedan relacionarse directamente con el desarrollo de cultivos.

La evaluación de los recursos climáticos en forma de índices, han tomado un fuerte impulso, ya que aportan un diagnóstico amplio del comportamiento regional de los elementos climáticos, así los estudios agroclimáticos cobran un

gran significado dentro del campo de la planeación, su aplicación contribuye a asegurar la eficiencia de las áreas agrícolas, minimizando riesgos y maximizando la cantidad y calidad de las cosechas.

La Agroclimatología es la ciencia que permite comprender la influencia que principalmente tienen la temperatura y la precipitación en la producción agrícola. Una vez caracterizado el espacio con base en los indicadores se garantiza la utilización racional de este conocimiento en la toma de decisiones.

El conocimiento de la frecuencia, duración, distribución de la precipitación y temperatura permite proponer medidas de adaptación agrícola, tales como sugerir la introducción de cultivos alternos que se adapten a los requerimientos ecológicos actuales y proponer la movilidad fenológica de los ciclos agrícolas, entre otros aspectos.

La Agroclimatología actualmente incorpora nuevas herramientas para el análisis espacial; dirigidas a la representación cartográfica de los elementos e índices. A partir de la creación de mapas agroclimáticos, básicamente los referidos al comportamiento de la temperatura, radiación solar, fenómenos hidroclimáticos y de riesgo climático, es posible obtener indicadores cardinales (umbrales máximos, mínimos y óptimos) necesarios para el desarrollo de las plantas cultivadas.

Es tal la importancia de esta relación, que diversas instituciones académicas y federales poseen infraestructura climática y realizan investigaciones de zonificación nacional y regional, bajo el enfoque de proporcionar bases sólidas de previsión, conocimiento de las condiciones atmosféricas, para optimizar la toma de decisiones en la planificación agrícola a corto y medio plazo.

Capítulo 4. Distribución de las horas frío y alteraciones ante el fenómeno de El Niño

Rebeca Granados Ramírez
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Stacy Hernández Millán
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Universidad Nacional Autónoma de México

Teresa Reyna Trujillo
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

El clima es uno de los principales factores que influyen en el establecimiento de las plantas. El conocimiento y evaluación del clima es de vital importancia para el uso y manejo de los recursos naturales así como para la planificación de actividades agropecuarias y forestales (Villalpando y García, 1993). Dentro de los factores climáticos, la temperatura es, normalmente, el elemento climatológico que más influye en el desarrollo de una especie, por lo que su estudio resulta fundamental (Melgarejo, 2000).

Un indicador derivado del elemento temperatura es el denominado horas frío, mismo que es de particular importancia en la fruticultura, debido a que en México se cultiva una gran variedad de caducifolios de importancia económica y alimentaria para el país. En la región Centro-Occidente se localiza una de las zonas con mayor producción en lo que respecta a estos frutales, tales como durazno, manzana y uva.

Las horas-frío se refieren al número de horas que pasa la planta, durante el periodo de reposo invernal, a temperaturas iguales o inferiores a un umbral, siendo frecuente que se fije en 7° C (Calderón, 1993; Melgarejo, 2000; Urbano, 2003). Debido a que la elección de las especies a cultivar, así como de las varie-

dades a elegir, está íntimamente ligada a sus requerimientos de frío invernal, es necesario conocer los requerimientos de cada variedad para tomar una decisión adecuada, así como también es de gran importancia tener una referencia de las horas-frío que se acumulan en una determinada zona para realizar una apropiada planeación de los cultivos.

En México, como en otros lugares del mundo, los efectos producidos por El Niño no son desconocidos; dicho fenómeno produce variaciones en los elementos del clima, principalmente en lo que se refiere a la precipitación, pero también se presentan alteraciones en la temperatura. Por tal motivo, en este capítulo se pretende dar a conocer un panorama general de lo que son las horas-frío y cómo éstas se distribuyen en la región Centro-Occidente, así como las diferencias que se presentan en su ocurrencia, cuando se presenta el fenómeno de El Niño.

Horas-frío

La mayoría de las plantas, principalmente aquellas de regiones templadas y cercanas a los polos, experimentan en algún momento de su ciclo vital periodos durante los cuales su crecimiento queda temporalmente suspendido o al menos retardado, es entonces cuando se dice que las plantas se encuentran en letargo, lo cual representa un medio de defensa ante los factores climáticos adversos (Devlin, 1982; Calderón, 1993; Hopkins y Hüner, 2009).

En los frutales caducifolios, propios de regiones frías y templadas, el periodo de letargo empieza al final del verano o principio del otoño, manifestándose externamente por la pérdida del follaje (Devlin, 1982). Cuando ocurre la caída de las hojas, las yemas ya están en un estado de profundo periodo de reposo del que no salen hasta que han acumulado suficiente cantidad de frío invernal. La acción del frío es acumulativa y la salida del estado de reposo se produce después de haberse superado un cierto tiempo de exposición al frío (Urbano, 2003). Para esto se determina que los 7° C es la temperatura límite superior con acción favorable de enfriamiento, designándose como horas-frío (Ortiz, 1987). Entonces, las horas-frío se definen como el número de horas que pasa la planta, durante el periodo de reposo invernal, a temperaturas iguales o inferiores a un umbral, siendo frecuente que esta temperatura se fije en 7° C (Reyna, 1981; Calderón, 1993; Melgarejo, 2000; Urbano, 2003).

A la cantidad específica de horas que requiere una determinada especie por debajo de los 7° C, para salir de la dormancia se le denomina como requerimien-

tos de frío (Cuadro 1), los cuales son propios de cada variedad frutal más que de una especie (Reyna, 1981; Gil-Albert, 1992).

El conocimiento de dichos requerimientos es vital en la planeación frutícola. Cuando se pretende lograr el establecimiento de un cultivo caducifolio, lo primero que se debe conocer es la cantidad de horas-frío que se presentan en la zona elegida, ya que de no cumplirse los requerimientos de la variedad escogida, los árboles no florecerán o no lo harán en tiempo y forma, lo que implica daños importantes a la producción o incluso la necesidad de aplicar técnicas que compensen la falta de frío, como productos químicos, lo que si bien tiene buenos resultados, genera un gasto mayor para sacar adelante la producción.

Uno de los métodos más usados para calcular las horas-frío es el método Da Mota (Gómez y Morales, s/a; Reyna, 1983; Calderón, 1993; Muñoz y Rodríguez, 1999; Hernández, 2001), ya que éste es el que proporciona una estimación más cercana a lo obtenido mediante el termógrafo. Este método utiliza una regresión lineal entre las horas-frío encontradas por un termógrafo y la temperatura media mensual. La fórmula aplicada es la siguiente:

$Y = 485{,}1 - 28{,}52\ x$
siendo: Y = horas-frío.
x = temperatura media mensual.
485.1 = intercepto de la línea de regresión con el eje de las Y's.
-28.52 = pendiente de la línea de regresión.

Distribución de las horas-frio en la región Centro-Occidente

En la región Centro-Occidente se encuentran zonas desde 0 horas frío, hasta zonas superiores a las 1000 (Figura 1). La distribución se presenta de la siguiente forma:

0-50 horas-frío en la costa de Jalisco hasta la cuenca del Balsas al sur, y al norte del estado en la cuenca del Río Ameca en Jalisco y Nayarit, así como en los alrededores de Apatzingán en Michoacán. Mientras que en el este se encuentran pequeñas zonas en los límites de la región con San Luis Potosí y con Veracruz.

50-200 en la zona central de Jalisco, pasando por la Laguna de Chapala y la cuenca del Río Santiago-Guadalajara, llegando hacia el este hasta los alrededores de Celaya, Guanajuato y al norte de la capital. Porción septentrional en parte de

Cuadro 1. Requerimientos de horas-frío de algunas especies de frutales de importancia económica en la región Centro-Occidente de México

Frutal	Requerimientos horas-frío
Durazno	100-1200
Manzana	800-1400
Uva	100-1400
Ciruela	100-1500
Pera	800-1400
Frambuesa	800-1700
Nuez	700-1500
Membrillo	100-500
Chabacano	300-700
Higo	100-300

Fuente: Coleto (1989) y Calderón (1993).

la cuenca del río Bolaños y Huaynamota en Nayarit y Jalisco. En la cuenca del río Juchipila en Zacatecas. En el sur de la región en la escarpa limítrofe del sur en Michoacán. En la costa este se localizan pequeñas franjas al norte de Puebla, Hidalgo y una más en los límites de Querétaro y Guanajuato en la cuenca del Río Tamuín.

200-400 en la parte este de la cuenca del río Bolaños en Jalisco y Zacatecas y Huaynamota en Jalisco, así como los alrededores de Nochistlán de Mejía en Zacatecas. La mitad sur de Aguascalientes y la cuenca del río Verde Grande y del Lerma-Salamanca en Guadalajara. En la cuenca del río Moctezuma y Laja en Guanajuato y Querétaro; además la cuenca del río Lerma-Toluca. En la mayor parte de la Sierra Neovolcánica Tarasca y parte de la depresión del Balsas y la subprovincia de Mil Cumbres. En Hidalgo en el Valle de Ixmiquilpan y en la zona norte del estado, así como la zona norte del Distrito Federal; en el norte de Puebla en una franja que corre de oriente norponiente, desde Zacapoaxtla hasta Huauchinango.

400- 600 en gran parte de la cuenca del río Aguanaval y Mayrán, así como en la del río Viesca en Zacatecas, la parte norte de Aguascalientes, Ojuelos en Jalisco y una franja que inicia desde el centro-norte hacia nor-oeste, desde San Luis de la Paz a Ocampo, en Guanajuato. La región noreste del Estado de México y el área

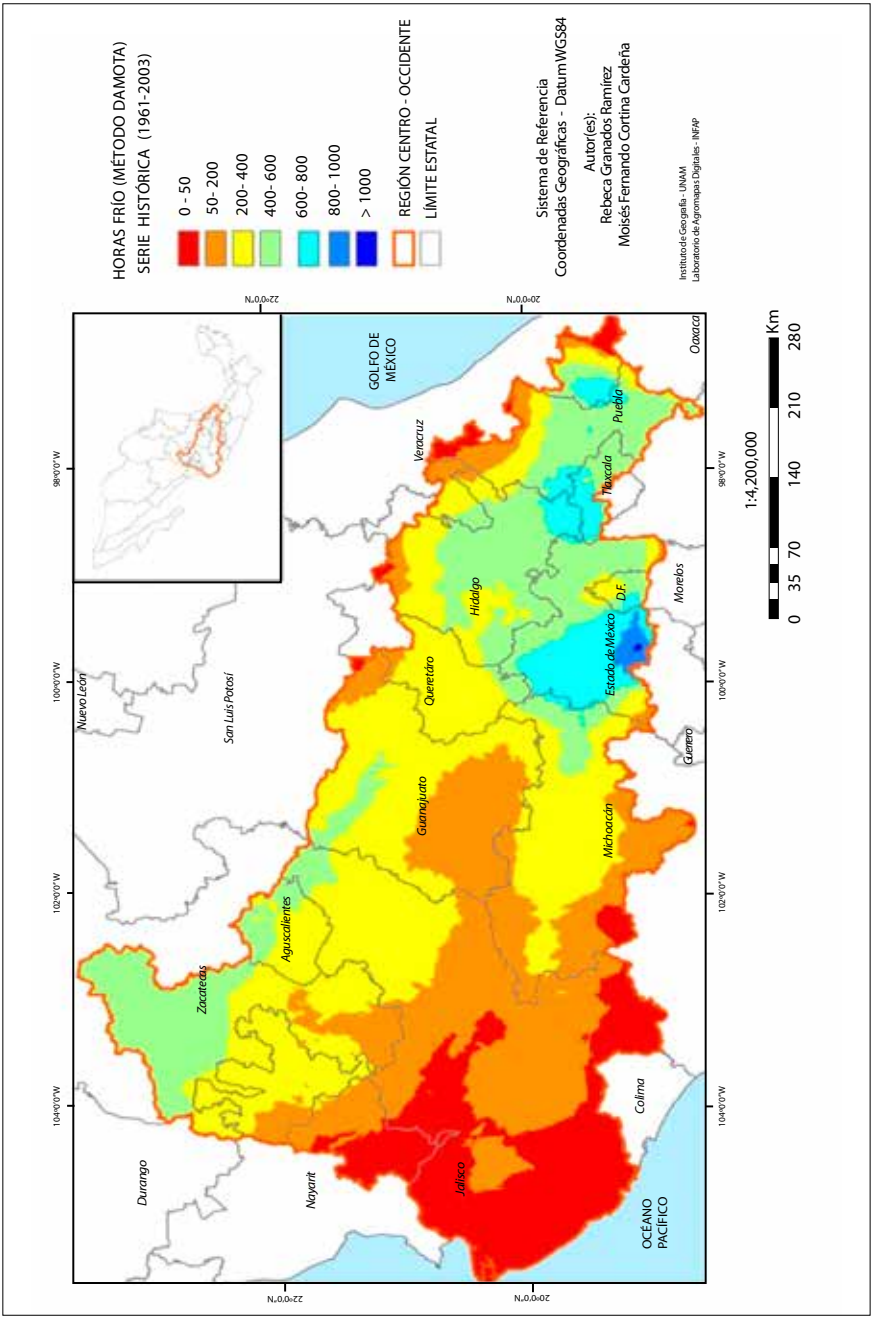


Figura 1. Distribución de las horas-frío históricas (1961-2003) de la región Centro-Occidente (Método Da Mota).

metropolitana hasta los límites con Puebla y Tlaxcala y sur del Distrito Federal. La mitad sur de Hidalgo en la cuenca del río Moctezuma, la cuenca del río Tecolutla y la zona noreste de la cuenca del río Atoyac en Tlaxcala y Puebla, así como en la región sur de la cuenca del río Tecolutla en Puebla.

600-800 al noroeste del Estado de México en la región hidrológica Lerma-Santiago y parte de las delegaciones Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y Tlalpan en el Distrito Federal, la cuenca del río Moctezuma en Tlaxcala y Puebla, así como en la región colindante con Hidalgo en los alrededores del Cerro la Peñuela. En el Pico de Orizaba y los valles que lo rodean.

800-1000 y >1000 pequeña área concéntrica en el Nevado de Toluca (volcán Xinantécatl).

El Niño/Oscilación del Sur

El término El Niño fue utilizado por primera vez por los pescadores peruanos para caracterizar una corriente marina cálida del sur a lo largo de las costas de Perú y Ecuador, que se presentaba a finales de diciembre, al acercarse la navidad (Magaña, 2004; Silva, 2008).

El fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) se presenta cuando ocurre un calentamiento anómalo de las aguas superficiales del este del Pacífico Ecuatorial (Figura 2) que se extiende hasta la línea Internacional del tiempo (180° W), (Jaimes, 1999; Pereyra *et al.,* 2004; Magaña, 2004). Históricamente, el ENSO se ha presentado a intervalos irregulares de dos a siete años con una duración de uno a dos años, aunque recientemente ha ocurrido con mayor frecuencia de tres a cuatro años con una duración de 12 a 18 meses (Magaña *op. cit.*; Silva, *op. cit.*).

En México, El Niño tiene serias repercusiones; de manera general se puede decir que las lluvias de invierno se intensifican y las de verano se debilitan. En la zona centro y norte del país se incrementan los frentes fríos en invierno, mientras que en verano aparece la sequía y disminuye el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña *et al.,* 1998).

En los últimos 50 años han ocurrido 12 eventos El Niño (Magaña, 2004), siendo el de 1997-1998 el más intenso con anomalías positivas de temperatura superficial del mar en el extremo oriental del Océano Pacífico Ecuatorial de hasta 5-6° C (Jaimes, 1999; Magaña *op. cit.*).

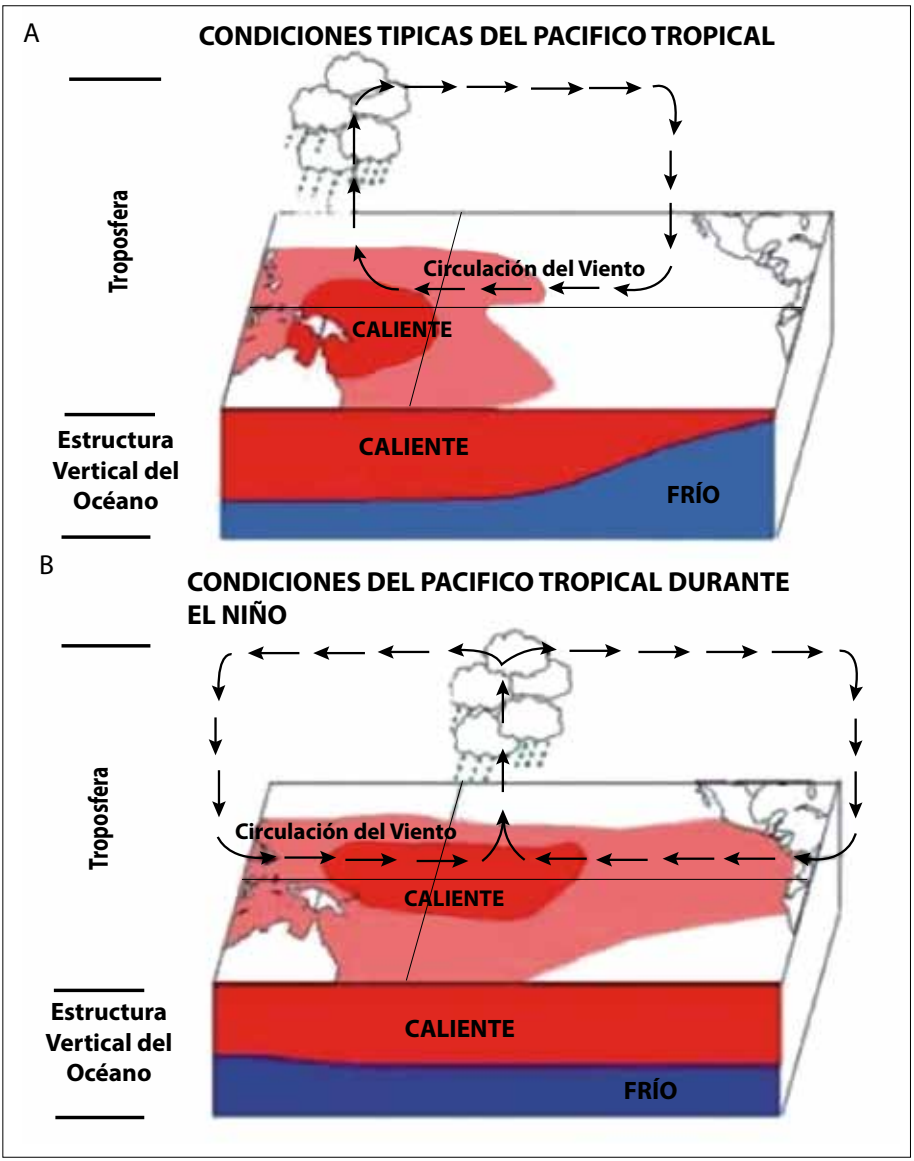


Figura 2. (tomada de http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cambio/nino.htm), A) las condiciones normales de convección de los vientos del Océano Pacífico Tropical originan que en la zona oeste del Pacífico la temperatura del agua sea elevada, y B) cuando se presenta ENOS el sistema de convección de vientos que se dirigen a los continentes se divide, originando que también el agua se disipe a lo largo del ecuador (Silva, 2008).

En un año normal, las condiciones invernales en la República Mexicana son parcialmente reguladas por frentes fríos y lluvias invernales, principalmente en el norte del país (Magaña, 2004). Cuando uno de estos sistemas logra alcanzar latitudes bajas se le denomina Norte, que en términos generales se refiere al resultado de la acumulación de aire frío en latitudes medias, e intensos gradientes meridionales de presión en la troposfera baja, que resulta en irrupciones de aire frío hacia los trópicos (Hastenrath, 1991).

En la región del centro y sureste mexicano, el impacto de El Niño en invierno está fuertemente relacionado con la actividad de los Nortes, cuyo número e intensidad al parecer se ve afectado por los cambios en la circulación atmosférica media.

En inviernos El Niño, la corriente de chorro de latitudes medias, que es en donde se encuentran inmersos los ciclones se desplaza hacia el sur, provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvia en el norte y centro del país (Magaña *et al.,* 1997). La anómala presencia de frentes fríos de manera continua durante inviernos El Niño, provoca que las temperaturas en gran parte del país se presenten por debajo de lo habitual, llegando en ocasiones a producirse nevadas en lugares en donde esto no ocurre en condiciones normales, como las ocurridas en 1997 en Jalisco, Guanajuato y el Distrito Federal como resultado de este evento (Magaña, 2004).

Efectos de El Niño en la ocurrencia de horas-frío

Se habla mucho del impacto que El Niño ejerce en el aumento o disminución de la precipitación, sin embargo, poco se ha tratado del efecto de dicho fenómeno en la temperatura y particularmente en la acumulación de horas-frío.

Como ya se mencionó, en México el verano El Niño provoca que las lluvias de la mayor parte del país disminuyan, principalmente en el centro del país. La disminución de nubes permite que una mayor cantidad de radiación entre a la atmósfera y llegue a la superficie, esto ocasiona que se registren temperaturas por encima de lo normal en gran parte del territorio nacional. Por el contrario, durante los inviernos en El Niño se presentan temperaturas menores a lo normal (Conde, 2009). Además, la disminución en la cantidad de humedad sobre el altiplano central, resulta en un mayor enfriamiento radiactivo y heladas inesperadas sobre el centro de México.

De esta forma se presenta una mayor ocurrencia de horas-frío en el centro de México (Figura 3) en comparación con las horas-frío históricas para la misma

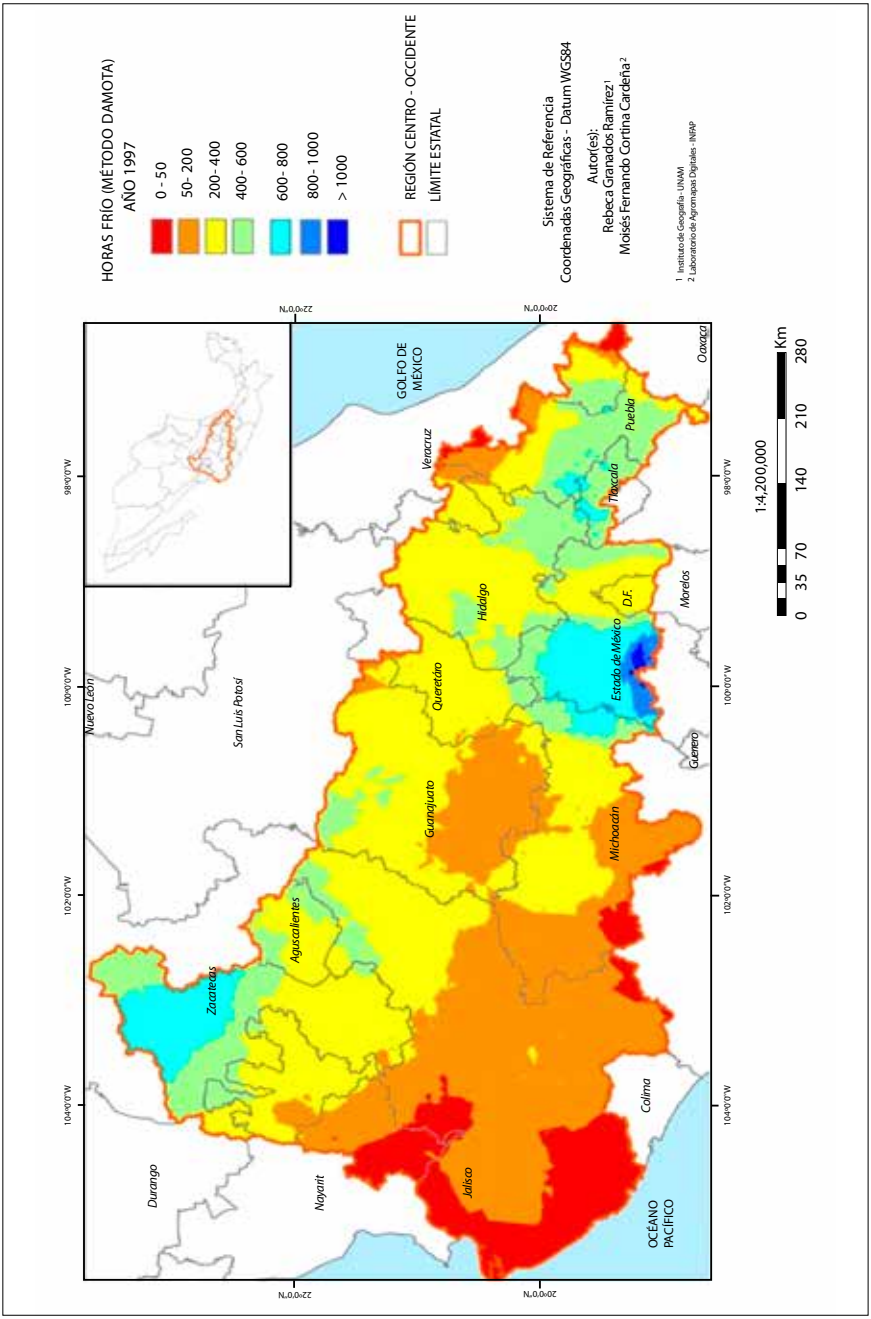


Figura 3. Distribución de las horas-frío en la región Centro-Occidente en 1997 (Método Da Mota).

zona. Las zonas de 0-50 horas-frío disminuyen, así como también las de 400-600 horas-frío, ya que más regiones son ocupadas por los intervalos de 200-400 y 600-800 horas-frío.

González Colville (2004) señala que para la región del Maule, en Chile, tanto el fenómeno de El Niño, como el de La Niña, provocan anomalías en las horas-frío, heladas y precipitaciones durante el periodo invernal.

0-50 se observa que esta zona se recorre más hacia la costa de Jalisco y a la cuenca del río Chacala-Purificación, localizándose otra región pequeña en la parte este de la cuenca del Ameca-Atenguillo en Jalisco y Nayarit y de la Presa La Vega-Cocula, así como en los límites de Jalisco con Michoacán y en la zona aledaña al volcán Tancítaro. Igualmente, al este de la región, en los límites se encuentran dos pequeñas zonas dentro del estado de Veracruz.

50-200 ocupan un mayor territorio de Jalisco hacia el oeste, terminando en la cuenca del río Lerma-Chapala y continuándose por Michoacán hasta las sierras y bajíos Michoacanos, así como en la escarpa limítrofe del sur en el mismo estado. En Guanajuato en parte de las cuencas del río Lerma-Salamanca, del Verde Grande y del Lago Pátzcuaro-Cuitzeo-Yuriria y en los límites norte de Veracruz y Puebla.

200-400 se extiende a todo el sur de Zacatecas en la cuenca del río Juchipila y Bolaños. La región centro-norte de Hidalgo y la cuenca de los ríos Tuxpan y Moctezuma en Veracruz. La franja al norte de Puebla se extiende un poco más hacia norte y sur. La región del norte del Distrito Federal abarca todo el Distrito y zona metropolitana, y se continúa al norte hasta llegar a Hidalgo.

400-600 esta zona disminuye con respecto al promedio histórico, ya que ocupa una menor superficie de Zacatecas e Hidalgo, aunque aumenta hacia el norte de Tlaxcala.

600-800 se presentan en el centro de Zacatecas ocupando parte de las cuencas de los ríos Aguanaval, Fresnillo-Yesca y Lagunas de Mayrán y Viesca. Igualmente en la región noroeste del Estado de México y se continúa hasta la depresión del Balsas en Michoacán. La región de Tlaxcala se restringe a los límites entre dicho estado con Puebla e Hidalgo.

800-1 000 en los municipios cercanos a Toluca hasta Valle de Bravo al oeste y este de Tianguistenco.

>1 000 en el Nevado de Toluca (volcán Xinantécatl), el Valle de Toluca y municipios aledaños.

Efectos en la fruticultura

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en la región Centro-Occidente son diez los frutales caducifolios que se producen de forma importante; de acuerdo con la producción obtenida en 2008: durazno, manzana, uva, ciruela, pera, frambuesa, nuez, membrillo, chabacano e higo (Cuadro 2). En 2006 se obtuvo una producción de 312 244.7 toneladas de caducifolios (SIAP) en los estados que comprenden la región Centro-Occidente (Cuadro 3), mientras que para 1997-1998 en que se presentó El Niño, la producción disminuyó casi en 100 000 toneladas para la misma zona, observándose una lenta recuperación para 1999. De acuerdo con estos datos, el durazno y la manzana presentaron una pérdida mayor en producción de 1996 a 1997 con respecto a los otros frutales.

Parte de la disminución en la producción se debió a la presencia de heladas inesperadas consecuencia de El Niño en el territorio nacional, ya que, si bien hay mayor acumulación de frío, esta situación puede provocar que al cumplirse los requerimientos propios de cada variedad, al presentarse días con condiciones favorables, éstos comiencen a florecer y al ocurrir las heladas en esta etapa, las

Cuadro 2. Principales frutales caducifolios producidos en la región Centro-Occidente (SIAP)

Frutal	Producción 2008 (ton)
Durazno	123 285.15
Manzana	52 385.25
Uva	43 687.47
Ciruela	14 546.45
Pera	14 020.79
Frambuesa	7 089.35
Nuez	3 996.60
Membrillo	2 117.25
Chabacano	994.40
Higo	695.70

Cuadro 3. Producción (en toneladas) de frutales caducifolios en la región Centro-Occidente en el periodo 1996-1999 (SIAP)

Frutal	1996	1997	1998	1999
Chabacano	1 113.8	1 156	404	659
Ciruela	44 634.8	43 472	34 990	45 967.73
Durazno	110 616	76 129	87 540	68 715.49
Frambuesa	1 024	1 107	1 625	1 022.5
Higo	523	495	485	508
Manzana	61 690.05	48 600	43 903	62 242.18
Membrillo	3 202.7	2 941	3 109	2 867.5
Nuez	5 024	4 528	4 182	4 532.65
Pera	29 587.25	29 104	25 572	26 619.2
Uva	54 829.60	7 860	50 464	4, 4639
Total	312 244.7	215 392	252 275	257 773.25

flores poco resistentes a las bajas temperaturas sufran graves daños; incluso los frutos pueden tener daños importantes según la intensidad de la helada (Westwood, 1982).

Conclusiones

La acumulación de frío para los frutales caducifolios es un factor particularmente limitante para la floración y, en consecuencia, para la obtención de frutos para el consumo humano. Dicha acumulación de frío se ve afectada por diversos factores y fenómenos; el fenómeno de El Niño trae como consecuencia una serie de alteraciones en el clima a escala global, tanto en los patrones normales de lluvia como de temperatura. Uno de estos cambios es la variación en la acumulación de frío, teniéndose para México que éste tiene un aumento y, por consiguiente, se presenta un mayor incremento de horas-frío. Sin embargo, la presencia de heladas inesperadas provocadas por el mismo fenómeno, representa un gran peligro para la producción, sobre todo por la etapa fenológica de la planta en que se presente.

Esta situación ha generado que actualmente se realicen más investigaciones con la finalidad de entender y, hasta cierto punto, predecir este fenómeno, con base en esto se han comenzado a emitir pronósticos sobre la ocurrencia y evolu-

ción de El Niño. Esto resulta de gran importancia para la planeación agrícola, no sólo en México, sino en todo el mundo por los efectos de largo alcance que se producen ante este evento. La idea de esto es no solo poder prepararse para contrarrestar los impactos negativos del fenómeno, sino también para conocer cuáles serán las condiciones climáticas imperantes y de esta forma considerarlas como un elemento adicional de planeación y con esto obtener un mejor aprovechamiento.

Adicionalmente se puede decir que los incendios forestales producidos en la primavera de 1998 como consecuencia de la fuerte sequía del 97 y que provocaron una de las más severas catástrofes ecológicas y sociales en la historia del país, son sólo un ejemplo de los serios problemas que acarrea El Niño. Inundaciones, aumento de enfermedades transmitidas por vectores, pérdidas económicas cuantiosas, todo esto, además del inminente daño a la producción agrícola y frutícola, son situaciones asociadas a este fenómeno.

Por tal motivo, resulta de gran importancia comenzar a trabajar más en modelos que permitan el pronóstico, si no exacto, si muy aproximado y a largo plazo para definir de una manera más adecuada cuales serán los impactos de El Niño y de esta forma poder contrarrestarlos en cierta medida.

Capítulo 5. Respuesta fenológica del aguacate (*Persea americana* Mill) al gradiente climático en Michoacán

Luis Mario Tapia Vargas
Antonio Larios Guzmán
Campo Experimental Uruapan, Michoacán
Centro de Investigación Regional Pacífico Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Víctor L. Barradas Miranda
Departamento de Ecología Funcional, Instituto de Ecología
Universidad Nacional Autonóma de México

Introducción

El cultivo del aguacate en el estado de Michoacán representa la agroindustria más importante del estado, en términos del entorno social y económico en el cual se desarrolla. Ninguna otra agroindustria emplea más mano de obra (un millón jornales año-1) y genera más divisas al estado (US$500 000 al año). Por ejemplo, en la temporada 2008-2009 se cosechó en Michoacán el 95% de la producción nacional, de los que 650 000 Mg se comercializaron en el país, 290 000 Mg se exportaron directamente a Estados Unidos de América y 60 000 Mg al resto del mundo, con lo que se deduce que no sólo a nivel estatal sino hasta el nacional el cultivo del aguacate es social o económicamente importante. Por la importancia de este cultivo a nivel estatal e incluso nacional, es indispensable generar el conocimiento para que este cultivo sea más sustentable mejorando su manejo e incrementar su productividad.

Fenología es el término acuñado para explicar los cambios que los organismos vivos describen en función del paso del tiempo a lo largo de su ciclo de vida y son afectados directamente por el entorno meteorológico (Gastiazoro, 2004). En el caso del aguacate, durante su ciclo anual de desarrollo necesariamente transcurre con una brotación vegetativa y madurez de los foliolos, madurez y brotación de las yemas terminales y axilares y en respuesta a las condiciones ambientales y la fisiología interna, se produce la floración, con la consiguiente polinización

y formación de frutos hasta la cosecha. Estos eventos transcurren con regular periodicidad en las zonas mundiales productoras de aguacate, pero en el caso de Michoacán, pueden traslaparse, retrasarse, adelantarse o incluso no presentarse, lo que hace difícil su estudio y modelación.

Las condiciones agroecológicas en las que el cultivo del aguacate prospera, son determinantes de acuerdo con la variedad que se cultiva. Las tres principales variedades de aguacate están bien definidas en cuanto a sus requerimientos agroclimáticos (Benanchio, 1982), así, la raza mexicana es la que más tolera climas fríos y húmedos a condición de excelente drenaje del suelo, la raza antillana nunca se encuentra por arriba de los 500 msnm, pero requiere precipitaciones mayores (más de 1 800 mm anuales) y la guatemalteca que es de climas semicálidos a cálidos sin pasar de los 1 500 msnm. En los tres casos el aguacate requiere de una humedad relativa alta durante la polinización; sin embargo, en formación de fruto ésta debe ser más baja para evitar el ataque por hongos (Ibar, 1983).

El establecimiento de huertos con la variedad Hass que es la hibridación de la variedad mexicana y guatemalteca, ha permitido que ésta se extralimite un tanto de los patrones de comportamiento respecto a las tres variedades, ya que en países como Israel, España, Sudáfrica, Chile y Estados Unidos en California, la latitud ha sido una compensación con respecto al clima fresco y el riego con respecto a los requerimientos de lluvia. Sin embargo, fuera de estos límites también puede con restricciones prosperar el cultivo, como son los casos de huertas establecidas por encima de los 2 300 msnm en Michoacán y los huertos de Ventura en California, Estados Unidos.

Las adaptaciones a condiciones extremas en sitios no adecuados para el cultivo, incluyen en el caso de Michoacán, menores tamaños de la hoja. Bárcenas (2004) menciona cambios en la forma y rugosidad del fruto, en latitudes muy altas hay en general una reducción del rendimiento, menor tasa de amarre de fruto, caída de flores y frutos pequeños. Un claro efecto de las condiciones ambientales en latitudes más altas, que en el caso mexicano aplican a las huertas establecidas en el estado de Sonora y fuera de México a los casos de California e Israel. Martínez (1988) describe que los vientos cálidos del interior del continente, hacia las plantaciones de las regiones de la costa, determinan el desprendimiento de los frutos jóvenes, mientras que los vientos fríos procedentes del océano pueden mantener una temperatura diurna demasiado baja para una buena formación de frutos.

La fisiología interna de la planta es afectada por las condiciones extremas, temperaturas menores de 20° C y mayores de 30° C, durante el día reducen la tasa fotosintética (Ruiz *et al.*, 1999), la viabilidad de la semilla se afecta a temperaturas inferiores de 15° C (Juscafresca, 1983). Si la temperatura se reduce

a menos de 10° C se inhibe la polinización (INIFAP, 1994) y a menos de 2° C las flores y los frutos pequeños, así como el follaje, pueden morir. En la Figura 1 se muestra la distribución climática en el estado de Michoacán. Este conjunto de condiciones agroecológicas dada la gran variación de situaciones en las que se desarrolla el cultivo, pueden influir también positivamente en la adaptación del cultivo para formar ecofenos o plantas con conformación genética semejante que presentan diferencias originadas por distintos ambientes (Salisbury y Ross, 1992).

Los factores ambientales que inciden sobre el cultivo como radiación solar, temperatura, agua y concentración de CO_2, afectan la fotosíntesis y esto determina la arquitectura del árbol y la selección del material vegetal (Schaffer y Whiley, 2003). Ello ha dado lugar sin duda a las selecciones locales de características propias y diferentes de la variedad original como la Méndez y las Jiménez 1 y 2, reconocidas y extendidas a nivel nacional y que por sus propias características pueden adelantar ciertas etapas fenológicas como la floración e incluso reducir el porte del árbol (Jiménez *et al.*, 1999).

Martínez (1988) menciona que el desarrollo del árbol en altitudes superiores a 2 000 msmn, se reduce en cuanto a altura, diámetro y volumen del follaje (Cuadro 1). A nivel interno la fisiología se altera por reducción de auxinas y giberelinas, originando aborto de flores y frutos pequeños, retraso de la floración, cambio de forma de fruto y periodo de maduración extendido de dos a tres meses.

Fenología del aguacate

Al estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas se conoce como fenología (Villalpando y Ruiz, 1993). En este caso que nos ocupa, la fenología que se presentará será aquella relacionada con la influencia del clima en los fenómenos vitales de desarrollo del aguacate, particularmente para los procesos vitales de crecimiento de raíz, brotes, floración, fruto fijo y cosecha (Sánchez, 1999). Cabezas *et al.* (2003) señalan para una misma fase fenológica, como la floración, hasta diez estadíos perfectamente diferenciados. A esta situación hay que agregar que las flores no son autofecundables debido a una funcionalidad temporal incompatible presentando dicogamia (Infoagro, 2006).

Mena (2004) realizó una compilación sobre los estudios de la fenología del aguacate que se han efectuado en las zonas productoras del mundo. Cita que los estudios fenológicos en aguacate fueron reportados por primera vez a fines de los años cincuenta (Chandler, 1958; Venning y Lincoln, 1958). Durante los años subsiguientes, contribuciones adicionales a este conocimiento la realizaron otros

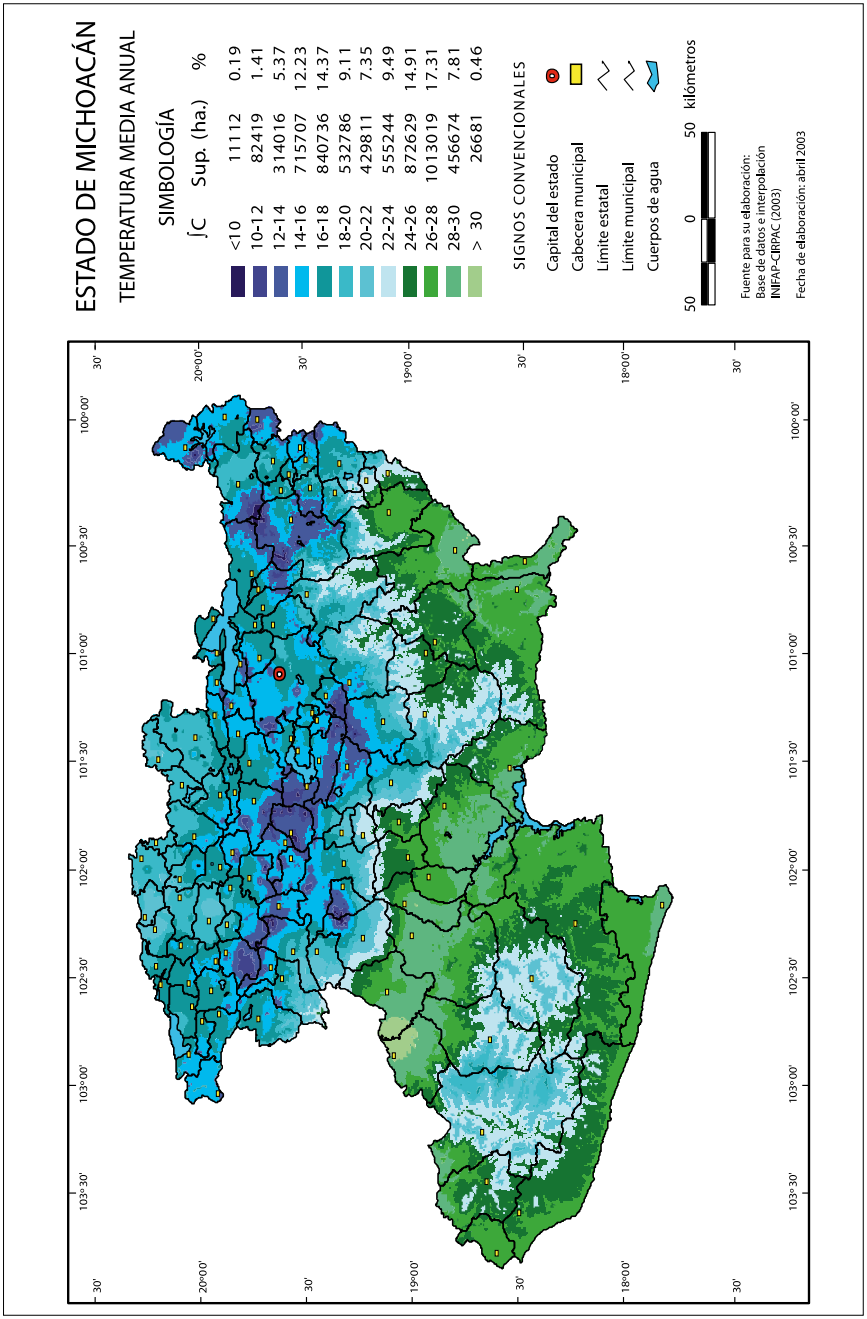


Figura 1. Distribución climática del estado de Michoacán según Salazar *et al.* (2011).

Cuadro 1. Edad del árbol y dimensionamiento de hoja por efecto de la altitud en el estado de Michoacán según Salazar *et al.* (2011)

Clima predominante	Superficie en Michoacán (%)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Tipo de fruto
(A)C(w2)	57	17	5.6	Rugoso
(A)C (m)(w)	11	18.2	5.7	Rugoso suave
C(w2)(w)	26	14.3	4.9	Rugoso

investigadores; sin embargo, solo en 1988 se publicó el primer modelo fenológico conceptual detallado (Whiley *et al.*, 1988) para la zona de Queensland, Australia. Desde entonces este modelo ha sido perfeccionado y redescrito en distintas zonas productoras a nivel mundial. Sin duda que la utilización del modelo fenológico debe ser la base de las investigaciones que busquen aumentar la productividad en el cultivo del aguacate. En esa revisión se describen los modelos fenológicos para Chile, Nueva Zelanda, California, Sudáfrica y Perú.

La variedad Hass cultivada en diversas regiones del mundo puede presentar adelanto o retraso en su expresión fenológica, en Chile por ejemplo, la floración inicia a mediados de diciembre y el desarrollo máximo del fruto termina prácticamente en abril, es decir, en cuatro meses se tiene cosecha (Mena, 2004). En California el periodo de floración se presenta en cuatro meses a partir de febrero, pero el periodo de máximo crecimiento del fruto es también de solo cuatro meses (Arpaia, 2004).

En Michoacán los eventos fenológicos más importantes del aguacate son la floración, los flujos vegetativos y la formación de fruto (Figura 2). Por lo general, la brotación vegetativa da inicio a máxima longitud y ocurre en dos meses, la floración puede iniciar desde agosto y terminar en febrero aun cuando puede haber periodos definidos de agosto a septiembre, de octubre a noviembre y de diciembre a enero, o incluso de marzo a abril. El crecimiento del fruto ocurre dependiendo de la floración pero alcanza su máximo crecimiento de nueve a once meses.

Por su importancia y dispersión de los eventos fenológicos en este capítulo se analiza el desempeño del cultivar Hass en la región productora de Michoacán. En la Figura 3 se aprecia el traslape de las fases fenológicas en el cultivo de aguacate en Michoacán. Se observa la flor de mayo y los frutos de las floraciones local y normal, así como un flujo vegetativo de verano, adelantado al menos un mes. El traslape de etapas fenológicas, común en las huertas de aguacate de Michoacán, hace difícil la generación de recomendaciones técnicas para el manejo del huerto. Salazar (2002) menciona que en actividades importantes del cultivo como la

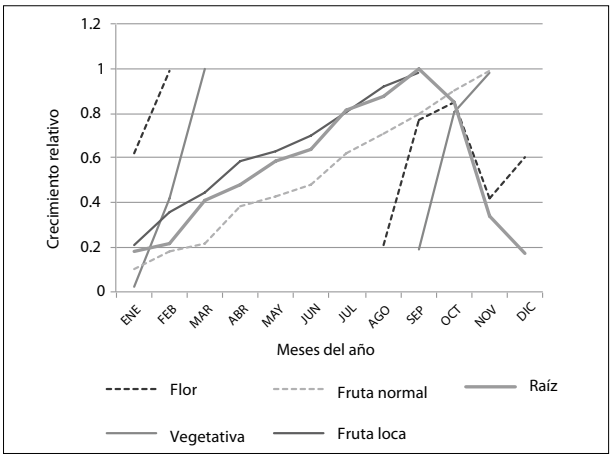


Figura 2. Eventos fenológicos del aguacate en Tancítaro.

Figura 3. Traslape fenológico en un árbol de aguacate en Tancítaro, en mayo de 2006.

poda y la nutrición no existe aún información sobre cuando es la mejor época para realizar éstas; sin embargo, una estrategia para incrementar la productividad en relación con la nutrición es la de aplicar pequeñas dosis de fertilizantes pero de manera frecuente, así como aplicaciones de soluciones nutritivas vía foliar en ciertas etapas fenológicas del cultivo como la emergencia floral.

Lovatt (2001) indica que los mejores efectos sobre el rendimiento y calidad de fruto se obtuvieron cuando las aplicaciones adicionales de N se realizaron en las siguientes condiciones: *a)* cuando las yemas apicales habían desarrollado cuatro o más meristemos de los ejes secundarios de la inflorescencia (segunda semana de noviembre), lo que resultó en 30% de incremento en el rendimiento acumulado de cuatro años, y *b)* en la etapa de antesis, amarre inicial de fruto e inicio del flujo vegetativo de primavera (segunda semana de abril), lo que incrementó 39% el rendimiento acumulado y disminuyó significativamente la alternancia productiva. En ningún caso se detectó una relación entre el N foliar y el rendimiento del fruto. Los resultados anteriores sugieren que la época y dosis de aplicación de N son factores que pueden ser optimizados para incrementar el rendimiento, tamaño de fruto y reducir la alternancia productiva en el aguacate Hass. Sin embargo, para poder generar una recomendación es necesario conducir una investigación durante varios años.

Efecto de la temperatura en la floración

La temperatura controla la tasa de desarrollo de muchos organismos, que requieren de la acumulación de cierta cantidad de calor para pasar de un estado en su ciclo de vida a otro. La medida de este calor acumulado se conoce como Tiempo Fisiológico, y teóricamente este concepto que involucra la combinación adecuada de grados de temperatura y el tiempo cronológico es siempre el mismo (WMO, 1993). El aguacate, al igual que muchos de los frutales leñosos, presenta un comportamiento en sus estados fenológicos, en función de la temperatura, si se agrega este efecto, a las peculiares características de las zonas productoras dadas por:

- altitud (clima),
- arreglo topológico de la huerta con respecto a la posición del sol,
- pendiente, tipo y profundidad del suelo,
- situación con respecto a los vientos de la tierra caliente,
- procedencia del material vegetativo propagado.

Todo este grupo de factores han conformado la gran variación existente en el desempeño fenológico de las huertas en el estado de Michoacán. En una misma huerta se puede tener uniformidad en dos o tres factores pero como el último factor generalmente no es uniforme, la respuesta de la planta es también diferente, pudiendo adelantar o retrasar o simplemente no presentarse una etapa fenológica dada.

A manera de ejemplo, en las Figuras 4 y 5 se muestra la temperatura de dos sitios representativos extremos de la región aguacatera uno con clima CW2 (templado subhúmedo en Tancítaro) y A(C)W2 (semicálido subhúmedo, en Ziracuaretiro), los cambios de temperatura de menor a mayor temperatura que se

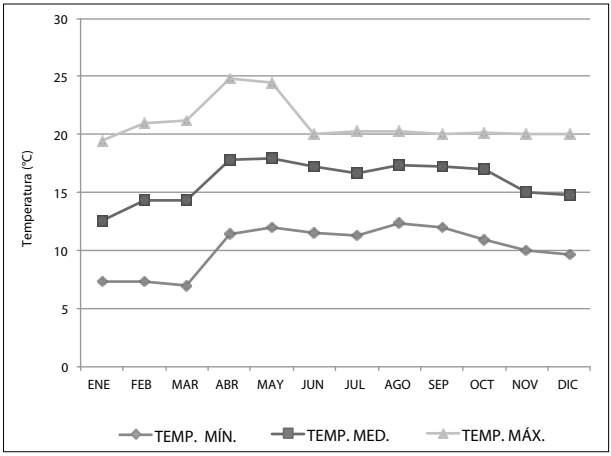


Figura 4. Distribución mensual de la temperatura en Tancítaro.

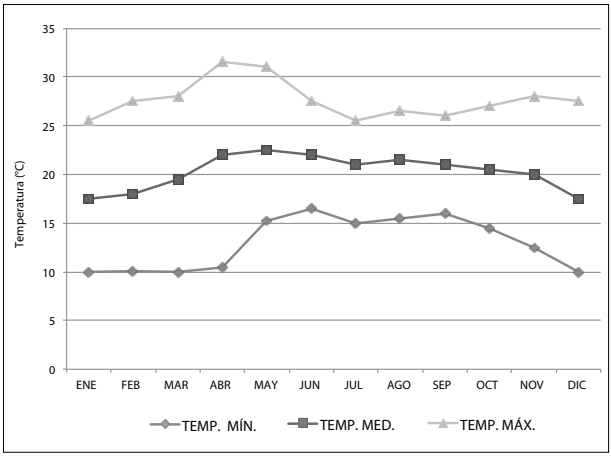


Figura 5. Distribución mensual de la temperatura en Ziracuaretiro.

observan en los meses de febrero a marzo, julio-agosto y diciembre-enero, determinan las floraciones de marzo (marceña), de agosto (loca) y de enero (normal), pudiendo este patrón alterarse en función de:

- pequeños cambios de temperatura en abril y/o mayo (produciendo flor de mayo o flor de junio);
- cambios locales de temperatura en septiembre-octubre (produciendo flor adelantada o loca tardía);
- surgimiento de ecofenos locales que tienen una expresión fenológica particular y que pueden reaccionar a un solo estímulo como el caso de las selecciones Jiménez-1 y 2 que generalmente se expresan con el estímulo de julio-agosto.

Tipificación fenológica del aguacate

El cultivo del aguacate, en las condiciones de Michoacán y por el cúmulo de factores ya señalados, tiene un desempeño particular y ello explica en parte el por qué se cuenta con fruta durante todo el año y el por qué cada flujo de floración y formación de fruto es importante desde el punto de vista económico. En el Cuadro 2 se presentan de manera general, las diferentes fases de desarrollo del cultivo y la expresión fenológica que el cultivo puede expresar en forma anual. Determinado por la gran variación ya señalada algunas etapas pueden o no presentarse, pueden prolongarse y traslaparse o bien pueden presentarse en ciertas ramas y en otras estar ausente. Esta dispersión de respuestas fenológicas fue descrito por Azkues (2006), quien refiere que el ciclo biológico cambia con el genotipo y con los factores climáticos, esto quiere decir que las plantas del mismo genotipo sembradas bajo diferentes condiciones climáticas pueden presentar diferentes estados de desarrollo después de transcurrido el mismo tiempo cronológico. Por lo que cada vez cobra mayor importancia el uso de escalas fenológicas que permiten asimismo, referirse a las observaciones y prácticas de manejo del cultivo en una etapa de desarrollo determinado.

La utilidad de la caracterización de las diferentes fases fenológicas para estandarizarlas a una unidad de medida fue discutida por Arnold (1959), quien indicó que la medición de eventos fenológicos se puede mejorar si se expresan las unidades de desarrollo en términos de tiempo fisiológico en lugar de tiempo cronológico, por ejemplo en términos de acumulación de temperatura. Es así como surge el término de días grado o Grados Día (GD) que puede ser definido como días

en términos de grado sobre una temperatura umbral, de manera que para completarse una etapa fenológica es necesario la acumulación del Requerimiento Térmico, RT; que se mide en grados-días sobre la temperatura base. En términos generales, debajo de una temperatura umbral mínima determinada genéticamente para cada organismo, el desarrollo no ocurre o es insignificante. Sobre dicha temperatura, el desarrollo se incrementa hasta llegar a un pico o intervalo, donde la velocidad del desarrollo es máxima. A partir de ahí, el desarrollo decrece nuevamente hasta llegar a ser nulo en una temperatura umbral máxima, estos valores se conocen como Temperaturas Cardinales (Ruiz, 1991).

Sin embargo, la expresión de fases de desarrollo en el caso del aguacate puede ser diferente a partir de la estandarización de la temperatura (INIFAP, 2004). La etapa más definida y que generalmente se presenta en todas las huertas de Michoacán, aunque con cierto retraso o adelanto es la floración normal y la brotación vegetativa de invierno, respecto a todas las demás ya señaladas en el Cuadro 2, su presencia es incierta, incluso el flujo vegetativo de verano en ocasiones no se presenta, aproximadamente un 50% de las huertas no expresan esta condición.

Cabe mencionar que a pesar de tener hasta cuatro floraciones en ocasiones en un mismo árbol y de que cada floración se presenta en diferentes épocas del año, los requerimientos de temperatura para completar el ciclo, antesis-madurez de cosecha (con contenido mínimo de materia seca >21%), son casi iguales, se puede apreciar en el Cuadro 2 que este ciclo en la flor normal requiere 1 800 unidades calor acumuladas, mientras que el fruto marceño es de 1 900, el fruto de flor loca 1 950 y el fruto adelantado 2 000, guardando una gran semejanza en los requerimientos de unidades fisiotérmicas y habiendo sólo una diferencia de 200 unidades entre el más alto y el más bajo para la flor normal y el fruto adelantado.

Salazar *et al*. (2005) señalan que la altitud a la que se encuentran establecidos los huertos de aguacate en Michoacán es determinante para su comportamiento fenológico, influenciando significativamente los ciclos reproductivos. La floración ocurre durante diez meses del año y suelen presentarse hasta cuatro flujos de floración en un mismo árbol o huerto: loca, avanzada, normal y marceña. Los distintos flujos de floración y su obvio traslape entre las distintas zonas de altura, hacen posible que en Michoacán se coseche aguacate Hass todo el año. La cosecha obtenida en la región puede estar integrada por fruto procedente de las distintas floraciones y en las siguientes proporciones: Loca = 5-20%, Avanzada = 10-25%, Normal = 60-80% y Marceña = 15-30%.

Hernández *et al*. (1999) en un estudio de fenología del aguacate realizado en cinco sitios contrastantes en altitud y clima, definieron una primera aproximación para determinar la respuesta cíclica del árbol en cada área que permitió

Cuadro 2. Desarrollo fenológico del aguacate en clima Cw en Michoacán

Fase de desarrollo	Duración (meses)	Unidades térmicas
Floración normal	diciembre-enero	270
Formación de fruto	enero-octubre	1 800
Brotación vegetativa (invierno)	enero	120
Brotación vegetativa (verano)	junio	180
Brotación vegetativa (octubre)	octubre	180
Floración marceña	marzo-abril	400
Fruto marceño	abril-enero	1 900
Floración de mayo	mayo-junio	450
Fruto de mayo	junio-marzo	1 650
Flor loca (agosto)	agosto-septiembre	400
Fruto loca	septiembre-julio	1 950
Flor adelantada (octubre)	octubre-noviembre	300
Fruto adelantado	noviembre-septiembre	2 000

entre otras aseveraciones, considerar como cero fenológico al estado floral con un 10% de tépalos abiertos. Se estableció que en un clima semicálido húmedo, este evento importante en la productividad inicia el 30 de noviembre y se extiende hasta el 30 de marzo; en clima semicálido subhúmedo ocurre del 13 de enero al 16 de marzo y en un clima templado subhúmedo del 18 de diciembre hasta el 17 de marzo.

Al efectuar el análisis del crecimiento de fruto de manera más detallada (Cuadro 3), se aprecia que los requerimientos fisiotérmicos del fruto para cada fase de crecimiento, presentan una alta semejanza, independientemente de la época de floración en el año, desde que la flor está en estado de antesis hasta el fruto cuajado (Figura 6) en los cuatro flujos de floración principales, los requerimientos son muy parecidos y fluctúan en un rango de 200-280 unidades. La dispersión más importante está en las siguientes dos fases de fruto canica a fruto tamaño limón (4.0 cm) con rangos de 150 a 370 y de 200 a 290 unidades, respectivamente. Cabe notar que la uniformidad se presenta en las últimas dos fases del crecimiento del fruto de los 7.0 hasta los 10.0 cm, respectivamente, donde ya está en madurez de cosecha.

Cuadro 3. Requerimiento de unidades calor para el desarrollo del fruto de aguacate en Michoacán

Crecimiento fruto (cm)	Fruto normal	Fruto marceño	Fruto loca	Fruto aventajado
Cerillo (0-0.5)	260	243	200	280
Canica (2.0)	150	260	370	270
Limón (4.0)	240	200	290	290
Huevo (5.0)	260	220	260	240
Esfera (7.0)	370	400	390	450
Madurez (10.0)	600	580	620	580

Figura 6. Flor de aguacate en antesis (a) y fruto cuajado en cerillo (b).

Esquema de la floración en aguacate

Después de los cambios fisiológicos que disparan el mecanismo de floración revisado líneas arriba, se produce la hinchazón de las yemas terminales que muchas veces se identifica como un abultamiento de las yemas terminales y axilares que después de un tiempo, determinado por la fisiología de la planta y de la temperatura, pueden producir una profusa floración. El aguacate eventualmente produce flores determinadas o mixtas con respecto al tipo de floración (Figura 7), generalmente la floración denominada loca y marceña produce flores determinadas y la floración normal y aventajada produce flores indeterminadas, también se ha evaluado que la floración determinada es menos productiva que la flor indeterminada (Cuadro 4), aun cuando puede haber casos que escapen a este comportamiento.

La floración del aguacate es un evento complicado, un árbol en plena floración puede producir miles de florecillas, pero finalmente cuajar sólo unos cientos de frutos y finalmente producir un promedio de 100-150 kg por árbol al año. Sus flores son perfectamente hermafroditas pero no autocompatibles debido a que la apertura del estigma floral y la liberación de anteras no son coincidentes en el tiempo, por lo que necesariamente se requiere la fecundación cruzada con otra flor (Arpaia *et al*., 1991). La flor cuando abre generalmente es receptiva al estigma pero las anteras aún no han madurado el polen por lo que permanecen cerradas

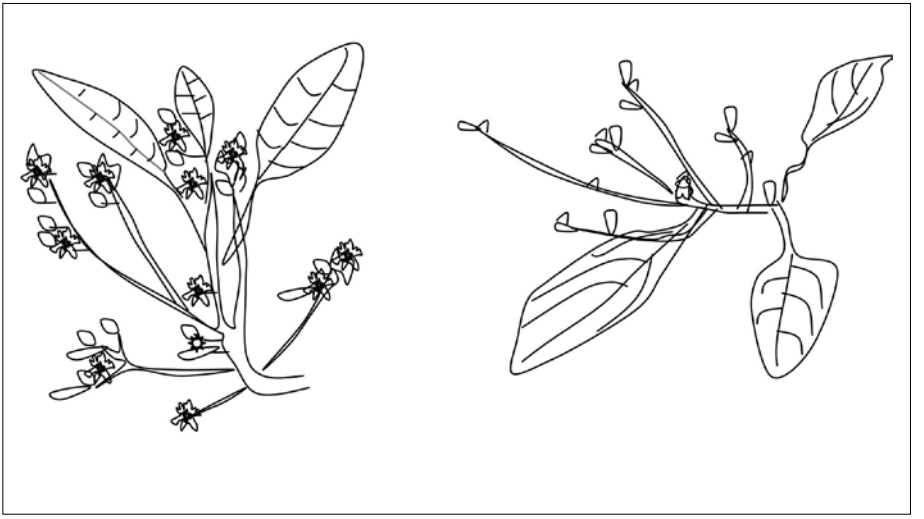


Figura 7. Flores mixtas y determinadas del aguacate en Michoacán.

Cuadro 4. Rendimiento de fruto por tipo de flor en aguacate en Tancítaro

Cosecha	Loca	Adelantada	Normal	Marceña
2004	18	26	77	6
2005	30	43	52	8

hasta después de que el estigma vuelve a cerrar, entonces las anteras empiezan a liberar el polen. Debido a este comportamiento el porcentaje de cuajado de frutos fecundados es bajo y si encima se añaden deficiencias nutricionales como boro o nitrógeno, menos flores serán fecundadas y si el fruto cuaja sin semilla, no crece o cae ulteriormente.

Las numerosas variedades de aguacate (*Persea americana*), se agrupan por la coincidencia de la apertura de sus órganos florales en tipo "A" y tipo "B" donde una variedad "A" como Hass puede recibir polen de una variedad "B" como Bacon, la cual transcurridas unas horas y con la apertura de las anteras en Hass, eventualmente puede recibir polen y aumentar la fecundación de flores en ambos casos (*Ibid.*).

Crecimiento del fruto

En la Figura 8 se muestra el crecimiento del fruto evaluado en floración normal, se aprecia que la curva es de tipo lineal, con un aumento del tamaño sostenido hasta alcanzar la madurez de cosecha en el mes de octubre. Estas mediciones

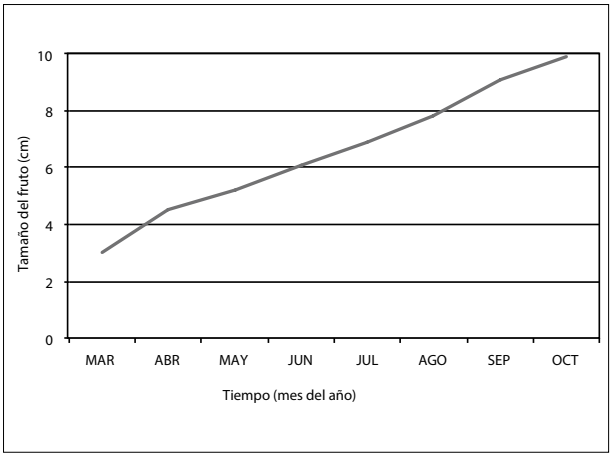


Figura 8. Crecimiento de fruto de aguacate de flor normal en Tancítaro según Tapia y Espinoza (2006).

fueron hechas en frutos con buen manejo de la huerta, sin limitaciones de agua y una nutrición adecuada. Regularmente los frutos que se desarrollan en condiciones de disponibilidad de agua limitada o bien con una extraordinaria producción del árbol (más de 250 kg en árboles de diez años), los frutos presentan un tamaño menor con pesos medios entre 160 y 200 g/fruto.

Características específicas de la fase fenológica

Cada fase de crecimiento del árbol, también conlleva características específicas en el fruto y en el follaje. La nutrición del cultivo se manifiesta de manera dinámica con diferente contenido nutrimental en cada época, en el Cuadro 5 se presenta la información del contenido nutrimental foliar para diferentes fases de desarrollo del cultivo.

La información contenida en el Cuadro 5 muestra que el cultivo presenta diferentes contenidos nutrimentales a lo largo del año. Los contenidos de potasio son los más dinámicos y que más fluctúan junto con el Ca, a lo largo del año, Maldonado (2003) encontró variaciones por efecto del estado fenológico de la planta y de la condición agroambiental del huerto. El fósforo es el elemento más estable, así como el magnesio. Estos datos muestran las necesidades de investigación en este aspecto para conocer que ocurre en las otras fases fenológicas del cultivo.

El contenido de nutrimentos y el peso medio del fruto y el contenido de aceite en la pulpa también se ven afectados por la época de floración. En el Cuadro 6 se muestran los contenidos nutrimentales y de aceite en fruto procedente de dos flujos de floración: loca y normal, en ambos casos las diferencias son importantes

Cuadro 5. Contenido nutrimental foliar con base en peso seco en diferentes fases de desarrollo del aguacate

Fase de desarrollo	N	P	K	Ca	Mg	Zn
Flor normal	1.95	0.13	1.3	3.1	0.55	25.1
Flor marceña	-	-	-	-	-	-
Flor de mayo	2.51	0.13	1.5	2.5	0.55	26.2
Cosecha fruto loca	-	-	-	-	-	-
Flor loca	2.23	0.14	0.97	1.94	0.61	22.1
Cosecha fruto normal	2.32	0.12	0.80	1.99	0.69	21.1

Cuadro 6. Contenido de elementos nutritivos (kg) por 10 Mg de fruto de aguacate y contenido de aceite (%) en dos flujos florales

Tipo de fruto	N	P	K	Ca	Aceite (%)	Peso del fruto (g)	Materia seca (%)
Floración loca	35	5	45	5	7.1	230-320	23.1
Floración normal	25	3	40	3	6.2	160-300	20.5

teniendo mayor contenido de aceite en el fruto flor loca que en el fruto normal, esto con base en peso seco de la pulpa exclusivamente, la salida de nutrimentos por la cosecha produce mayor efecto en la floración loca que en la floración normal. La exportación de nutrimentos en fruto es más alta en la floración loca, en nitrógeno es un 35% más alta, en fósforo un 50% en potasio un 10%, cabe notar que de los cuatro elementos considerados, el potasio es el que demanda en mayor cantidad con más de 40 kg para una cosecha de 10 Mg de fruto.

El peso medio del fruto también es afectado, en general el fruto de la flor loca es más grande y más pesado. En evaluaciones efectuadas en las cosechas de 2001 a 2006, se ha encontrado que en general el peso individual del fruto de floración loca es más pesado a la cosecha, que el fruto de floración normal al mismo tiempo de cosecha, en al menos 0.040 kg. La identificación del periodo de madurez de cosecha en fruto es difícil y necesariamente se requiere cierto grado de experiencia en el cultivo para conocer cuándo tiene el suficiente contenido de materia seca y aceite para ser cosechado el fruto. Rosenthal *et al.* (1985) mencionan que hay ciertas características que ayudan a identificar el periodo de madurez del fruto:

- pérdida de brillantez de la cáscara,
- incremento de la rugosidad,
- la cáscara paulatinamente se torna oscura,
- al rebanar la pulpa no truena sino que el corte es deslizante,
- el tegumento se torna marrón,
- el sabor es aceitoso no aguanoso,
- el contenido de aceite se incrementa.

En campo se pueden efectuar ciertas pruebas para conocer el grado de madurez del fruto, determinando el contenido de materia seca del fruto.

Crecimiento radicular del aguacate

Se ha determinado que las raíces del aguacate en su mayor parte son muy superficiales en California (Universidad de California, 1995). Se determinó que el 60% de las raíces se encuentran en los primeros 7.5 cm del suelo y un 21% más en los siguientes 15 cm, ello les hace sumamente susceptibles al movimiento de suelo, a las labores de cultivo y a las propiedades físicas y químicas del suelo.

A diferencia de otras regiones productoras, el cultivo del aguacate en Michoacán, no detiene el crecimiento de su sistema radicular durante el invierno, la única condición es tener suficiente humedad en el suelo por encima del 40% de la humedad aprovechable; asimismo, la temperatura del suelo es muy estable durante todo el año y fluctúa entre 15 a 18° C. En el Cuadro 7 se muestran los crecimientos radiculares para cada fase de desarrollo del cultivo, así como la temperatura media del suelo.

Conclusiones

Debido a las variabilidad en las condiciones agroclimáticas de la región aguacatera y a la hetereogeneidad de procedencia del material vegetativo propagado y al tipo de manejo proporcionado, la expresión fenológica del aguacate Hass en Michoacán presenta condiciones especiales únicas en el mundo, dadas principalmente en características de traslape, eventualidad y variabilidad temporal en la intensidad del fenómeno.

Se ha caracterizado que los requerimientos fisiotérmicos para formación de fruto desde antesis hasta madurez de cosecha, se requieren desde 1 800 a 2 000 unidades, independientemente del flujo de floración de procedencia.

Cuadro 7. Crecimiento del sistema radicular y temperatura media del suelo en aguacate

Fase de desarrollo	Crecimiento raíz (cm)	Temperatura media del suelo (°C)
Flor normal	5.0	16.3
Flor marceña	6.5	16.5
Flor de mayo	3.3	17.8
Cosecha fruto loca	7.5	17.7
Flor loca	8.4	17.4
Cosecha fruto normal	7.6	16.9

Las condiciones nutrimentales foliares y de calidad del fruto también son afectadas por las condiciones fenológicas o el estado de desarrollo del cultivo.

Se requiere más investigación a este respecto con el fin de modelar la respuesta del cultivo en cuanto a su fenología y determinar con mayor exactitud, expectativas de rendimiento, calidad de fruto, requerimientos nutricionales, actividades de manejo como prevención de enfermedades, control de plagas, poda, etcétera.

Capítulo 6. Variabilidad del periodo de crecimiento y alteraciones con el fenómeno del ENOS

María de la Paz Medina Barrios
Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras
Universidad Nacional Autónoma de México

Rebeca Granados Ramírez
Departamento de Geografía Física, Instituto de Geografía
Universidad Nacional Autónoma de México

Fernando M. Cortina Cardeña
Campo Experimental Cotaxtla
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Introducción

Las variaciones climáticas causan gran preocupación, ya que la distribución que presentan algunos elementos del clima (temperatura y precipitación) a lo largo del ciclo de crecimiento de los cultivos, repercuten en la forma tradicional que tienen los productores agropecuarios temporaleros de llevar a cabo sus prácticas agrícolas. Estas alteraciones se convierten en disminución en la productividad hasta la pérdida total de la producción, lo que trasciende en la seguridad alimentaria en México. Hoy en día la sociedad en general presencia fenómenos climáticos extremos, por tanto, es necesario buscar medidas de adaptación más eficientes.

En los estudios agroclimáticos es necesario considerar las nuevas tecnologías y aplicar índices agroclimáticos que coadyuvarán en la toma de decisiones lo mismo operativas que regionales y de esta manera determinar fechas de siembra, selección de nuevas variedades vegetales previos estudios a que éstas sean resistentes a eventos meteoroclimáticos tales como bajas temperaturas, sequías, heladas, granizadas, conocer también el fotoperiodo y las diferentes fases fenológicas para introducir, por ejemplo, nuevos cultivos en espacios agrícolas idóneos.

Con la información anterior se determinan el inicio del periodo de crecimiento (IPC) así como la duración del mismo (DPC) y número de días en el año, en los cuales existe disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo del cultivo por introducir.

Las variaciones climáticas se han asociado a los fenómenos oceánico-atmosféricos regionales. En México la presencia de fenómenos meteorológicos anómalos y/o severos se han relacionado con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), mismo que consiste en la interacción de las aguas superficiales del Océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante y global.

Las variaciones de las precipitaciones se reflejan en la DPC e IPC, lo cual motivó a investigar con mayor profundidad estos indicadores agroclimáticos y en especial cuando existió la influencia de El Niño, se calculó y analizó la normal histórica de la DPC e IPC en la región Centro-Occidente de México, esto con el propósito de analizar su comportamiento y sugerir algunas medidas de adaptación para reducir en lo posible las pérdidas en la producción agrícola.

Conceptos y antecedentes

En climas templados la estación de crecimiento (EC) está limitada por los cambios estacionales en la temperatura y se define como el periodo entre la última helada de la primavera y la primera del otoño, es el lapso de tiempo en que las plantas anuales, bienales y perennes presentan crecimiento activo (Torres, 1983). En los climas tropicales, las variaciones de temperatura son menores, la cantidad de humedad disponible a menudo determina los periodos de crecimiento de la planta; en la temporada de lluvias el crecimiento es exuberante y en la estación seca se inactiva o cesa su desarrollo. En estos climas la DPC se puede calcular con un balance de humedad entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (ETP), (Ortíz, 1982). En caso de no disponer de los datos para el cálculo de la ETP, ésta se puede estimar mediante correlaciones validadas con la altitud o, en zonas llanas, mediante interpolación lineal desde las estaciones meteorológicas limítrofes (FAO, 1997). En tanto que en las zonas desérticas el indicador del crecimiento está en función de la humedad, dado que esta es la limitante para el desarrollo vegetal.

El primer estudio de Zonificación Agroecológica (ZAE) de FAO a escala continental se basó en el cálculo de la DPC con datos mensuales de P y ETP, estudios a mayor detalle pusieron de manifiesto la importancia de analizar registros históricos de lluvias y hacer un análisis estadístico de la distribución de la PC (Radcliffe,

1981; FAO, 1983; De Pauw, 1987). Otros estudios (Arteaga *et al*., 2006; Díaz *et al*., 2000; Ruíz *et al*., 2000) puntualizan la importancia de definir la época con menor riesgo para sembrar y determinar la duración de la temporada de lluvias, para que los cultivos concluyan su ciclo satisfactoriamente.

La DPC es el número de días durante el año en el cual la precipitación (P) excede a la mitad de la evapotranspiración potencial (ETP), más el periodo requerido para evapotranspirar 100 mm de agua proveniente del exceso de precipitación (o menos si no es disponible) y almacenada en el perfil del suelo. Además, en cualquier intervalo de tiempo durante el cual existe disponibilidad de agua, si la temperatura es muy baja (<5° C) el desarrollo de una planta cesa (CP, 1990).

De acuerdo con lo anterior, el PC se calcula con base en la disponibilidad de agua y por temperatura. Los tipos de crecimiento con base en la precipitación identificados por FAO (1978) son: normal, intermedio, húmedo todo el año y seco todo el año.

Para el cálculo del PC por la disponibilidad de agua se efectúa un balance de humedad comparando la P con la ETP. La información puede ser mensual o en periodos de diez días y la ETP es estimada con el método de Penman (FAO, 1985).

En la Figura 1 se muestran los tipos de periodos de crecimiento. El PC "*Normal*" indica que el ciclo inicia cuando la P=0.5 ETP y también se le denomina

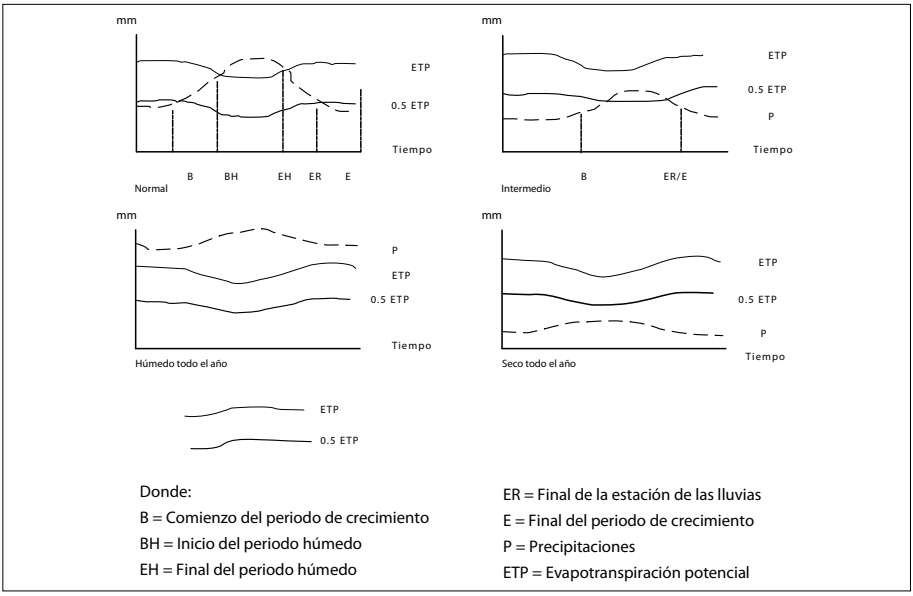


Figura 1. Tipos de periodos de crecimiento.

a este punto –inicio de las lluvias–. Cuando P es mayor a la ETP se tiene un periodo húmedo, en esta etapa al existir un exceso de agua se presume la existencia de almacenamiento de humedad en el perfil del suelo, posteriormente cuando P=0.5 ETP se considera como la terminación de la temporada de lluvias, después de la cual la planta puede seguir viviendo con el agua almacenada en el suelo. En esta etapa se considera que la capacidad de almacenamiento de agua es en promedio de 100 mm, este es un valor promedio entre la capacidad de almacenamiento para suelos someros (50 mm) y suelos profundos (150 mm).

En el PC "*Intermedio*" a diferencia con el normal no existe periodo húmedo anterior o posterior, es decir, no existen excesos de agua o no hay reservas de humedad en el suelo. Esta situación origina que el inicio y la terminación de la temporada de lluvias coincidan con el inicio y la terminación del periodo de crecimiento.

En el PC "*Húmedo todo el a*ño" la P es mayor a la ETP en todos los meses, por lo que se considera un periodo de crecimiento de 365 días, en el PC "*Seco todo el a*ño" la P es menor a 0.5 ETP, por tanto no existe humedad para el desarrollo de una planta, considerado como un periodo de 0 días.

La PC se puede interrumpir por un periodo seco, es decir, el agua suministrada por la lluvia y la humedad almacenada en el suelo quedan por debajo de 0.5 ETP, y por un evento invernal (inactividad o interrupción por el frío).

La metodología de la FAO no se aplica íntegramente a México, uno de los datos necesarios es la ETP calculada con el método de Penman, para lo cual es indispensable contar con información de horas de insolación y velocidad del viento, misma que es escasa y no continua. Esto obliga a buscar otras alternativas, la más usada ampliamente es estimar a la ETP con base en la evaporación (Ev) con la fórmula: ETP = 0.8 * Ev. De acuerdo con las definiciones de la Organización Meteorológica Mundial y con diversas investigaciones al respecto (García Benavides, 1979).

Otro aspecto es en relación con la temperatura, al no contar con datos de temperatura diaria en algunas ocasiones se opta por eliminar los meses que tengan una temperatura media mínima inferior a 6.5° C, ya que existen suficientes evidencias para establecer que a dichas temperaturas habrá al menos una helada en México.

La estimación de la DPC e IPC es de 1 a 365 días (1 año), Pájaro y Ortiz (1989) utilizan la información generada por Ortiz (1987), mismo que usó un modelo para estimar los periodos de crecimiento a partir de la precipitación anual, la cual es:

DPC = 0.24089 (PT) - 0.0000372 (PT)2 – 33 1019

donde: PC = periodo de crecimiento, en días. PT = precipitación media anual, en mm.

Este modelo ha resultado sumamente útil cuando no se tiene información histórica de la evaporación. Para conocer la fecha de inicio del periodo de crecimiento, se ha utilizado la fórmula siguiente (*Ibid.*):

IPC = 210.3526 – 0.3976 • DPC
donde: DPC= duración periodo de crecimiento en días.

La temperatura es otro elemento importante y cuantificable para seleccionar el grupo de adaptabilidad de cultivos, con base en la forma fotosintética y respuesta a la radiación y temperatura. En términos generales si la temperatura es baja (menor a 5° C) el desarrollo de la planta es limitada (Campos, 2005).

Fenómeno ENOS

En el ENOS intervienen entre otros factores, dos fenómenos oceánicos principales: el calentamiento atípico de las aguas tropicales del Océano Pacífico conocido popularmente como El Niño y, por otro lado, el enfriamiento atípico de las mismas aguas, fenómeno conocido como La Niña. Además de la componente oceánica se tiene una componente atmosférica, medida cuantitativamente por el Índice de Oscilación del Sur (IOS), el cual es un reflejo del cambio relativo entre la presión atmosférica a nivel del mar entre los sectores occidental (alrededores de Darwin, Australia) y zona centro-oriental del Océano Pacífico (alrededores de la isla Tahití), por lo cual es uno de los fenómenos más estudiados en la actualidad debido al impacto sobre el tiempo atmosférico, como son la distribución de la temperatura y la marcha anual de la precipitación. Las anomalías de temperatura superficial del mar muestran que los ENOS ejercen influencia sobre los patrones de precipitación alrededor del mundo. Las variaciones de las precipitaciones se reflejan en las variaciones del crecimiento de las plantas, lo cual motiva a investigar sobre el fenómeno y los impactos en los diferentes sectores ambientales y socioeconómicos.

El Niño de 1982 y 1997-1998

El Niño de 1982 calificado como el más fuerte del siglo XX, comenzó en mayo de 1982 (inusualmente tarde). El Océano Pacífico reaccionó con un alza del nivel del mar. A medida que el nivel del mar se elevó hasta un pie, algunas 6 000 millas hacia el este (en Ecuador) y la temperatura del agua se enfrió, en el Pacífico occidental hubo presencia de fenómenos extremos que impactaron en diversos ecosistemas y sectores económicos a nivel mundial (*NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio).*

El Niño de 1997-1998 fue llamado "Tipo 1" El Niño y presentó la anomalía más fuerte de la Temperatura Superficial del Mar (SST) (> 2.0 C) con presencia desde 80° W hasta aproximadamente 160° E. Estas variaciones iniciaron en abril 1997, sus efectos se extendieron hasta comienzos del verano de 1998. La presencia de este fenómeno significó un invierno anómalo, severas sequías e incendios forestales en América Central, Indonesia, Australia y sureste de África. En América del Sur lluvias extremas en Ecuador y Perú.

La presencia del Niño en México inició con una "alerta temprana" de diversas organizaciones académicas y de investigación, para prepararse para condiciones climáticas extremas. Cabe resaltar que al finalizar 1997 se presentó el huracán Paulina, dando lugar a severas inundaciones en las costas del Pacífico Mexicano.

Cálculo y análisis de los indicadores

Se cuantificó la duración de los periodos de crecimiento (DPC) año con año de 426 estaciones que integran la región Centro-Occidente, información procedente de INIFAP (2006), cuyo resultado promedio lo denominamos histórico normal del periodo de crecimiento. A partir de la adaptación a la fórmula de Pájaro y Ortíz (1989), se obtuvo el indicador promedio del Inicio del Periodo de Crecimiento (IPC) y específicamente los años con presencia de El Niño.

Mediante herramientas de análisis espacial, se interpolaron los IPC y los DPC para generar el mapa a nivel histórico normal del periodo 1961-2003 y años seleccionados. El IPC se clasificó cada 15 días y el DPC en grupos de 30 días (Macmillian, 1974; Cuadros 1 y 2).

Al mapa de normales de IPC se le sobrepuso la información de uso de suelo y permitió seleccionar estaciones de cada diferente rango IPC con presencia de

Cuadro 1. Duración del Periodo de Crecimiento (DPC) cada 30 días

Duración en días DPC													
Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6	Grupo 7	Grupo 8	Grupo 9	Grupo 10	Grupo 11	Grupo 12	Grupo 13	Grupo 14
0	1	31	61	91	121	151	181	211	241	271	301	331	365
AÑO SECO	2	32	62	92	122	152	182	212	242	272	302	332	AÑO HÚMEDO
	3	33	63	93	123	153	183	213	243	273	303	333	
	4	34	64	94	124	154	184	214	244	274	304	334	
	5	35	65	95	125	155	185	215	245	275	305	335	
	6	36	66	96	126	156	186	216	246	276	306	336	
	7	37	67	97	127	157	187	217	247	277	307	337	
	8	38	68	98	128	158	188	218	248	278	308	338	
	9	39	69	99	129	159	189	219	249	279	309	339	
	10	40	70	100	130	160	190	220	250	280	310	340	
	11	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	
	12	42	72	102	132	162	192	222	252	282	312	342	
	13	43	73	103	133	163	193	223	253	283	313	343	
	14	44	74	104	134	164	194	224	254	284	314	344	
	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	
	16	46	76	106	136	166	196	226	256	286	316	346	
	17	47	77	107	137	167	197	227	257	287	317	347	
	18	48	78	108	138	168	198	228	258	288	318	348	
	19	49	79	109	139	169	199	229	259	289	319	349	
	20	50	80	110	140	170	200	230	260	290	320	350	
	21	51	81	111	141	171	201	231	261	291	321	351	
	22	52	82	112	142	172	202	232	262	292	322	352	
	23	53	83	113	143	173	203	233	263	293	323	353	
	24	54	84	114	144	174	204	234	264	294	324	354	
	25	55	85	115	145	175	205	235	265	295	325	355	
	26	56	86	116	146	176	206	236	266	296	326	356	
	27	57	87	117	147	177	207	237	267	297	327	357	
	28	58	88	118	148	178	208	238	268	298	328	358	
	29	59	89	119	149	179	209	239	269	299	329	359	
	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	
												361	
												362	
												363	
												364	

Cuadro 2. Grupos del IPC, clasificación por quincena

Quincena	Qna_1	Qna_2	Qna_3	Qna_4	Qna_5	Qna_6
Periodos de 15 días	1 a 15	16 a 31	32 a 46	47 a 59	60 a 74	75 a 90
Quincena	Qna_7	Qna_8	Qna_9	Qna_10	Qna_11	Qna_12
Periodos de 15 días	91 a 105	106 a 120	121 a 135	136 a 151	152 a 166	167 a 181
Quincena	Qna_13	Qna_14	Qna_15	Qna_16	Qna_17	Qna_18
Periodos de 15 días	182 a 196	197 a 212	213 a 227	228 a 243	244 a 258	259 a 273
Quincena	Qna_19	Qna_20	Qna_21	Qna_22	Qna_23	Qna_24
Periodos de 15 días	274 a 288	289 a 304	305 a 319	320 a 334	335 a 349	350 a 365

agricultura de temporal, lo anterior para conocer más puntualmente el comportamiento de otros indicadores agroclimáticos.

De las estaciones seleccionadas se realizaron gráficos del balance de humedad con los datos de precipitación y evapotranspiración potencial ETP, se indicó el IPC y el DPC, periodo libre de heladas y la primera y última helada, además se comparó el inicio del periodo húmedo con las fechas de siembra recomendadas por la SAGARPA. Las gráficas del balance de humedad permitieron establecer los tipos de estación de crecimiento de acuerdo con la metodología de la FAO (1997).

Duración del periodo de crecimiento histórico y en años El Niño

La región en estudio presentó once zonas con diferente DPC desde 30-60 hasta 330-364 días (grupos 3 al 13). Los rangos cinco y seis fueron los que ocuparon mayor extensión. El área con DPC de 120-150 días ocupó 30% de la superficie de la región Centro-Occidente. Zonas agrícolas tales como: Bajío de Michoacán, Valle de Toluca, Tulancingo, Llanos de Apan, entre otros; posibilitan el establecimiento, desarrollo y crecimiento de variedades de largo periodo (Figura 2).

Respecto al rango 90-120 días, ocupó el 23% de áreas agrícolas correspondientes: Bajíos en Guanajuato, llanos de Ojuelos en Guanajuato, Valle de Querétaro, zonas agrícolas de Texcoco, Zumpango, Cañón de Bolaños y la región de Arandas, Jalisco, entre otras. Estas zonas agrícolas se caracterizan por el uso de variedades que se adaptan a este periodo de crecimiento.

En 1982 y 1997 la precipitación fue inferior a la normal, la distribución en el espacio y tiempo presentó diferencias considerables respecto a la normal, las lluvias se presentaron avanzado el verano, ejemplo en 1997 las lluvias se establecieron hasta julio. Los grupos de DPC en 1982 y 1997 se redujeron a nueve en ambos casos, desaparecieron los correspondientes a 300-330, 330-364 días o sea, que fueron años menos húmedos en relación con el normal histórico. Los grupos de 30-60 y 60-90 días ocuparon mayores extensiones (pasaron de 1 y 13% a 13 y 27%, respectivamente en 1982) reafirmándose la falta de precipitación en dichos años (Figuras 3 y 4).

Cabe mencionar que en 1997 se presentó el grupo 180-210 días, el cual en el análisis normal histórico no figuró, esta anomalía fue producto de las fuertes precipitaciones ocasionadas por el huracán Paulina que afectó la zona del Pacífico mexicano en noviembre de 1997. La reducción de la precipitación dio lugar a la modificación de la DPC en IPC y su consecuente impacto en la producción agrícola.

Inicio del Periodo de Crecimiento histórico y en años El Niño

El indicador IPC histórico se presentó en rangos de 15 días, se obtuvieron nueve diferentes zonas, desde aquéllas que inician sus actividades del 1-15 de marzo (área occidental perteneciente al buffer de 40 km) hasta 1-15 julio en zonas agrícolas del centro-norte del estado de Zacatecas y NW de Aguascalientes, áreas que por su ubicación al interior del continente reciben precipitaciones reducidas y en forma tardía.

La mayor extensión la ocupó el grupo de la quincena 11, mismo que corresponde al día 155-166 del calendario Juliano, fecha que corresponde al 1-15 de junio, ocupó el 35% de la superficie (Cuadro 2, Figura 5). Área importante con 29% de ocupación es el grupo de la quincena 12 que corresponde del 16 a 30 de junio. En general, la región Centro-Occidente posee condiciones favorables de humedad para iniciar el periodo de crecimiento a partir del 1 de junio, fecha en que se ha establecido el verano o sea la época de lluvias. Ambas áreas suman 64% del total de la región cuyas tierras agrícolas poseen condiciones de humedad propicias para sustentar cultivos de temporal: frijol y maíz, entre otros, cuyas variedades recomendadas son: Bayomex, Canario 101, Flor de Mayo-Bajío, Flor de Mayo M-38, Mayocoba, Negro Querétaro 78, entre otros, con un ciclo de cultivo de 90-100 días (SAGARPA, 2010). Se cuantificaron las superficies y las fechas de este indicador agroclimático en los años con presencia de El Niño, mismos que presentaron cambios importantes.

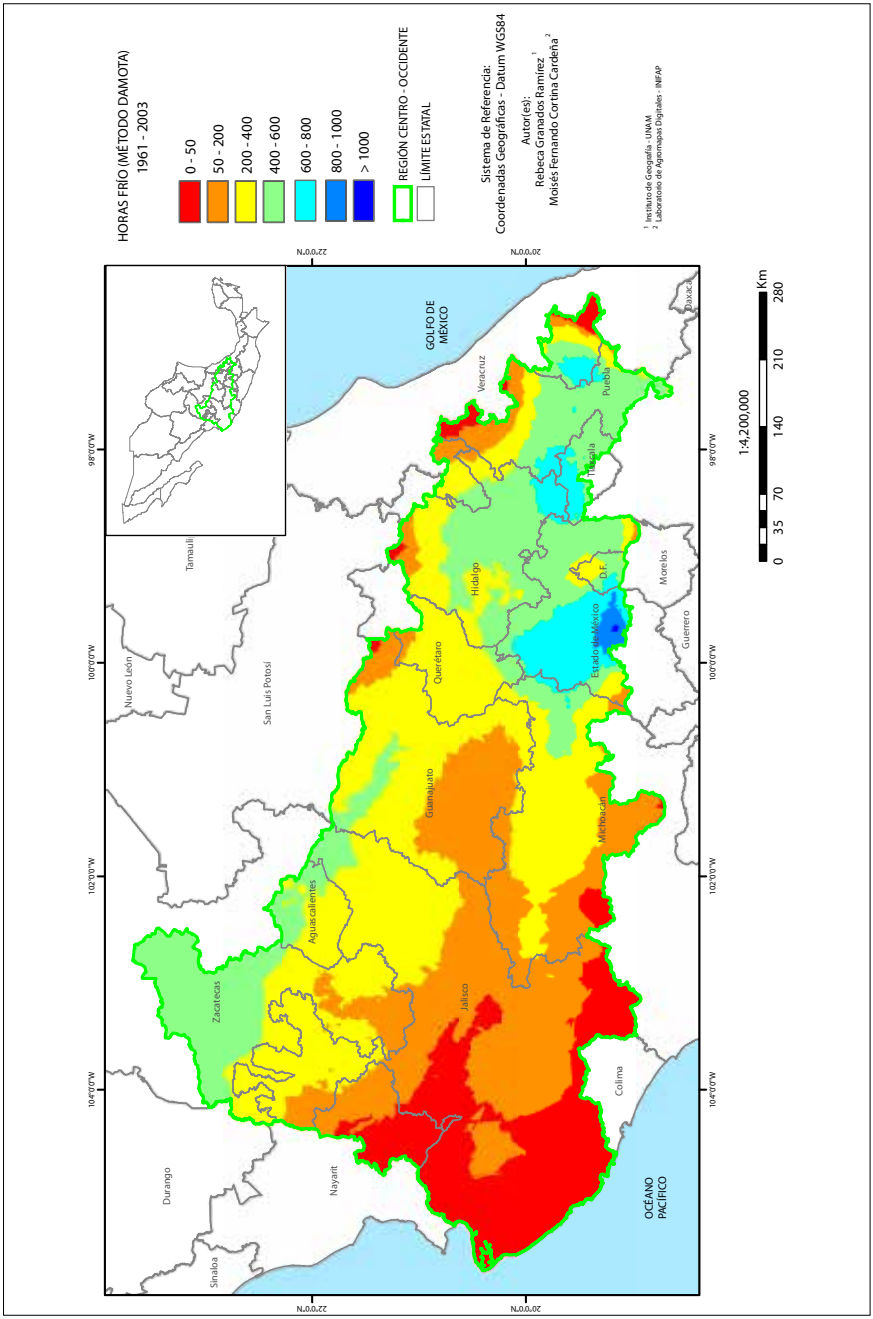


Figura 2. Duración del Periodo de Crecimiento 1961-2003.

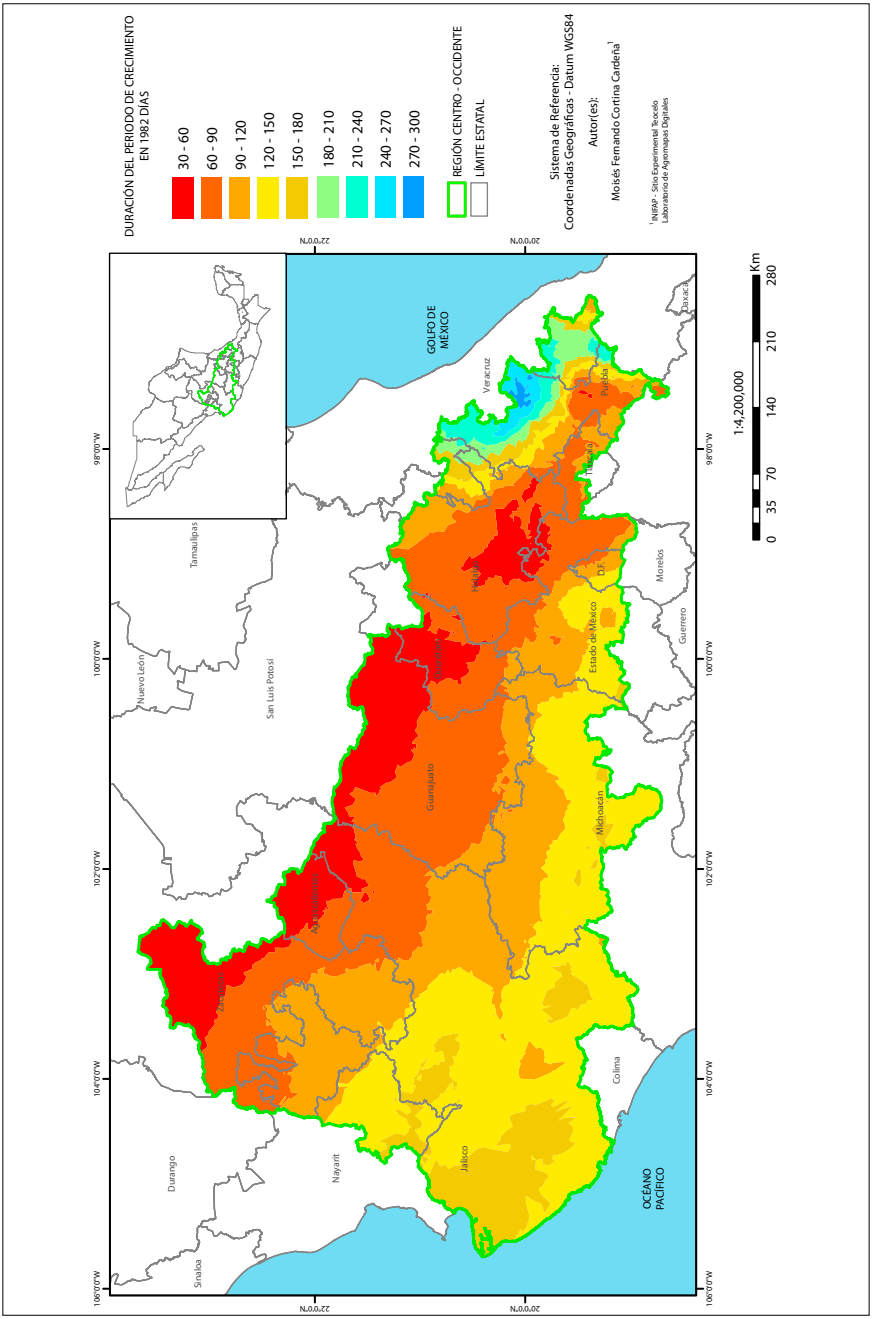


Figura 3. Duración del Periodo de Crecimiento 1982

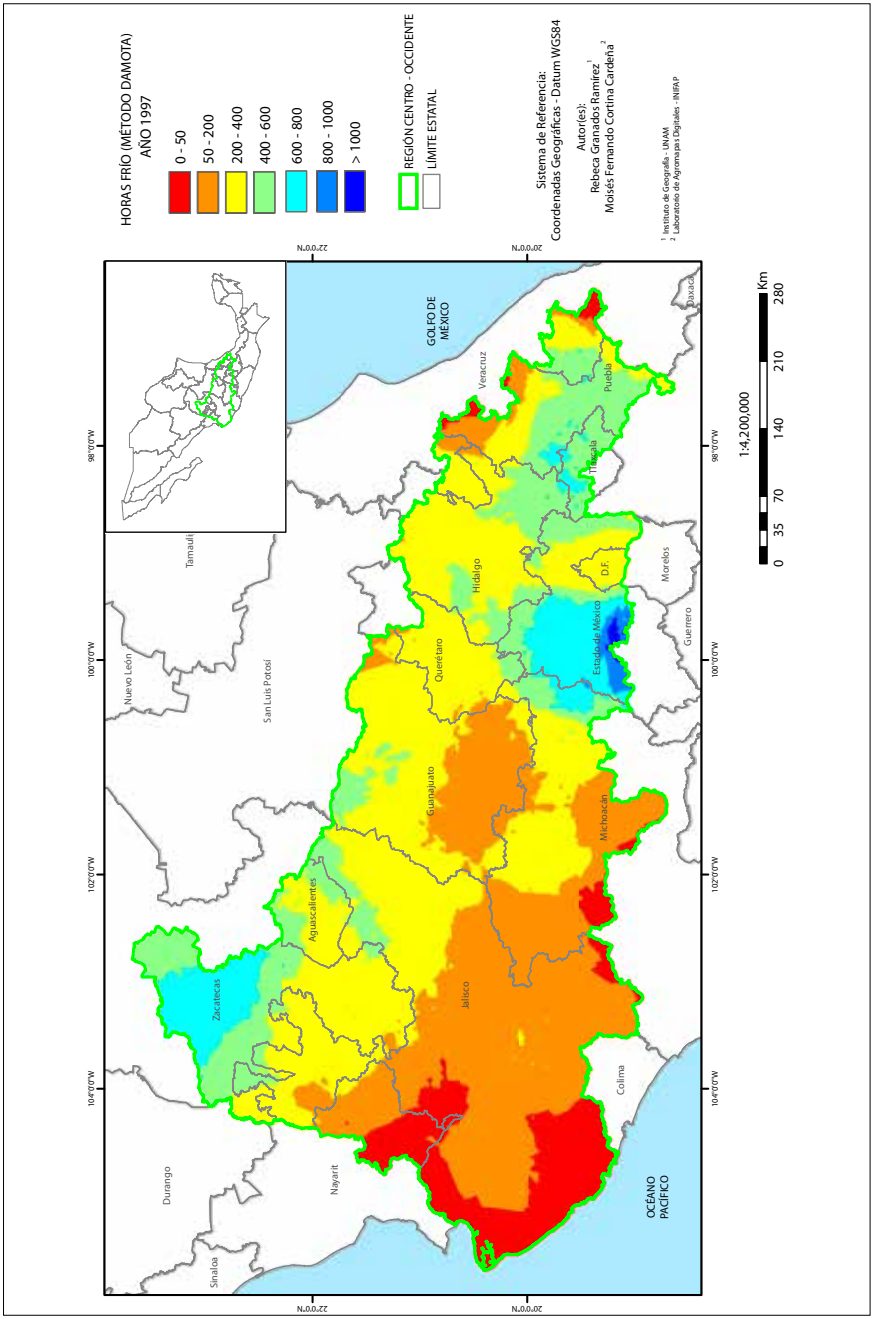


Figura 4. Duración del Periodo de Crecimiento 1997.

El área que ocupó IPC rango 10 (16 al 31 de mayo), en 1982 presentó decremento de aproximadamente 15%, respecto a la normal, lo cual afectó la temporalidad de la precipitación para los cultivos de la Sierra Norte de Puebla, que es la provincia más húmeda de toda la región Centro-Occidente (Figura 6).

Extensas áreas agrícolas en la región Centro-Occidente inician en forma normal sus actividades del 1-15 junio, en 1997 por la variabilidad de la precipitación por efecto de El Niño las labores agrícolas sufrieron corrimiento de 15 días hasta un mes, se inició el ciclo a partir de la quincena 12 (16 a 30 de junio), situación que modificó la DPC y los cultivos básicos fueron afectados por heladas tempranas, como ocurrió en la Mesa Central de Guanajuato e importantes áreas agrícolas de temporal del Valle de Toluca y Bajío Michoacano; principalmente en cultivos básicos (Figura 7).

Estas afectaciones regionales también se presentaron a nivel país, afirmación que fue reforzada con la Figura 8, misma que muestra la superficie siniestrada de maíz en México, para el periodo histórico 1980-2008, y los efectos ocurridos en los años El Niño. En 1982 se reportó 38% y para 1997 el 23% de superficies con siniestro.

El análisis espacial realizado, permitió identificar las variaciones de DPC y el IPC para 1982, 1997 y 1998, respecto al periodo histórico a nivel región. Para conocer más puntualmente la dinámica climática de las diferentes zonas de IPC se seleccionaron algunos sitios para cuantificar otros indicadores agroclimáticos.

Se seleccionaron las estaciones: Ameca, Jalisco; Jiquipilco, Estado de México, Uruapan, Michoacán como representantes de los rangos 9, 10 y 1 de IPC. Para cada estación se calculó y representó el balance de humedad con datos de P y ETP, se indicó la quincena de IPC y la DPC, se anotó el periodo libre de heladas, la primera y última helada, y se realizó la comparación del inicio del periodo húmedo con las fechas de siembra recomendadas por la SAGARPA.

Estación Climática 14009, Ameca, Jalisco

Su EC es Normal, el IPC corresponde a la quincena 11 (1-15 junio), estación que se ubicó en el rango cinco de DPC (120-150 días), mismo que se extiende desde principios de junio a finales de septiembre (Figuras 2 y 9). El 40% de los años analizados de esta estación presentó anomalías en las lluvias (adelantos o atrasos) de 15 días, dando lugar a reducciones en los rendimientos y producción total. La zona posee un periodo libre de heladas de 293 días, se cuantificaron cuatro meses con una ETP de 100 a 250 mm, la lluvia invernal fue del 5.3% respecto a la anual. Se reportan como cultivo principal al maíz grano (75%) y al sorgo grano (10%), con rendimientos de 4 y 5 ton/ha, respectivamente (SIAP, 2008; SIACON, 2008).

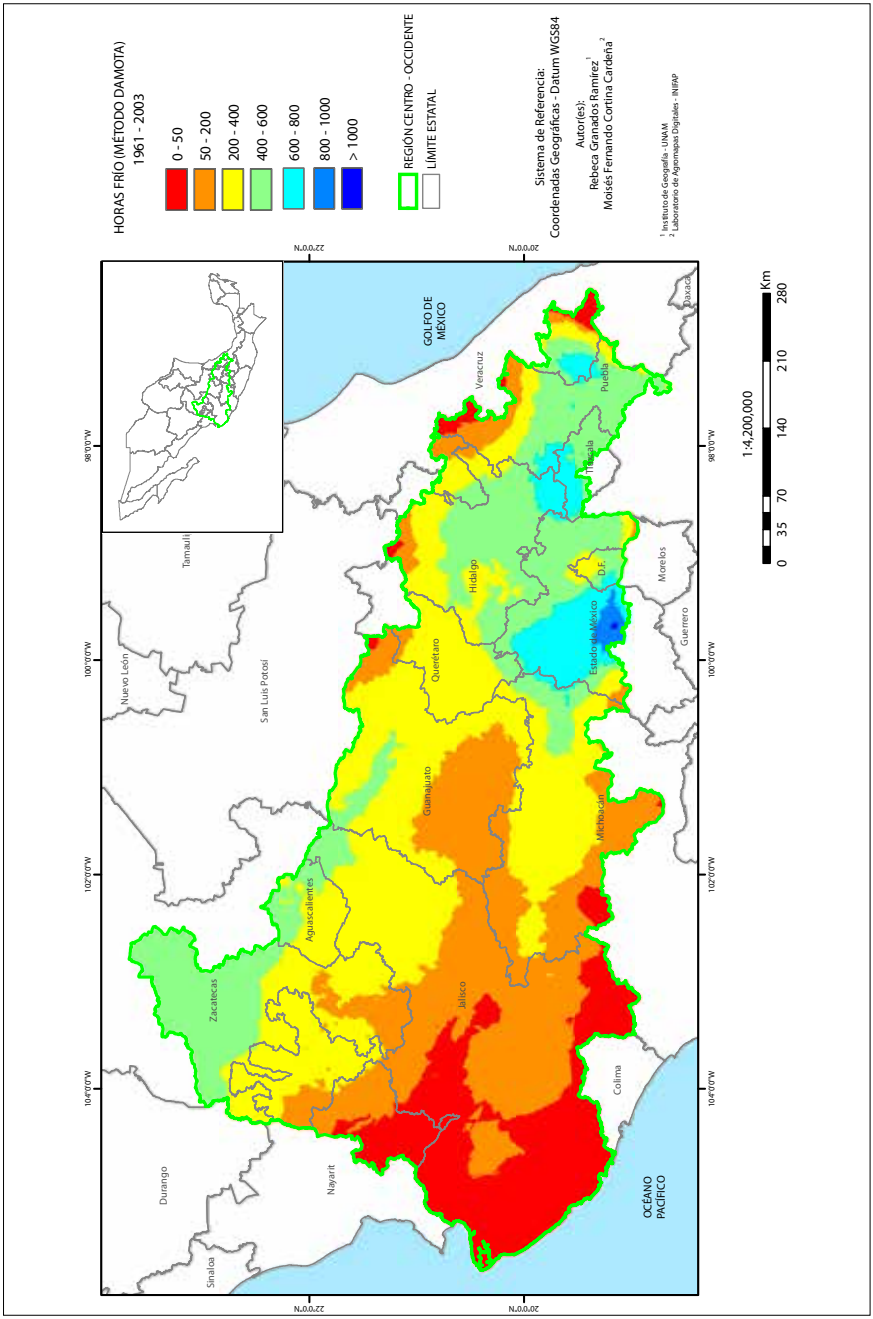


Figura 5. Inicio del Periodo de Crecimiento 1961-2003.

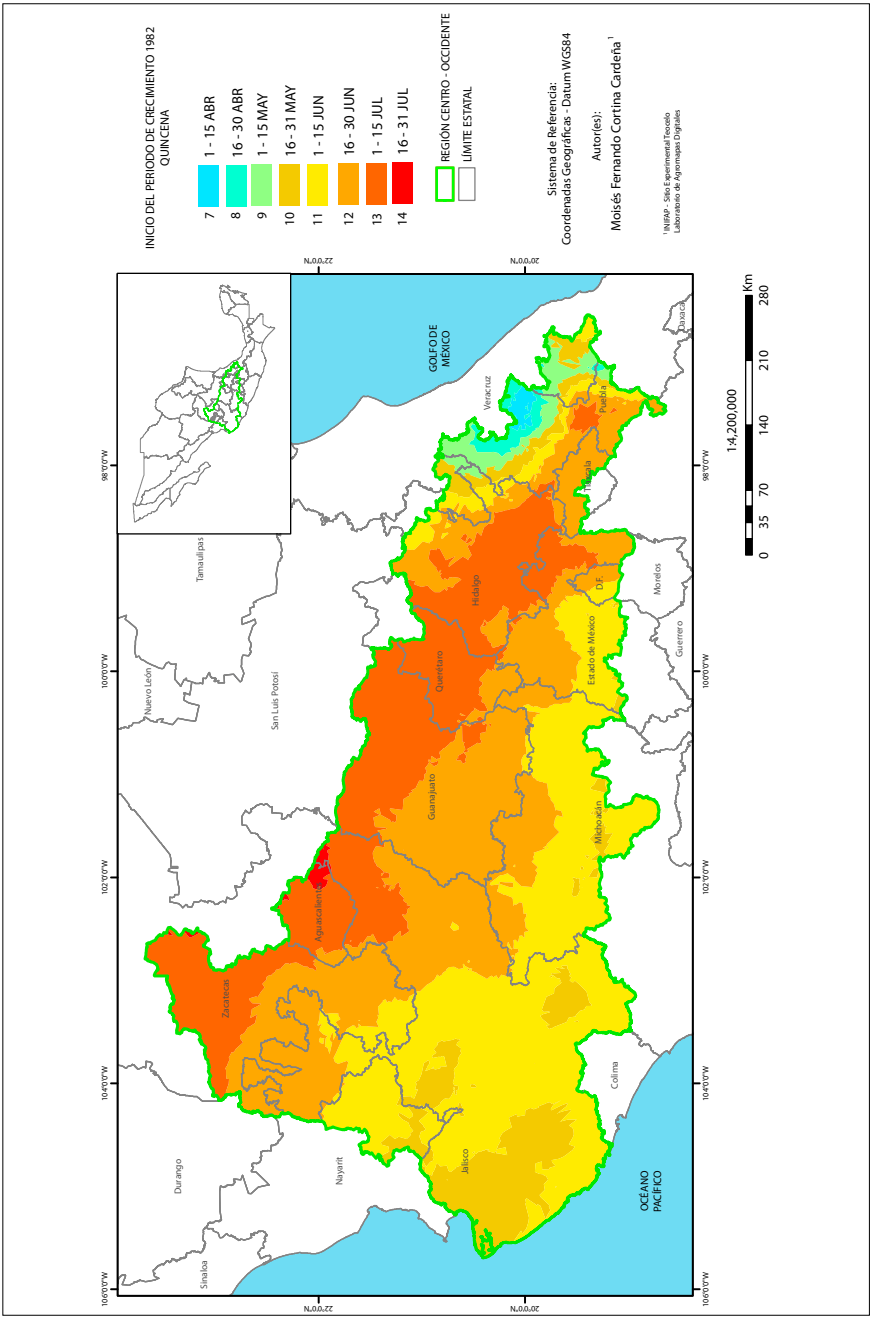


Figura 6. Inicio del Periodo de Crecimiento 1982.

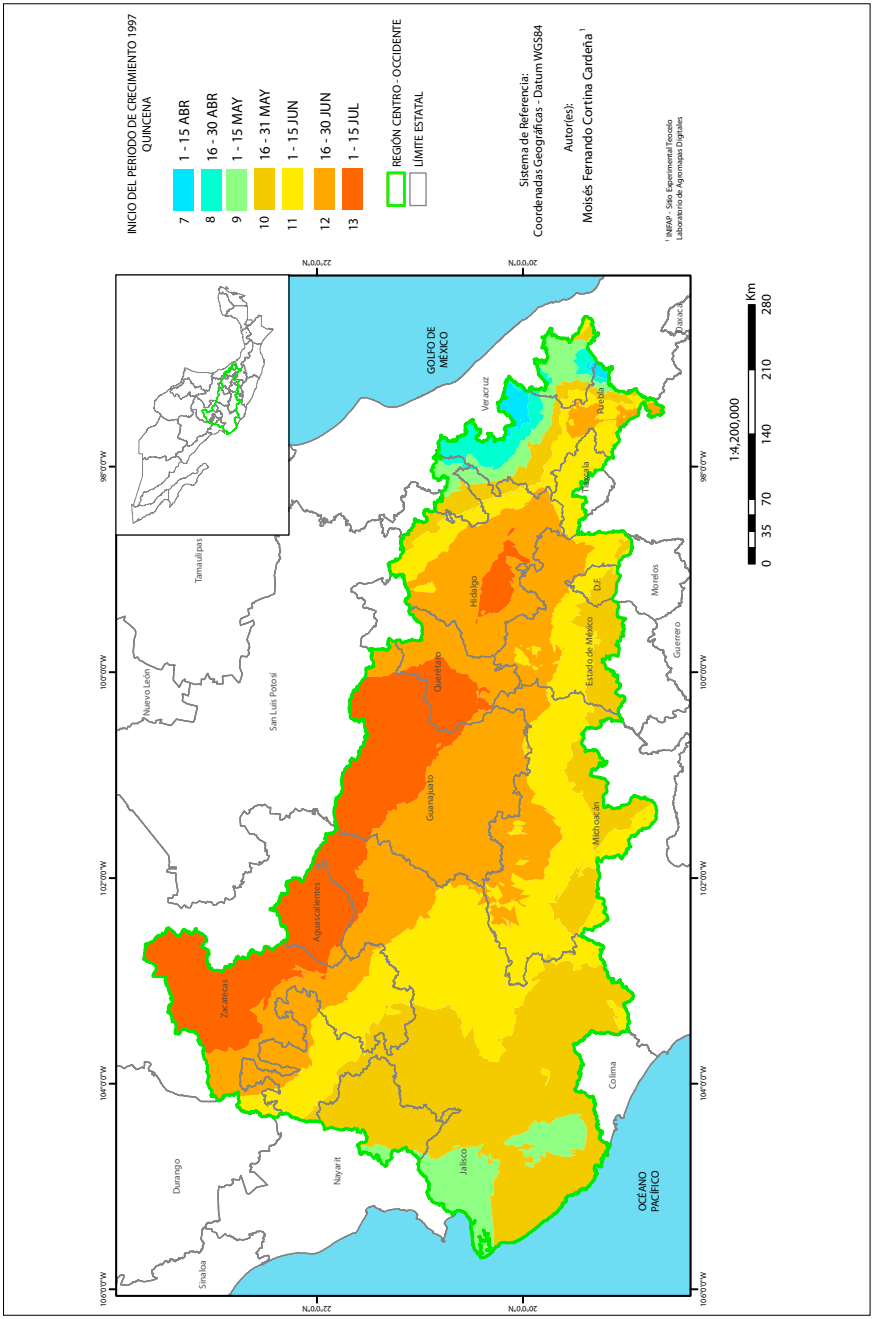


Figura 7. Inicio del Periodo de Crecimiento 1997

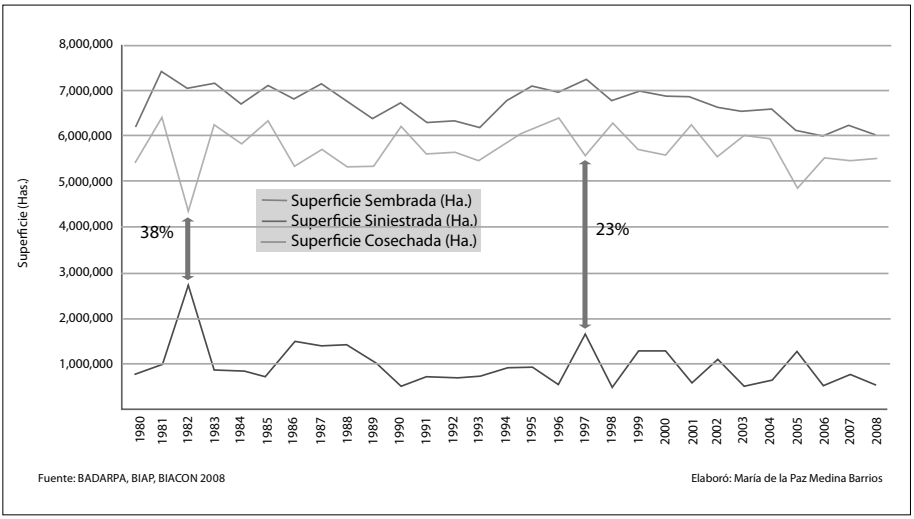


Figura 8. Variaciones de las superficies de maíz en México, periodo 1980-2008.

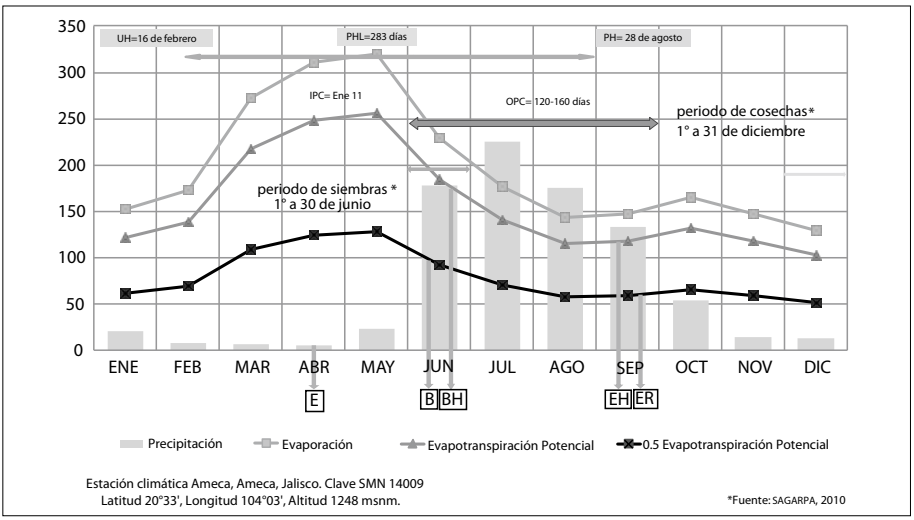


Figura 9 Estación de crecimiento normal Ameca, Jalisco.

Estación Climática 15037, Jiquipilco, Estado de México

La EC es Normal, el IPC se ubicó en la quincena 10, zona agrícola que ocupó superficie importante respecto a la región en estudio (23%), presentó una DPC del grupo 7, y el IPC fluctúa desde mediados de junio a mediados de octubre, esta condición ocurre en un 60% del temporal (Figura 2). Se cuantificó un periodo libre de heladas de 144 días y como se señala en la Figura 10, se presentaron al menos cuatro meses con una ETP de 80 a 130 mm y un porcentaje de lluvia invernal del 5% respecto a la anual. Los principales cultivos que se reportan son: maíz (70%) con rendimientos de 2.5 ton/ha y avena forrajera (10%) con rendimientos de 23 ton/ha (SIAP, 2008; SIACON, 2008).

Estación Climática 16165, Uruapan, Michoacán

La EC es Normal, IPC corresponde a la quincena 9 (1 al 15 de mayo), el sitio está ubicado en una de las regiones más húmeda de la zona en estudio. Presentó una DPC de 181 a 210 días, que oscila de principios de mayo a finales de noviembre. Las lluvias tuvieron un desfase de hasta un mes, por las condiciones del El Niño no afectaron considerablemente la producción. El sitio tiene un periodo libre de heladas de 291 días, presentó cinco meses que superan a la evaporación y a la ETP la cual varía de 80 a 140 mm, presenta un porcentaje de lluvia invernal mayor al 30% respecto a la anual Los cultivos registrados para esta región son trigo, sorgo grano, papa, girasol, maíz y frijol (SIAP, 2008).

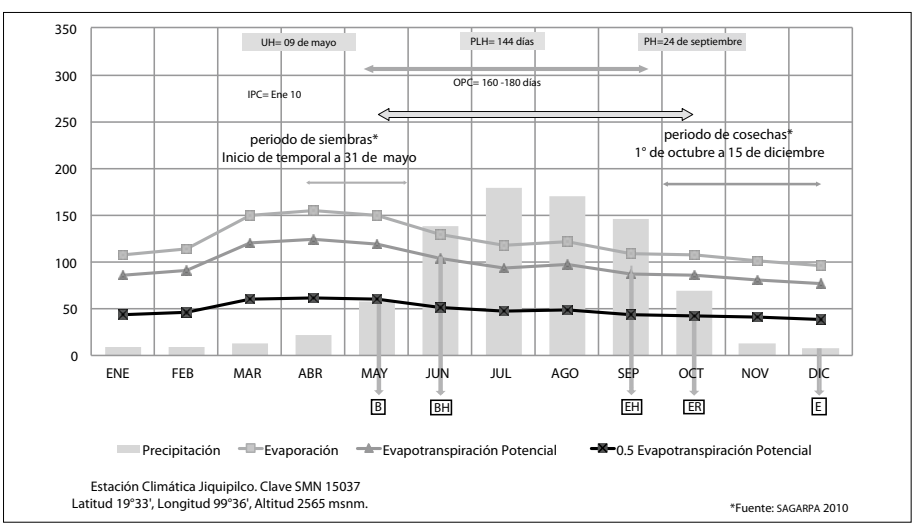


Figura 10. Estación de crecimiento normal Jiquipilco, Estado de México.

Conclusiones

En la región Centro-Occidente se determinó la Estación de Crecimiento con una duración variable de 30 a 300 días, se presenta un gradiente ascendente orientado del centro-norte al sur y este. La DPC de mayor superficie oscila entre 90-120 días. El inicio de la estación tiene como constante la primera y segunda quincena de junio.

La humedad en esta región depende en gran medida de factores regionales tales como altitud y continentalidad y de la dinámica global de la atmósfera, tal como oscilación Decadal del Pacífico, la temperatura media del mar, vientos alisios, influencia de tormentas tropicales, huracanes y la corriente de chorro.

Las variaciones de los elementos del clima han impactado históricamente a la producción agrícola de la región Centro-Occidente, en particular los años El Niño. Los indicadores DPC e IPC en los años con presencia de El Niño mostraron un desfase de hasta un mes, lo que provocó pérdidas en la producción agrícola en las zonas de temporal de la región.

El análisis realizado reveló que en los años con presencia de El Niño se presentó: *a)* incremento de las superficies con menor duración de estación de crecimiento, y *b)* disminución de las superficies con mayor duración de la estación de crecimiento.

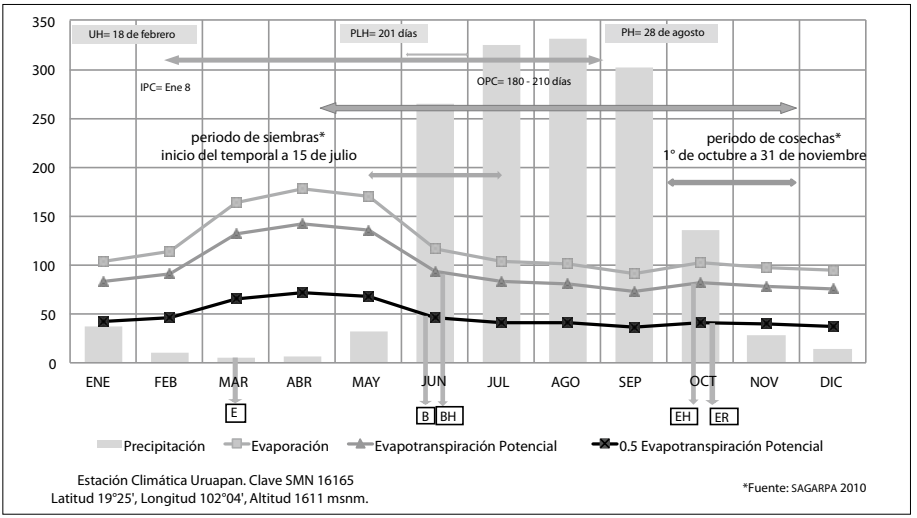


Figura 11. Estación de crecimiento normal Uruapan, Michoacán.

Dentro de las medidas de adaptación futuras para las diferentes regiones del Centro-Occidente de México, para el efecto de la duración del periodo de crecimiento DPC, se debe considerar el ajuste de variedades de menor ciclo de desarrollo, para evitar en lo posible que algunas fases fenológicas sean expuestas a eventos extremos y se reduzca su producción.

Lo anterior es factible debido a que existen tecnologías de vanguardia que monitorean en tiempo casi real los fenómenos atmosféricos y marítimos, emiten alertas tempranas ante al desarrollo o advenimiento de un evento meteorológico anómalo (El Niño), ante estos avizores tempranos; y que en la actividad agrícola deben ajustarse los inicios de periodo de crecimiento seleccionando las variedades de ciclos cortos para evitar a que se expongan las últimas fases de desarrollo a las helada u otro evento meteorológico.

Capítulo 7. Duración, frecuencia e intensidad de la sequía por medio del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

Gabriel Díaz Padilla
Campo Experimental Cotaxtla
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Ignacio Sánchez Cohén
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera

Rafael Alberto Guajardo Panes
Campo Experimental Cotaxtla
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Introducción

El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés: Standardized Precipitation Index), fue desarrollado por Mckee *et al.* (1993), para determinar si en una región y en un periodo determinado hay déficit o exceso de precipitación respecto a las condiciones normales (Hayes *et al.,* 1999; Komuscu, 1999; Tadesse *et al*., 2004); el método se destaca por su rapidez, gran aproximación en el análisis de sequía, simplicidad y requerimiento mínimo de datos, lo que hace al método ideal para ser utilizado.

Por ello el propósito de este capítulo es mostrar la aplicación de técnicas estadísticas de avanzada en la evaluación de la bondad de ajuste de la precipitación a la distribución Gamma, métodos de interpolación espacial con mapas de errores y la aplicación de los resultados obtenidos a una aproximación de la evaluación de periodos de sequía y excesos de humedad utilizando para esto el SPI.

Se realizaron cálculos probabilísticos más precisos de la incidencia de precipitación, se generaron mapas continuos al 70, 80 y 90% de probabilidad, se ob-

servó la variación de los parámetros de forma y escala de la distribución Gamma, así como se identificaron las zonas que han sido afectadas por periodos de sequía o exceso de humedad en la región Centro-Occidente, y mediante el SPI hacer una valoración histórica de la incidencia de sequías.

Los objetivos planteados para este capítulo, fueron desarrollar para la región Centro-Occidente de México lo siguiente:

- una propuesta metodológica para modelar de forma espacial y temporal la precipitación pluvial;
- evaluar, por medio de pruebas de bondad de ajuste, las series de tiempo de precipitación a la distribución Gamma;
- delimitar el probable comportamiento espacial de la precipitación pluvial al 70, 80 y 90% de probabilidad;
- generar mapas cronológicos anuales de la delimitación espacial del SPI para detectar periodos de sequía y de excesos de humedad.

Para conocer las ventajas y desventajas climáticas de la región Centro-Occidente, es necesario caracterizar de forma cuantitativa el comportamiento de los elementos del clima. La cantidad suficiente de información es un factor determinante para el análisis de datos ya que entre mayor cantidad de información, mayor certidumbre se tendrá sobre el comportamiento del clima. Por otro lado, existen factores ajenos y no controlables en el registro de la información por ende se tiene que contar con procesos estadísticos que permitan detectar eficientemente la información que se encuentre fuera de rango o bien fuera de los comportamientos "normales" de una serie de datos pertenecientes a una estación meteorológica. Por otro lado la percepción visual del comportamiento de las series climáticas permite tener una idea de la variabilidad que en ellas existen.

Selección de estaciones e integración de la base de datos

Para la selección de bases de datos se consideraron las estaciones activas que tuvieran al menos 20 años de información y al menos 75% de ésta se encontrara entre los años 1961 y 2003. Una vez seleccionadas las bases de datos se realizó la validación de los registros diarios de temperatura y precipitación.

Validación de información climática

Para la validación de los datos climáticos existe una serie de herramientas como la propuesta por Gleason (2001) llamada ClimDex la cual fue modificada por Zhang y Yang (2004) y cuyo objetivo original fue el de colocar a ClimDex en un ambiente que no dependiera de un sistema operativo determinado. Para lo cual emplearon R Development Core Team (2004), como plataforma dado que es gratuito, pero al mismo tiempo robusto, y con flexibilidad de programación. R-ClimDex ha sido frecuentemente empleado para la validación de información climática diaria. El control de calidad de RClimDex realiza lo siguiente: reemplaza todos los datos faltantes (actualmente codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (por ejemplo NA, no disponible); remplaza todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyen: *a)* cantidades de precipitación diaria menor que cero, y *b)* temperatura máxima diaria menor que la temperatura mínima diaria, e identifica valores extremos (outliers)[1] en temperaturas diarias máximas y mínimas, los cuales fueron eliminados.

Para muchas aplicaciones se requiere información climática diaria, para modelar estructuras hidráulicas, comportamiento hidrológico en cuencas, evaporación del suelo, potencial productivo, impacto climático, etc. Para ello es necesario contar con largos periodos de información para explicar la variabilidad del ambiente (Ndlovu, 1994).

Generación de información faltante

Los datos faltantes en la serie climática fueron estimados mediante el programa ClimGen (Nelson, 2003). El cual para estimar datos de precipitación realiza el cálculo de parámetros con base en la información existente, posteriormente realiza el cálculo de probabilidades condicionales mediante cadenas de Markov para determinar día sin lluvia o día con lluvia, en caso de ser este último, realiza una estimación de la precipitación que pudo haber ocurrido. En lo referente al cálculo de datos de temperatura (mínima y máxima) hace uso de modelos estocásticos. Es importante señalar que ClimGen cuenta con la ventaja de conservar la información existente de una serie y completar solo la faltante, además de contar con

[1] Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de una región definida por el usuario. Actualmente esta región se define como n veces la desviación estándar del valor del día, esto es [media – n*std, media+n*std]. Donde se representa la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario.

una rutina que aproxima los datos generados a lo que realmente sucede (Díaz y Sánchez, 2007).

Prueba de bondad de ajuste a la distribución Gamma y cálculo de los parámetros alfa y beta

La función probabilística de densidad (fpd) de muchas variables atmosféricas son claramente asimétricas y sesgadas a la derecha (Wilks, 1995), tal es el caso para la precipitación pluvial. El tratar de ajustar esta variable a distribuciones como por ejemplo la Gaussiana, podría llevar a resultados incorrectos al modelar o cuantificar cierta probabilidad de ocurrencia. Una distribución continua que ajusta bien a datos de la precipitación pluvial es la distribución Gamma, la cual se verificó mediante una prueba de bondad de ajuste una vez que se contó con la información completa y validada de dicha variable. La distribución Gamma se define por la fpd:

$$f(x) = \frac{(x/\beta)^{\alpha-1} e^{\left(-\frac{x}{\beta}\right)}}{\beta\,\Gamma(\alpha)} \qquad x,\ \alpha,\ \beta > 0$$

Donde x es un valor de precipitación observada y los valores de α y β y son los parámetos de forma y escala de la distribución. La función $\Gamma(\alpha)$ está definida por la integral:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\alpha} t^{\alpha-1} e^{-t}\, \delta t$$

Ésta debe ser evaluada numéricamente o aproximada utilizando valores tabulares provistos en tablas de Wilks (1995) y Sánchez *et al*. (2008).

Una de las dificultades de la distribución Gamma es el cálculo de sus parámetros y para ello varios autores proponen diferentes formas para estimarlos, uno de los mejores es el Método de Máxima Verosimilitud (MLE, por sus siglas en inglés), el cual requiere un proceso iterativo que solamente es práctico mediante el uso de computadoras. Wilks (1995) describe las aproximaciones para este propósito, el primero de ellos es el señalado por Thom (1958) y el segundo es una aproximación polinomial para el parámetro de α propuesto por Greenwood y Durand (1960).

Gran parte del análisis realizado en este trabajo se fundamenta en el trabajo propuesto por Cheng (2006), quien desarrolló una serie de algoritmos y

programas en Visual Basic incorporados en hojas de cálculo; con los cuales fue posible calcular mediante el método MLE los parámetros α y β de la Distribución Gama, intervalos de confianza, funciones de distribución acumulada, empírica y de probabilidad, para finalmente realizar la prueba de bondad de ajuste mediante remuestreo "Bootstrap" empleando la prueba de Anderson-Darling con su correspondiente comparativo entre el valor crítico y valor p.

Cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación

El Índice Estandarizado de Precipitación, (SPI) desarrollado por Mckee *et al.* (1993), para determinar si en una región y en un periodo determinado hay déficit o exceso de precipitación respecto a las condiciones normales de ocurrencia. Hayes *et al.* (1999); Tadesse (2004) y Komuscu (1999), destacan que el SPI por su rapidez de cálculo, simplicidad y requerimiento mínimo de datos lo convierten en un método ideal para utilizarlo. Fue diseñado para ser un indicador que reconoce la importancia de la escala del tiempo en el análisis de la disponibilidad y uso del agua, y puede ser fácilmente interpretado como un proceso simple de medias móviles (Guttman, 1998).

El cálculo del SPI se basa en el ajuste de la serie histórica de precipitación a la distribución Gamma. Para lo cual se estiman los parámetros α y β de la distribución, para cada escala de tiempo de interés. Estos parámetros se utilizan para encontrar las probabilidades acumuladas de un evento de precipitación en un periodo determinado, de acuerdo con los datos disponibles de cada estación. Dichas probabilidades acumuladas se transforman a una variable estándar con media igual a cero y varianza igual a 1, obteniéndose así el valor del índice SPI, que tiene la ventaja de ser calculado para distintos periodos de tiempo, por ejemplo 1, 3, 6, 12 o 72 meses. Una descripción paso a paso de su estimación, puede consultarse en el trabajo realizado por Giddings y Soto (2005).

Los valores de SPI representan el número de desviaciones estándar que una cierta observación, de periodo variable, se aleja de su promedio histórico, mismo que en la escala vertical se representa por el cero; los valores negativos representan el déficit de la precipitación respecto al promedio histórico y los positivos el excedente. Este índice permite analizar diversas escalas de tiempo, es decir, los ajustes y transformaciones se pueden hacer con registros de precipitación acumulada en uno o en N meses, permitiendo identificar la frecuencia, intensidad y duración de la sequía a corto mediano y largo plazo (Guttman, 1998 y Hayes *et al.,* 1999).

En esta investigación se realizó el cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en periodos de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 meses, con el fin de observar el comportamiento de este indicador a través de los años y cuantificar el riesgo climático por medio de la caracterización de la precipitación en el país. El detalle del algoritmo para la obtención del SPI se describe a continuación (Sánchez *et al.*, 2008).

Transformar los datos de precipitación del periodo elegido a su forma logarítmica mediante la siguiente fórmula:

$$\overline{x}_{\ln} = \frac{\ln(x)}{N}$$

Obtener la constante de U para obtener, posteriormente, el parámetro de forma y escala:

$$U = \ln(x) - \overline{x}_{\ln}$$

Obtener el parámetro de forma de la función probabilística Gamma (fpd):

$$\beta = \frac{1}{4U}\left[1 + \sqrt{\frac{4U}{3}}\right]$$

Obtener el parámetro de escala de la misma fpd:

$$\alpha = \frac{\overline{x}}{\beta}$$

A continuación se presenta una tabla de categorización de los valores de SPI de acuerdo con los valores obtenidos después del proceso, dicha clasificación es la que utiliza el National Drought Monitoring Center, y algunas otras instituciones alrededor del mundo (Tabla 1).

El SPI actualmente es utilizado por algunas instituciones internacionales y nacionales para monitorear la sequía o los excesos de humedad. Tal es el caso del National Drought Monitoring Center de la Universidad de Nebraska y del Colorado Climate Center de la Universidad de Colorado, quienes lo utilizan para determinar la severidad de sequías en los Estados Unidos de América. En México, Reyes *et al.* (2006) implementaron mediante el uso de SPI, un sistema permanente de monitoreo de la sequía en el estado de Chihuahua, con el cual

Tabla 1. Clasificación de los valores del SPI de acuerdo con el National Drought Monitoring Center

Valor de SPI	Categorías de sequía
2 o mayor	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-.99 a .99	Cercano a lo normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Muy seco
-2 o menor	Extremadamente seco

dan seguimiento al comportamiento histórico de la sequía en términos de su ocurrencia, intensidad, duración y extensión territorial.

Evaluación de métodos de interpolación

La interpolación de datos climáticos ha sido estudiada y aplicada ampliamente en el mundo, tal es el caso de Hong *et al*. (2005) donde se generaron superficies continuas de información de temperatura y precipitación mensual de China. También McBeth y Roxburgh (2005) realizaron lo propio para observar el comportamiento de la precipitación y temperaturas máximas, mínimas y medias mensuales de 1900 a 2004. Para el caso de México Hartkamp *et al*. (1999) llevaron a cabo proceso de interpolación para observar cual era el adecuado para la región occidente del país. También Díaz *et al*. (2008) realizaron el estudio similar para la región de barlovento y sotavento del Golfo de México donde observaron que la mejor técnica a emplear para este trabajo fue la de Thin Plate Smoothing Spline propuesto por Hutchinson (2004) mediante el uso del software Anusplin desarrollado por él mismo.

Interpolación espacial de valores puntuales

El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) ha ofrecido a través de su desarrollo, la capacidad de realizar el análisis estadístico con nuevas y sofisticadas herramientas que permiten maximizar el uso de los atributos de una base de

datos puntual. En la actualidad los SIG tienen la capacidad de realizar la interpolación espacial para crear capas continuas de información de cualquier variable que tenga un comportamiento en un espacio geográfico.

Con el fin de tener una representación espacial de la información climática, se realizó un proceso de interpolación a partir de datos puntuales con el método Thin Plate Smoothing Spline incluido en el software ANUSPLIN desarrollado por Hutchinson (2004), cuyo proceso se describe a continuación.

Los datos puntuales fueron formateados bajo las especificaciones requeridas por el módulo "Splina", mediante el cual se calcularon los parámetros necesarios para generar con el módulo "Lapgrd" la superficie continua de valores de las variables interpoladas a una resolución de 90 m para posteriormente procesarlas en sistemas de información geográfica tales como IDRISI (Clark Labs, 2000) y/o ArcView (ESRI, 1999).

Con respecto a valores de SPI anuales que comprenden los meses de enero a diciembre; así como los valores semestrales de mayo a octubre, periodo en el que, en nuestro país, se desarrolla la actividad agrícola de temporal fueron interpolados.

De acuerdo con este mismo esquema se realizó el mismo proceso a los valores de α y β de la distribución Gamma para obtener la variación espacial de dichos parámetros, con ellos se delimitaron rangos de precipitación al 70, 80 y 90% de probabilidad en el país para el periodo comprendido entre los meses de mayo y octubre debido a que es en este periodo donde se lleva a cabo la actividad agrícola de temporal, además de que se registra el 80% de la precipitación anual.

Siguiendo el proceso descrito en la metodología se observó que de las 5 088 estaciones ubicadas en todo el país, solo 2 165 contaron con información mínima requerida con base en los requerimientos establecidos, la información contenida en estas estaciones fue verificada mediante el programa R-ClimDex y completada en su información faltante con el software ClimGen. Posteriomente, las bases de datos fueron incorporadas a un manejador de información climática (SICLIMA) desarrollado por Díaz y Cortina (2005) el cual tiene la versatilidad de procesar la información climática en periodos que el usuario necesite.

En cuanto a las pruebas de bondad de ajuste, las rutinas en Visual Basic desarrolladas por Cheng (2006) resultaron ser lo suficientemente prácticas, pues los resultados se obtienen tanto de forma numérica como de forma gráfica. En la Figura 1 se da un ejemplo de ello considerando información climática de la estación El Palote (11020) ubicada en el estado de Guanajuato.

En (a) de la Figura 1, se observa como la función de distribución empírica converge, casi perfectamente con la función de distribución, mostrando sólo

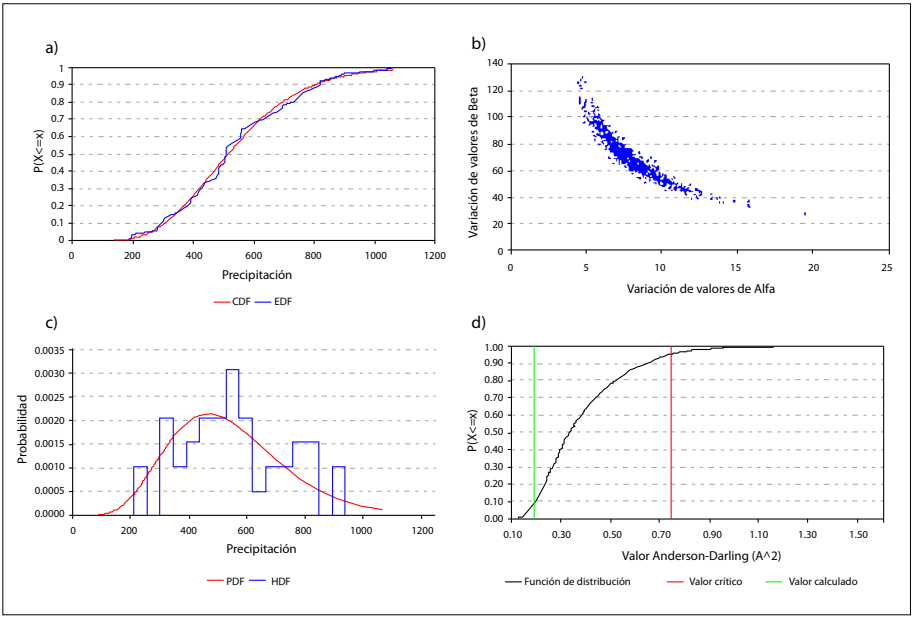


Figura 1. Aplicación del algoritmo de Cheng, Estación El Palote (11020), Guanajuato.

unas partes donde sobreestima o subestima en regiones ubicadas al inicio y en parte media de la curva. En (b) se despliegan los resultados de las iteraciones de los parámetros α y β mediante los cuales se llega a definir el intervalo de confianza de dichos parámetros. En tanto que en (c) se muestra la sobreposición de la función de densidad de probabilidad y la HDF (Hazard Density Function), lo que permite definir en qué partes se sobreestiman o subestiman los valores de precipitación. Por último, en (d) se observa la posición del valor crítico con respecto al valor calculado del estadístico de prueba Anderson-Darling, para rechazar o no la hipótesis nula de bondad de ajuste a la distribución Gamma ($H_0 : F(x) \approx Gamma$).

La aplicación iterativa de estas rutinas, permitió estimar los parámetros y estadísticos de la prueba de bondad de ajuste, para los periodos mayo-octubre y anual. En la Tabla 2 se muestran los resultados del análisis de bondad de ajuste a los datos de precipitación del periodo mayo-octubre y sólo se enlistan algunas estaciones con sus parámetros y estadísticos de prueba. Las estaciones se encuentran ordenadas de acuerdo con el valor-*p*, lo que significa que en la parte superior se encuentran las estaciones con alta probabilidad de que los datos de precipitación se ajusten a una distribución Gamma, en tanto que en la parte más

baja se encuentran las que registraron un pequeño valor-*p* (menor a 0.05), lo que conduce a rechazar la hipótesis nula descrita en el párrafo anterior.

La Tabla 3 corresponde a los resultados del análisis de bondad de ajuste a los datos de precipitación anual, al igual que en la Tabla 2, solo se enumeran algunas estaciones con los parámetros y estadísticos de prueba resultantes y se encuentran ordenadas por el valor-*p*. En la parte superior se encuentran las estaciones con probabilidades altas de que los datos de precipitación se ajusten a una distribución Gamma y en la parte inferior se encuentran las que registraron menor valor-*p*, lo que conduce a rechazar la hipótesis de que los datos siguen el patrón de la distribución antes mencionada.

Con base en los resultados de la prueba de bondad de ajuste realizada a los valores de precipitación anual y del periodo mayo-octubre, provenientes de 647 estaciones ubicadas en la región Centro-Occidente, se observó que para ambos periodos, el 84% de las estaciones climatológicas se ajustaron a la distribución Gamma.

Un aspecto importante a resaltar, es que los datos de precipitación se ajustaron a la distribución Gamma siendo que las estaciones se encuentran en zonas que registran desde precipitación intensa hasta zonas con muy escasa precipitación, es decir, zonas áridas y semiáridas. La distribución espacial de las estaciones que se ajustaron a la distribución Gamma se muestra en la Figura 2.

Un aspecto importante a resaltar en la Figura 2, es que la distribución Gamma se ajustó adecuadamente a estaciones ubicadas en diversas regiones geográficas de la zona Centro-Occidente, por lo que no se infiere un ajuste a esta distribución asociado a algún clima o región geográfica del país.

Posterior a la evaluación de la bondad de ajuste, se interpolaron los parámetros de forma (α) y escala (β), mediante el programa Anusplin, que con base en el trabajo de Díaz *et al.* (2008), resultó con el cuadrado medio del error de predicción más bajo, al compararlo con otro métodos de interpolación espacial como Kriging, Co-kriging e Inverso de la Distancia.

De acuerdo con los parámetros α y β de la distribución Gamma, se calcularon los niveles de precipitación en el periodo mayo-octubre para los percentiles 70, 80 y 90; posteriormente se interpolaron para generar mapas tipo "raster" mostrados en la Figura 3.

Con los parámetros α y β de la distribución Gamma fueron calculados los niveles de precipitación anual para los percentiles 70, 80 y 90; posteriormente se interpolaron para generar mapas tipo "raster" mostrados en la Figura 4.

Las Figuras 3 y 4 muestran patrones de comportamiento similares; resalta una extensión promedio de 5.5 millones de hectáreas, que se encuentran en ries-

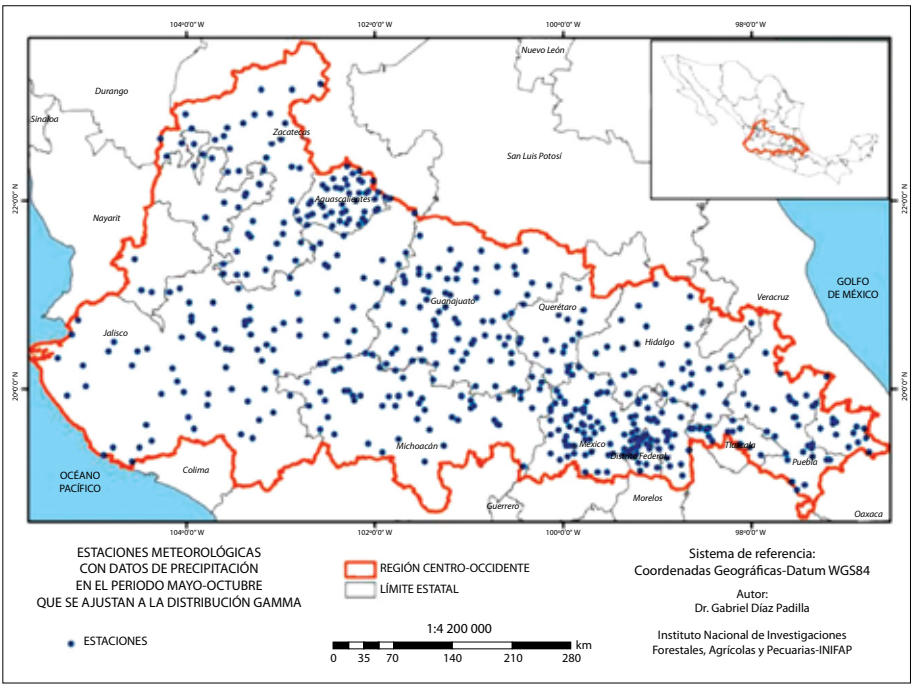


Figura 2. Distribución geográfica de estaciones cuyos datos de precipitación pluvial se ajustan a una distribución Gamma con parámetro de forma (α) y escala (β) en la región Centro-Occidente.

go de padecer escasez de precipitación, ya que éstas no sobrepasan los 635 mm, en al menos siete de cada diez años, en dicha extensión inciden estados zonas que comprenden el Centro de Zacatecas, el estado de Aguascalientes, la zona noreste de Jalisco y Guanajuato, así como el centro de los estados de Querétaro e Hidalgo. En contraparte, se encuentra la región que comprende el norte de Hidalgo, Puebla, límites del estado de Veracruz, parte del este de Jalisco y algunas zonas ubicadas al Centro-Este y Centro-Oeste de Michoacán con aproximadamente 345 000 ha con riesgo de tener niveles de precipitación que pueden sobrepasar los 1 905 mm anuales en al menos siete de cada diez años. Cabe señalar que estas regiones, de acuerdo con Sánchez *et al.* (2008), cuentan con municipios catalogados por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2005), en nivel medio de rezago social y que cuentan entre el 21 y 51% de probabilidad de ser afectados por ciclones y huracanes.

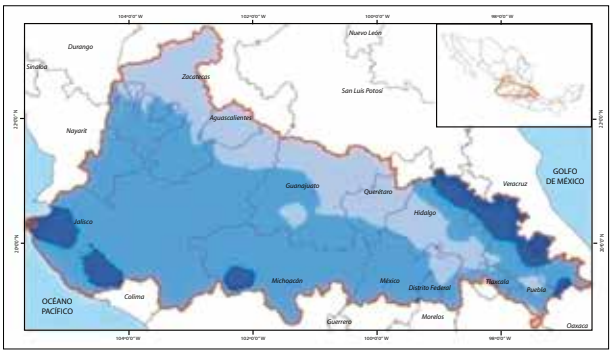
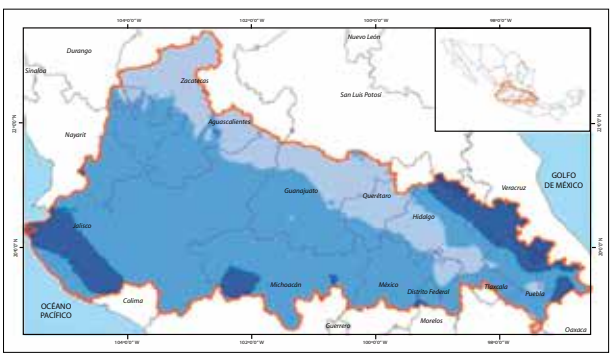
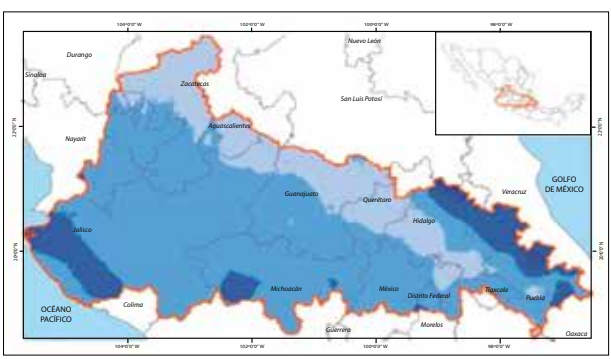


Figura 3. Distribución de la precipitación pluvial al 70, 80 y 90% de probabilidad en la República Mexicana en el periodo mayo-octubre derivada de los parámetros de escala y forma de la distribución Gamma.

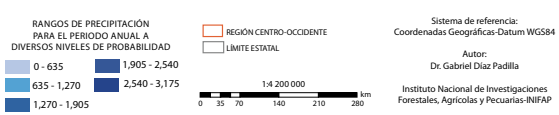
a) Precipitación al 70% de probabilidad

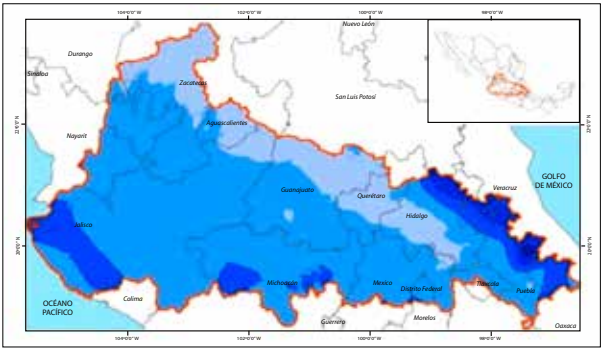


b) Precipitación al 80% de probabilidad

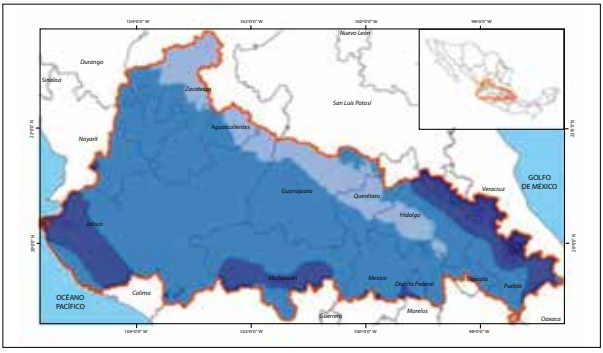


c) Precipitación al 90% de probabilidad

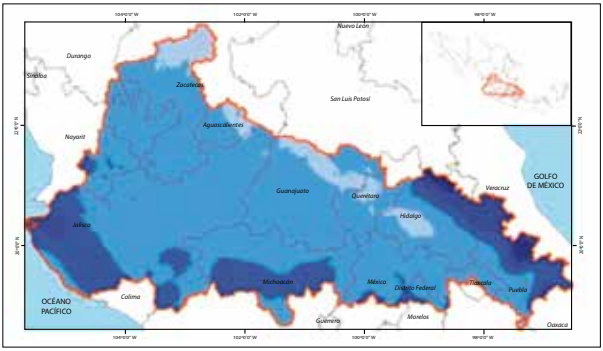




a) Precipitación al 70% de probabilidad



b) Precipitación al 80% de probabilidad



c) Precipitación al 90% de probabilidad

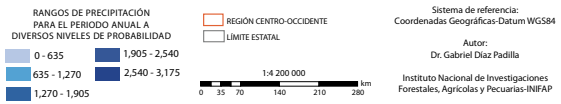


Figura 4. Distribución de la precipitación pluvial al 70, 80 y 90% de probabilidad en la República Mexicana en el periodo anual derivada de los parámetros de escala y forma de la distribución Gamma.

Cálculo e interpretación del SPI aplicado a diferentes escalas de tiempo

Con el objetivo de mostrar parte de los resultados obtenidos en el proceso de cálculo del SPI, aplicado a 543 estaciones que se encuentran en la región Centro-Occidente, a manera de ejemplo, se presentan a continuación los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo del SPI, a las siguiente estaciones climatológicas: Lourdes, San Luis de la Paz en Guanajuato (clave 11043 del Servicio Meteorológico Nacional), (SMN, 2009) y Atexcaco, Hueyapan en Puebla (clave 21011 del SMN).

Dichas estaciones se seleccionaron por estar ubicadas en climas, regiones e incidencia de lluvia contrastantes. Como puede apreciarse en la estación de Atexcaco Hueyapan, llueve nueve veces más que en Lourdes, San Luis de la Paz debido, entre otros factores, a su ubicación geográfica cercana al Golfo de México y por la ocurrencia ocasional de huracanes que afectan las condiciones atmosféricas de dicho municipio del estado de Puebla (Tabla 4).

En lo referente a la precipitación dentro del periodo mayo-octubre se observa que en Lourdes San Luis de la Paz el 85% de la precipitación pluvial ocurre dentro de este periodo (Tabla 5). Cabe señalar que en esta zona ubicada en la cuenca del Río-Laja, solicitan frecuentemente apoyos para la contingencia de sequías atípicas impredecibles y no recurrentes; el último se proporcionó en el año 2009 por parte del Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC), (DOF, 2009).

En Lourdes, San Luis de la Paz y en Atexcaco, Hueyapanel, el 85 y 76% de la precipitación pluvial, se presenta en el periodo de mayo a octubre con respecto

Tabla 4. Estadísticas descriptivas de la variable precipitación anual e información de referencia de las estaciones del SMN: Lourdes y Atexcaco

No. Estación	Estación	Serie historial	Clima	Media	Desviación Estándar	Mediana	Mínimo	Máximo
11043	Lourdes, San Luis de la Paz	27 años (1961-1989)	BS1kw	399.5	128.0	370.6	191.6	707.2
21011	Atexcaco, Hueyapan	33 años (1961-1997)	C(f)	3 705.7	521.6	3 672.0	2 555.0	4 845.0

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de la variable precipitación periodo mayo-octubre e información de referencia de las estaciones del SMN: Lourdes y Atexcaco

No. Estación	Estación	Serie historial	Clima	Media	Desviación Estándar	Mediana	Mínimo	Máximo
11043	Lourdes, San Luis de la Paz	27 años (1961-1989)	BS1kw	340.9	121.0	311.5	155.6	691.1
21011	Atexcaco, Hueyapan	33 años (1961-1997)	C(f)	2 805.9	508.0	2 733.0	1 812.0	3 935.0

a lo registrado en el periodo anual. Dichas estaciones son contrastantes respecto a la precipitación y al tipo de clima, la primera pertenece a un clima BS1kw, semi-árido, templado con temperatura entre 12 y 18° C; la segunda incide en un clima C(f), correspondiente a un clima templado, húmedo con temperatura media anual entre 12 y 18° C; en ambas estaciones constantemente se reportan condiciones de sequía que llegan a impactar negativamente en la producción agropecuaria y forestal, así como en las condiciones ambientales por la incidencia de incendios.

Como ya se mencionó, el SPI indica las desviaciones estándar que se alejan de lo normal en el periodo analizado, en este caso la desviación estándar es de 121 mm de precipitación en la estación de Lourdes, San Luis de la Paz, Guanajuato y 508 mm de precipitación en la estación Atexcaco Hueyapan, Puebla. Estos estadísticos son importantes para la interpretación del SPI, y podrían indicar qué cantidad ha dejado de caer o cayó en exceso, para un cierto periodo de análisis y para un cierto año. Cabe destacar que ambas estaciones se ajustan a una distribución Gamma de dos parámetros, por lo que los cálculos de SPI pueden realizarse apegándose a los supuestos metodológicos para la estimación de dicho índice.

En la Figura 7 se muestran en forma gráfica los resultados obtenidos al aplicar el algoritmo del SPI para los periodos de seis y doce meses. La interpretación de la gráfica puede hacerse considerando las variables de intensidad, duración, periodicidad y año de ocurrencia del evento.

En la Figura 5 se observa que en la estación de Lourdes, San Luis de la Paz, se vieron siete periodos de sequía y cuatro de humedad, destacando 1971 con una condición extremadamente húmeda, en tanto que 1962 registró una condición extremadamente seca. En cuanto a la duración, se observa que los periodos húme-

dos contaron con una duración aproximada de cuatro años; mientras que para el periodo seco se observó que desde 1979 a 1989 se ha venido acentuando considerablemente dejando un registro de diez años con condiciones moderadas de sequía.

Es interesante observar (Figura 5), como la presencia de la sequía se va haciendo cada vez más frecuente, no así de periodos húmedos.

Al igual que en el caso de estudio de la estación Lourdes, San Luis de la Paz en Guanajuato, se interpretan los valores de SPI, presentados en la Figura 8, para las escalas de tiempo de seis y doce meses.

Se observó que se han presentado condiciones de sequía, siendo la más fuerte la que se presentó entre 1961 a 1965, posteriormente se presentaron condiciones menos severas en 1967, 1987 y 1994, en tanto que las extremadamente húmedas se presentaron en 1978 y 1993. Cabe señalar que esta estación muestra con mayor frecuencia condiciones de humedad, los cuales han venido a comportarse de forma inversa a partir de 1994.

Por último, y en términos generales, es importante hacer mención que la frecuencia de la sequía en los periodos de seis y doce meses se hace cada vez más presente en a finales del periodo de observación, y mucho más ausentes los de humedad (Figura 6).

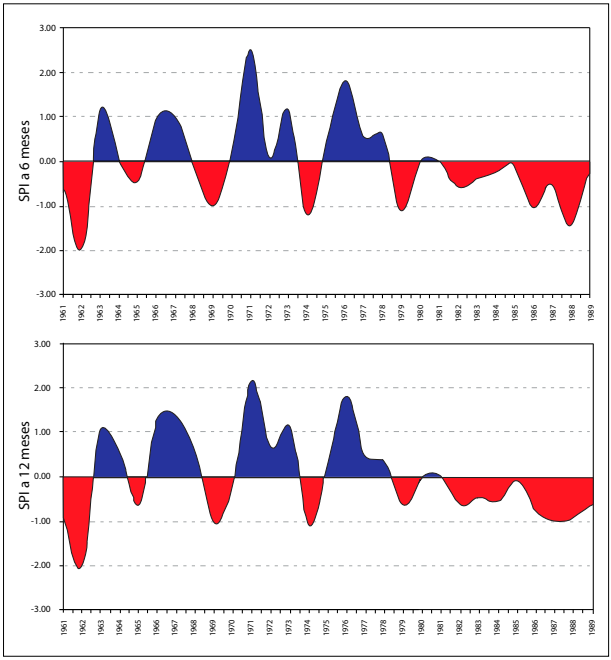


Figura 5. Valores del SPI (periodo 1961-1989) estación climatológica Lourdes, San Luis de la Paz, Guanajuato.

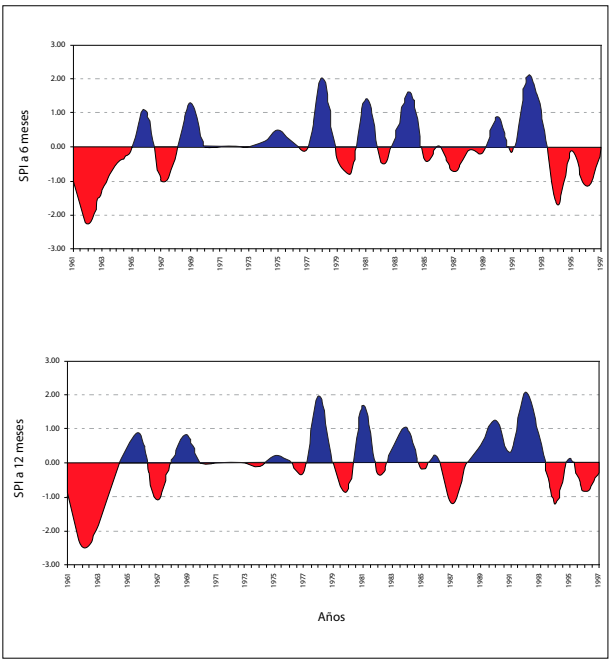


Figura 6. Valores del SPI (periodo 1961-2003) la estación climatológica Atexcaco, Hueyapan, Puebla.

Con los datos anteriores se detectó la frecuencia y la intensidad de los periodos de sequía y excesos de humedad, ocurridos durante las siembras de temporal que normalmente se establecen durante el mes de junio. Se puede apreciar que 1962 se clasifica como de sequía extrema, en tanto que 1978 y 1992, como los años de mayor precipitación ocurrida y acumulada durante este periodo.

Respecto a la asociación de sequías extremas con años Niño o Niña, se puede indicar que 1982 fue uno de los años más desastrosos de la agricultura en México, y como se aprecia en la gráfica, el valor del SPI captó de forma ligera la presencia del fenómeno en dicho año, sin embargo, la sequía de 1994 no se reporta como evento Niño o Niña, por lo que se requerirían estudios más profundos al respecto.

Lo que es importante destacar es la alternancia de años secos seguidos de años húmedos y húmedos seguidos de secos que al parecer es un patrón de comportamiento de la precipitación en estas zonas, los cuales han venido de más a menos en los últimos años.

Magaña y Morales (2004) señalan que el evento Niño más intenso fue el ocurrido entre 1991 y 1995, el cual fue registrado perfectamente por el SPI como sequía extrema.

Incertidumbre climática y política pública

En la definición e implementación de políticas públicas dirigidas a promover el desarrollo rural sustentable y mejorar las condiciones de vida de los productores del campo mexicano, es necesario, como ha quedado de manifiesto en esta investigación, cuantificar y delimitar el riesgo climático. Esto significa considerar los diagnósticos y pronósticos climáticos realizados para diferentes variables atmosféricas que impactan el desarrollo y la productividad de los cultivos, la conservación de los recursos naturales y el bienestar social en general.

Este esquema de análisis ayudaría a evitar impactos negativos significativos que redundarían en elevados costos económicos y sociales para el país. Tal es el caso de lo ocurrido a principios de los años ochenta en el sector agropecuario cuando se implementó uno de los programas más ambiciosos del agro mexicano; el Sistema Alimentario Mexicano (SAM) de los Programa de Desarrollo Regional PIDER y COPLAMAR) que promovió, principalmente, la siembra de maíz por su importancia económica, alimentaria y social.

En la Figura 7 pueden apreciarse las fluctuaciones de las superficies sembradas de maíz de temporal en el periodo comprendido de 1980 a 2005, donde sobresalen por su superficie sembrada los años 1981, 1982 y 1983.

La distribución espacial del SPI durante 1982 demostró que más del 50% de la superficie nacional se vio afectada por sequía severa demeritando las bondades hipotéticas de los programas nacionales promulgadas en esa época (Figura 8).

Las causas fueron desastrosas para el país como se demuestra en la Figura 9, donde se aprecia que cerca del 40% de la agricultura de temporal sembrada con maíz fue declarada como siniestrada a causa, principalmente, de la intensa sequía.

Tomando la experiencia anterior como ejemplo, es posible concluir que para el sector agropecuario deben ser considerados distintos escenarios climáticos en

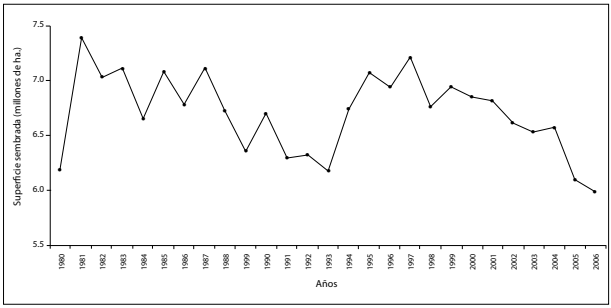


Figura 7. Registro histórico de superficie sembrada de maíz de temporal en México.

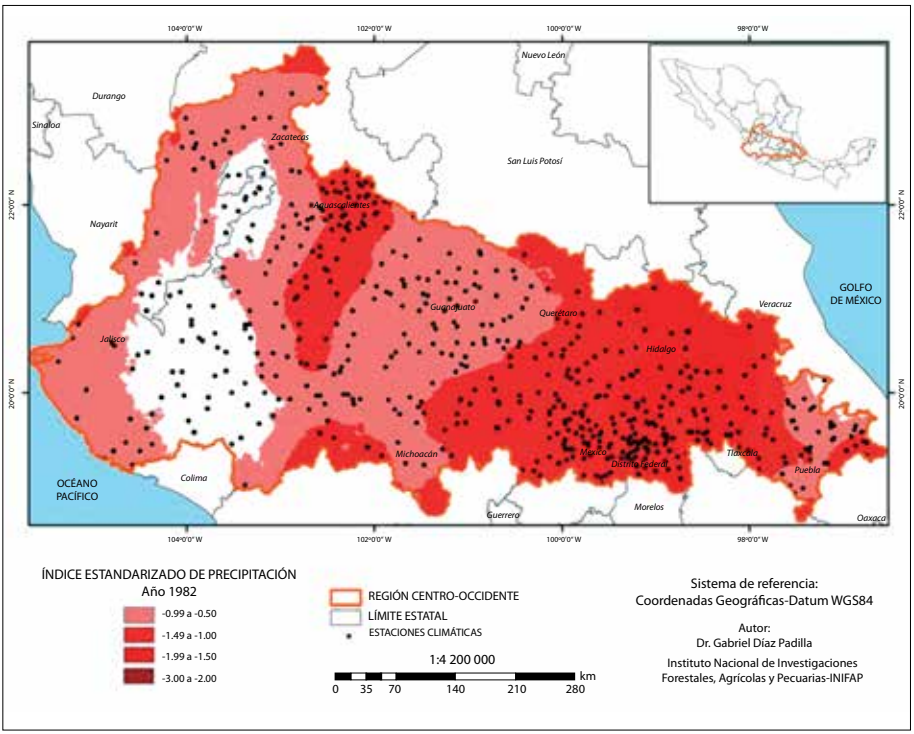


Figura 8. Índice Estandarización de Precipitación, bajo condiciones del fenómeno El Niño de 1982.

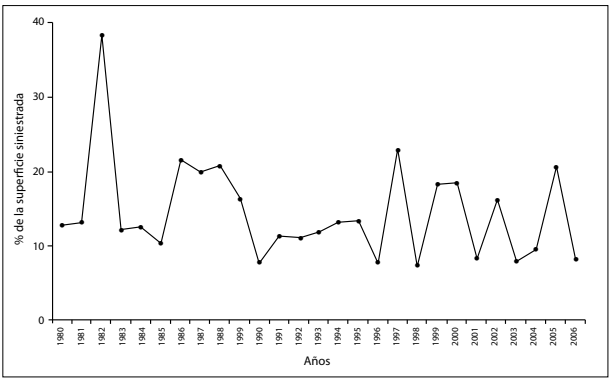


Figura 9. Registro histórico de superficie siniestrada de maíz de temporal en México.

aras de obtener una apreciación objetiva de las posibilidades de éxito, de cursos de acción con impacto social y adecuar la toma de decisiones en consecuencia.

Como ya se apuntó anteriormente, se realizó la interpolación espacial de los valores de SPI a nivel nacional para el periodo 1961-2003, y para dos ciclos de temporalidad: anual y mayo-octubre. La serie histórica de dichos mapas puede consultarse en el sitio del Laboratorio de Agromapas Digitales (LADIGS, 2010), a manera de ejemplo se presentan algunos mapas correspondientes a condiciones normales, así como en los que incidió algún fenómeno atmosférico natural como El Niño (Figura 8), La Niña y Normal (Figuras 10 y 11, respectivamente) donde se puede apreciar el impacto espacial de dichos eventos.

En la Figura 10 se observa que la influencia del fenómeno de La Niña de 1976 mostró cierta influencia en la región sur-oeste del estado de San Luis Potosí y sur de Zacatecas. Otra zona que se vio afectada de forma moderada es la que

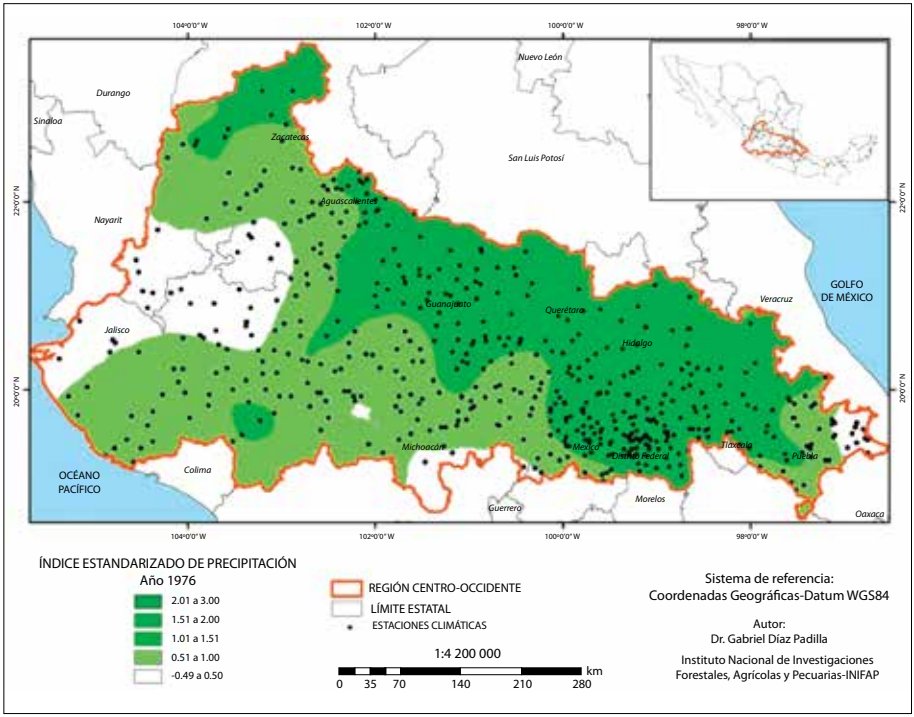


Figura 10. Índice Estandarización de Precipitación, bajo condiciones del fenómeno La Niña de 1976.

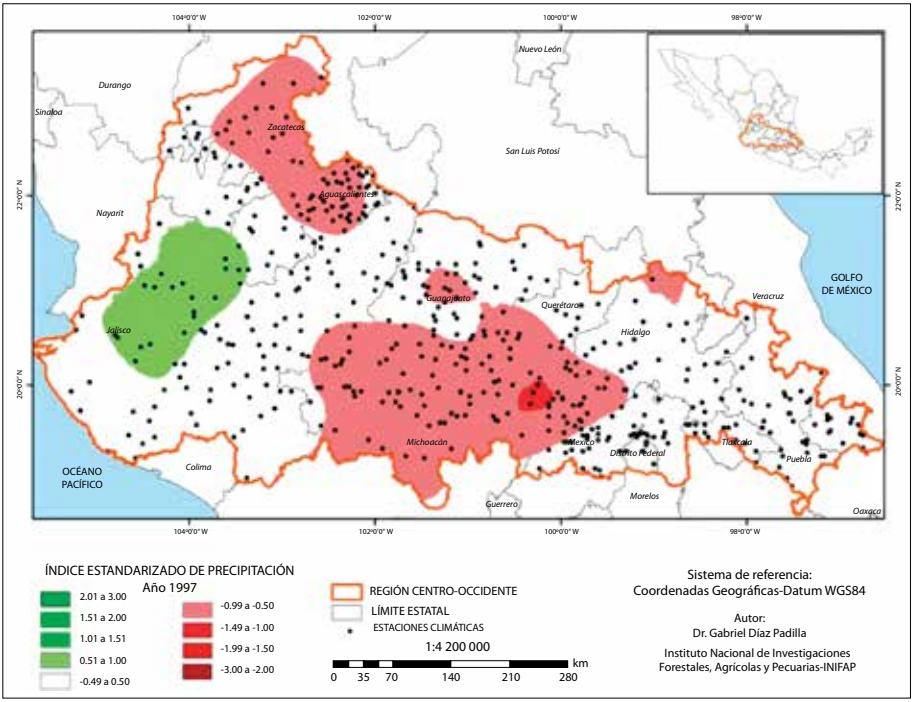


Figura 11. Distribución espacial Índice Estandarización bajo condiciones Normales en 1997.

comprende el Distrito Federal, Hidalgo, Estado de México, Puebla, Tlaxcala, Querétaro y Guanajuato.

Por último, en la Figura 11 se observa que para 1997 no se presentó una marcada influencia por los fenómenos de El Niño o La Niña. Sólo los estados de Michoacán, Guanajuato y parte del Estado de México, así como Querétaro, presentan sensibles déficits de precipitación. En tanto que en Jalisco, en una parte de su territorio, se registraron pequeños cambios de precipitación los cuales se encontraron por encima de los comportamientos normales para ese año.

Conclusiones

La información anterior proporciona un reflejo del comportamiento histórico de los eventos de sequía y humedad en México, y sin duda es un insumo relevante para la modelación de estos eventos. Dentro de las variadas utilidades que po-

drían dársele a los mapas de probabilidad, destaca la de ubicar zonas de riesgo, por ejemplo, las compañías de seguros agrícolas, podrían utilizarlos para decidir si es conveniente o no asegurar cierto cultivo, con base en sus demandas de precipitación y probabilidad de incidencia señalada en el mapa. Otro de los usos podría ser el cálculo de la capacidad de almacenamiento de una obra hidráulica, y las probabilidades de que llegue a su máxima capacidad.

Otro aporte significativo logrado con los anteriores resultados, es la delimitación espacial que podría llevar a regionalizar su incidencia y no hablar de generalidades, como en algunas ocasiones se hace en nuestro país con el propósito de que los municipios y productores sean acreedores a un recurso económico. Es importante destacar que con el advenimiento de las estaciones climatológicas automatizadas es posible elaborar mapas del comportamiento del SPI, que podría utilizarse para alertar sobre la incidencia de estos fenómenos y delimitar su área de impacto; herramienta que ya se está utilizando en algunos países con los propósitos indicados.

Capítulo 8. Variabilidad climática e impactos hidrológicos y sociales

Ignacio Sánchez Cohen
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera

Gabriel Díaz Padilla
Campo Experimental Cotaxtla
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Miguel Á. Velásquez Valle
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua – Suelo – Planta – Atmósfera

Rafael Alberto Guajardo Panes
Campo Experimental Cotaxtla
Centro de Investigación Regional Golfo Centro
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Introducción

Los cambios en los patrones climáticos han sido documentados de manera consistente a partir de que se empezaron a sentir los efectos en varias actividades en la Tierra. De hecho, la Administración del Espacio de los Estados Unidos de Norte América refiere sus bases de datos para uso de los modelos de simulación del cambio climático, a partir de 1958, fecha en que se empezó a medir de manera sistemática la concentración de gases en la atmósfera (Sellers y McGuffie, 1987). Hace aproximadamente cien años, la quema de combustibles fósiles se incrementó en aras de proveer bienes y servicios a una población en flagrante crecimiento; así, a partir de la segunda guerra mundial este proceso se intensificó provocando expulsiones de grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, entre otros gases, ocasionando lo que hoy se conoce como efecto de invernadero (mecanismo por el cual la radiación solar de onda larga queda "atrapada" en

la atmósfera calentando ésta en un ciclo permanente (Sánchez Cohen, 2005). Los efectos que este proceso ha tenido en la vida en la Tierra son de grandes proporciones al afectar ciclos naturales como el balance hidrológico, habiéndose registrado grandes sequías e inundaciones de magnitudes insospechadas. Uno de los impactos de esta situación ha sido el movimiento masivo de gente que por razones de cambios bruscos en los patrones climáticos que han afectado adversamente sus condiciones de vida, han sido obligados a abandonar su estilo de vida cotidiano en búsqueda de regiones con mayor estabilidad climática; su emigración es temporal o permanente en función del daño causado a sus vidas y patrimonio (Afifi y Warner, 2007). En el México reciente, acorde a Anzaldo y Barrón (2009), se pueden distinguir tres etapas de movimientos masivos: el primero de 1900 a 1940 que se caracterizó por una fuerte migración rural y un crecimiento urbano relativamente lento; la segunda, de 1940 a 1980 de tránsito acelerado al predominio urbano con altos niveles de concentración; y la tercera, de 1980 a la actualidad, de crecimiento urbano más moderado y diversificado al interior del país.

Cuando la emigración es forzada, también se utiliza el término "refugiados ambientales", adicionalmente, si las causas de la emigración son debidas al calentamiento global o a desastres ambientales, se utiliza el término "refugiados climáticos" (Oswald, 2007a; Borras, 2006). Desafortunadamente el tema de los refugiados por causas climáticas ha recibido poca atención hasta recientemente en que las Naciones Unidas ponderó de manera explícita la importancia del tema y las consecuencias de los países que son fuente de emigrados y aquellos que reciben a esta población (VWWF, 2009).

El estudio de impacto en la región Centro-Occidente del país adquiere relevancia en virtud del alto porcentaje de individuos que emigran por causas relacionadas con el clima, como se detalla en este documento. En los estados del país afectados por esta condición, la agricultura aparece como fuente preponderante de ingresos principalmente Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Hidalgo y Puebla. Es de esperarse entonces un fuerte impacto en el ingreso familiar ante las vicisitudes climáticas.

Impactos sociales

La emigración rural ha sido una estrategia usada por los productores rurales para mitigar los efectos climáticos adversos en sus actividades primarias (Figura 1; Conde *et al.*, 2006). El factor climático no es el único causal de la emigración ru-

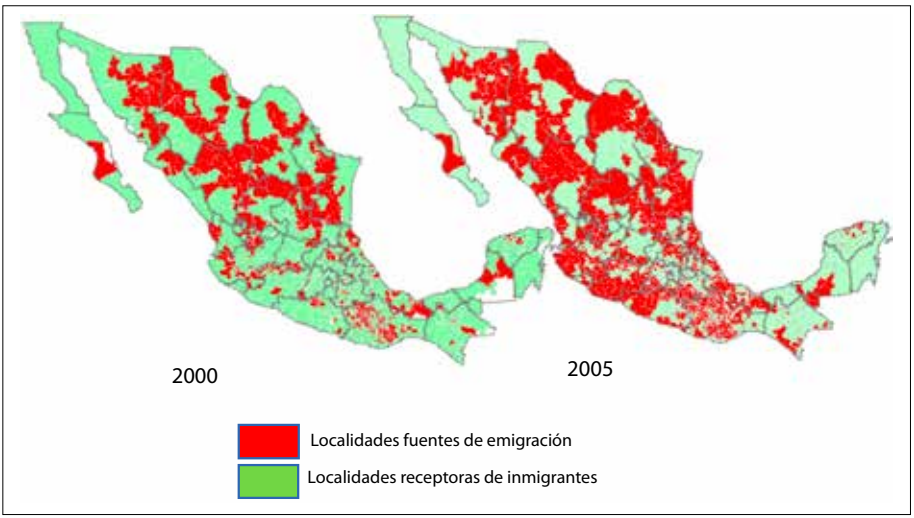


Figura 1. Dinámica migratoria en México (adaptado de Oswald, 2009).

ral, sino que forma parte de una intricada correlación de variables de orden político, social y económico además de ecológico. El INEGI (2005) reportó que el 50% de las emigraciones hacia Estados Unidos es por causas laborales y familiares; el 76% de estas emigraciones lo constituyen ciudadanos con edad de 15 a 34 años (59.4% hombres y 40.6% mujeres) lo que representa la fuerza laboral efectiva para el país; desafortunadamente el 83.4% de estos ciudadanos no regresa a su lugar de origen. Como ha sido reportado por varios investigadores (Kates, 1985; Kaperson *et al.*, 1995), la vulnerabilidad no es una condición exclusivamente climática, sino de una interacción entre clima y sociedad (Sánchez Cohen *et al.,* 2008a).

Como complemento a la Figura 1, se puede asentar que la migración intra estatal (movimiento dentro del mismo estado) al año 2000 era dominada por los estados de Nuevo León, Distrito Federal y el Estado de México, con lo que respecta a la migración estatal (migración estado-estado), el Distrito Federal y los estados de México y Veracruz presentaron los más altos porcentajes (INEGI, 2005).

Acorde a Oswald (2007a) y Serrano (2004), el proceso de emigración no es un hecho reciente, los movimientos masivos de población datan desde la civilización Maya donde, durante el holoceno, esta cultura fue afectada seriamente por variaciones climáticas naturales acompañada de un crecimiento poblacional importante, conflictos locales y regionales y el proceso de emigración. Durante el Antropoceno, el cuarto país con la más alta biodiversidad es amenazado por procesos antropogénicos con repercusiones en la naturaleza y sociedad, tales

como la emigración rural-urbana, pobreza, urbanización caótica, emigración internacional ilegal, integración inequitativa en el mundo del mercado mediante tratados de libre comercio (TLC), desertificación, huracanes, inundaciones, sequías, movimientos de Tierra, pérdida de biodiversidad, incremento en el nivel del mar y desastres inducidos por el hombre.

En la historia reciente el anexo de parte del territorio mexicano a los Estados Unidos de Norte América (1847), el uso de la tierra en el norte cambió de un estatus feudal a un monopolio capitalista, lo que contribuyó a su rápido desarrollo junto con la introducción del ferrocarril que incrementó la comunicación en la unión americana. De esta manera, el comercio, el incremento en el circulante y la explotación intensiva de la tierra fueron las principales características que impulsaron la emigración de la parte central y sur del país hacia el norte. Las primeras leyes que regulaban la emigración emergieron durante 1917 y en 1929 la crisis económica mundial provocó que muchos inmigrantes fueran regresados al país, iniciando así un ciclo de ir y venir que perdura hasta la fecha, mismo que ha sido agravado por causas climáticas como se asentó líneas arriba.

Acorde a estimaciones sobre emigración para México, existen 22 millones de habitantes de origen mexicano en los Estados Unidos, lo que equivale al 8% de la población de este país y al 22% de la de México; detrás de estos números se esconde una compleja interrelación de variables difíciles de cuantificar (Delgado y Rodríguez, 2001). Sin embargo, las ciencias sociales se han encargado de estudiar estas relaciones pudiendo agrupar las causas de la emigración en dos factores esenciales: *a)* aquellos que empujan al emigrante a abandonar su lugar de origen, y *b)* aquellos que atraen al emigrante a moverse a otra área (Bauder, 2006). Dentro de los primeros destacan el trabajo, pobreza y factores ambientales entre los que se encuentra la sequía; en los segundos se ubican más y mejores servicios, estándar de vida, mejor clima y estabilidad económica. Es de notarse que en ambas categorías aparece el clima coma causa preponderante de la emigración en varios países. También es importante recalcar que la emigración mexicana hacia Estados Unidos ha sufrido modificaciones en cuanto a su magnitud, intensidad, modalidades y características, lo que ha abierto un nuevo ciclo en la dinámica del fenómeno (Letite *et al*., 2009).

En este contexto y en relación con la emigración del medio rural en México, los estados que aportan el mayor número de emigrantes hacia los Estados Unidos en orden descendente y su respectivo índice de pobreza humana (IPH, Palacios, 1997) son: Zacatecas (8.2), Guanajuato (9.3), Michoacán (10.5), San Luis Potosí (12.1), Durango (6.1), Hidalgo (12.1), Jalisco (7.9), Oaxaca (18.3), Puebla (12.1), Veracruz (15.1) y México (11.6). De estos emigrantes, el 59.4 son hombres y el

40.6 mujeres (INEGI, 2005). Es pertinente recalcar que un IPH mayor a nueve se califica como severo, entre cinco y nueve se califica como moderado y menor de cinco, leve.

El índice de intensidad migratoria guarda también relación con el índice de marginalidad como lo muestra la Figura 3. El índice de marginalidad se ubicó de acuerdo con el número de AGEB (áreas geoestadísticas básicas, acorde a la nomenclatura del INEGI) que caen en las categorías de alto-muy alto. Este índice involucra tanto las AGEB urbanas como rurales. Las primeras las delimitan una parte o el total de una localidad de 2 500 habitantes o más y las AGEB rurales enmarcan una superficie cuyo uso predominante de suelo agropecuario y en ellas se encuentran distribuidas las localidades menores a 2 500 habitantes (INEGI, 2005).

En la Figura 3 la intensidad migratoria se refiere a la relación emigración/migración por lo que el índice refleja la cantidad de individuos que se van por

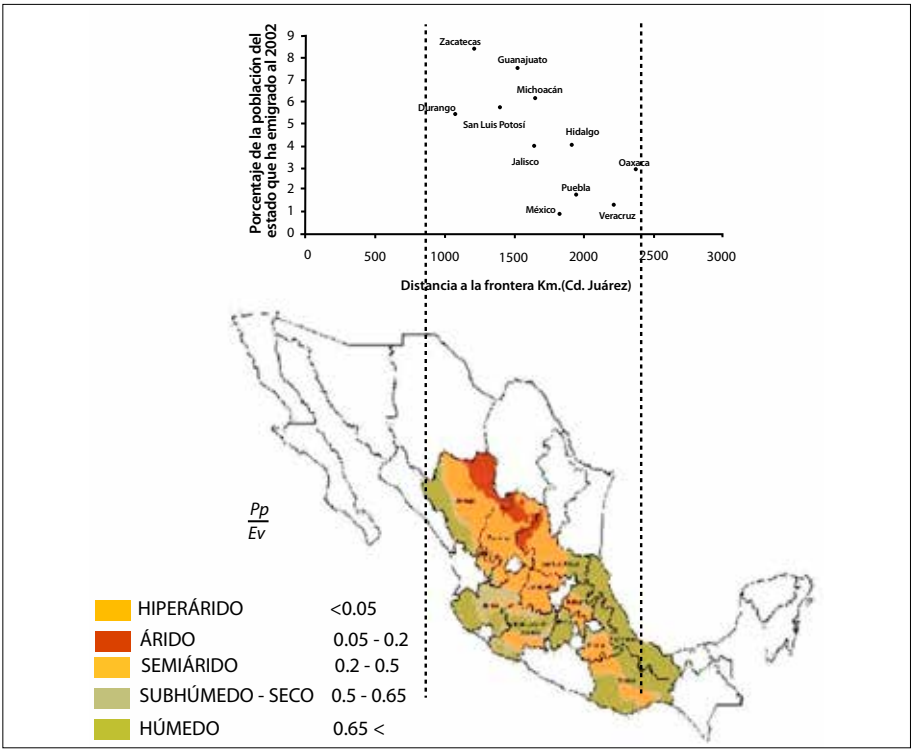


Figura 2. Principales estados fuente de emigrantes y relación con el clima predominante (Sánchez Cohen *et al.,* 2008b).

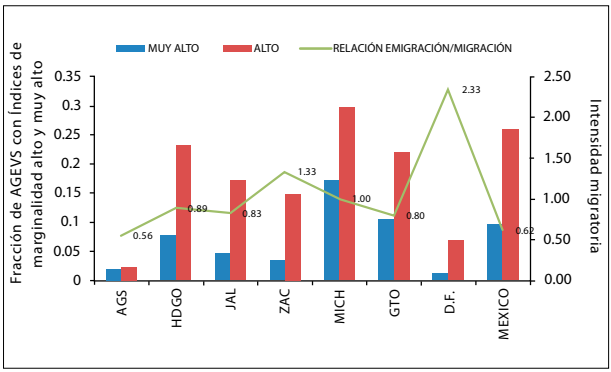


Figura 3. Proporción de AGEB con índices de marginalidad alto-muy alto e intensidad migratoria para los estados de la región Centro-Occidente (realizado por los autores con datos de INEGI-CONAPO).

cada individuo que llega; por ejemplo, en el Distrito Federal emigran 2.33 personas por cada persona que llega, en Zacatecas esta proporción es de 1.33 en Aguascalientes por cada individuo que llega se van 0.56, es decir, tiene un balance positivo al igual que los estados, Hidalgo, Jalisco, Guanajuato y el Estado de México donde es más la población que llega que la que se va. Como lo muestra la Figura 2, esto tiene un vínculo con el clima que va más allá de lo casuístico así, para el caso de Aguascalientes, el 71% de su área es clima templado-semi seco, en Hidalgo el 30.48% del su territorio está en la categoría de clima semi cálido y el 61% templado sub-húmedo semi seco. En Jalisco, el 23.11 de su territorio es de clima cálido sub-húmedo y el 44.65 es semi cálido con un régimen de lluvias en verano. Por otro lado, Zacatecas presenta un 44% de su territorio bajo un clima templado semi seco y un 20% en un clima templado seco. Michoacán el 34.09 del territorio está bajo un clima cálido sub-húmedo y el 20.59 en un clima semi cálido con lluvias en verano. Guanajuato presenta el 32.78% de su territorio bajo condiciones de clima semi cálido, 30.87% templado semi seco y 23.72% templado sub-húmedo. El Distrito Federal, el 60% es templado sub-húmedo con un régimen de lluvias en verano y un 27% con clima semi frío sub-húmedo. Una situación similar prevalece en el Estado de México.

De acuerdo con estas condiciones climáticas y ante un escenario de perturbaciones en los patrones históricos de precipitación y temperatura, es de esperarse también la emigración de enfermedades y su intensificación al afectar a poblaciones desnutridas y carentes de reservas de agua. También, la categoría de refugiados ambientales tiende a incrementar por causa de los eventos extremos sean sequías prolongadas o inundaciones. Esta situación tiene impactos tanto en el sitio fuente de emigrantes como en aquel receptor. En una visión global, esta situación ha dado paso al concepto de Hidro-diplomacia en donde los países

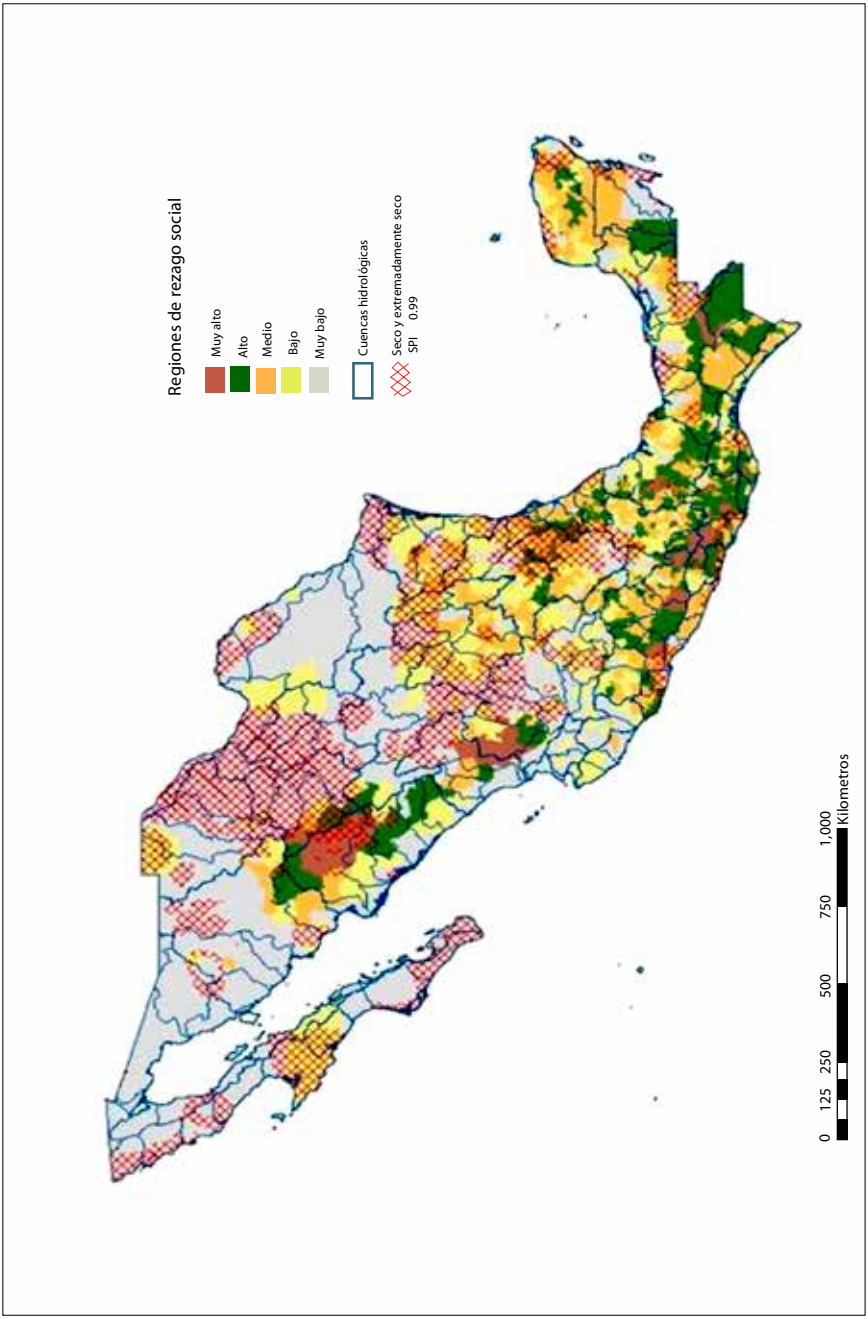


Figura 4. Rezago social, condiciones de sequía (SPI ≤ -0.99) y cuencas hidrológicas (adaptado de Sánchez Cohen *et al.*, 2009a).

sientan plataformas de discusión relativo a los refugiados ambientales (Oswald, 2007b). La población más afectada por los embates climáticos es aquella más vulnerable por los aspectos antes anotados. La Figura 4 muestra un mapa del grado de rezago social y las condiciones de sequía para el país; se considera sequía cuando el índice estandarizado de precipitación (SPI) es de ≥ -0.99. En términos generales el SPI mide el número de desviaciones estándar que las series de precipitación se alejan del promedio histórico; un valor positivo indica evento húmedo y uno negativo evento seco. Una explicación más amplia del SPI puede ser encontrada en Sánchez Cohen *et al.* (2008b; Giddings y Soto, 2005).

De la Figura 4 se pueden notar los sitios en donde converge un alto grado de rezago social y sequía. Así, en la región Centro-Occidente existe un gradiente de rezago social que va desde medio, en la parte norte centro, hasta alto hacia el sur oeste y sur-este; en relación con las condiciones de sequía, la mayor parte de la región se encuentra bajo un SPI ≤ -0.99 a excepción de la parte central que se ha convertido en receptora de inmigrantes (Figura 1).

Impactos hidrológicos

En México los cambios climáticos esperados en la precipitación y la temperatura afectarán los componentes y los procesos asociados al ciclo hidrológico. La precipitación es la principal variable en el balance de agua. Cualquier cambio en la precipitación tiene importantes implicaciones en el ciclo hidrológico y en la disponibilidad de los recursos hídricos con fines de abastecimiento de las zonas de riego. En la Figura 5 se puede observar el impacto en la producción de escurri-

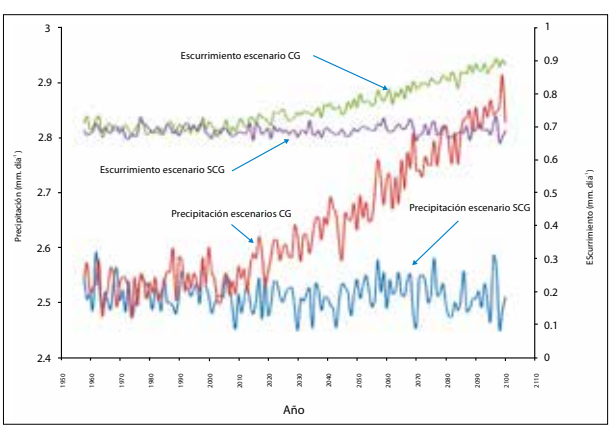


Figura 5. Impacto del calentamiento global en la producción de escurrimiento (adaptado de Sánchez Cohen *et al.*, 2009b).

miento en México; bajo escenario de cambio climático se espera un incremento en precipitación al año 2050, con el consecuente incremento en la producción, escurrimiento influenciado también por el cambio en el uso del suelo que se pronostica a ese año.

Es importante puntualizar que las variaciones estacionales son de mayores magnitudes que aquéllas que se observan de manera anual; así, la estacionalidad de la precipitación es de gran importancia en los procesos hidrológicos como el escurrimiento.

La variabilidad hidrológica en una cuenca es influenciada por la variación temporal y espacial de la precipitación. El impacto del cambio climático en la agricultura dependerá en gran medida de los cambios potenciales en la precipitación y en la duración del ciclo fenológico de los cultivos (Sivakamar, 1992). Una reducción en la precipitación sin duda intensificará la explotación de los acuíferos, sobre todo en zonas áridas con alta demanda de agua de sectores no agrícolas (Ojeda *et al.,* 2007).

La herramienta fundamental para poder realizar planeación y diseño de estrategias de mitigación y adaptación, es la modelación matemática de los procesos hidrológicos y el estudio de sus interrelaciones con variables sociales y económicas.

Modelación de procesos

Los procesos hidrológicos tienen como variable principal de entrada a la precipitación y como variable de decisión a la cantidad de agua vía escurrimiento, infiltración y evapotranspiración principalmente. La Figura 6 muestra un modelo conceptual para la evaluación de impacto dada una perturbación climática; integra bases de datos, creación de escenarios, evaluación de éstos mediante procesos de modelación hasta la evaluación de impacto y, en consecuencia, diseño de estrategias de mitigación y/o adaptación.

Utilizando cinco modelos de Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC: CCSM30, GFDLCM20, GFDLCM21, GISSEH y UKHADCM3), se generó para la región Centro-Occidente la variación espacial de la temperatura y precipitación para dos umbrales: 2020 y 2050 bajo el escenario A1B del IPCC. Cabe mencionar que la precisión de estos modelos es de 2.5 x 2.5°. Dentro de la familia de escenarios A1, el subgrupo B caracteriza diferentes usos de combustibles fósiles; así, el subgrupo B se caracteriza por un uso balanceado de alternativas. El grupo A1 asume un crecimiento económico rápido, un crecimiento poblacional

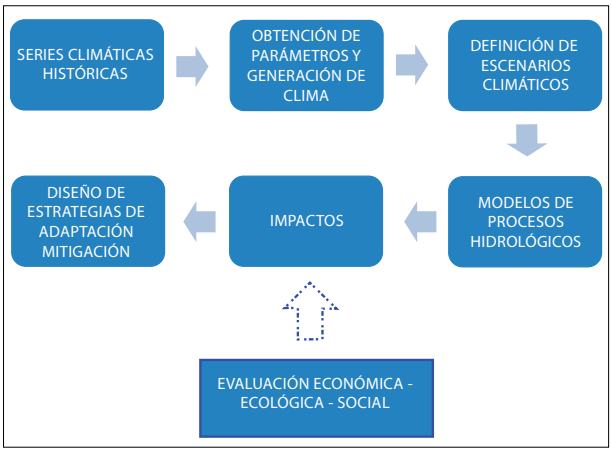


Figura 6. Modelo conceptual para el análisis de impacto por concepto de alteraciones a los patrones de clima.

que alcanza su máximo a mediados de siglo y declina posteriormente y una introducción rápida de nuevas tecnologías (IPCC, 2009; Wigley, 2008). Los resultados se muestran en las siguientes Figuras (7-10).

Como se puede observar en las anteriores figuras, no se esperan incrementos en precipitación pluvial y en algunos lugares se esperarían sequías. Esto concuerda con diversos estudios al respecto. Por otro lado, la Figura 11 muestra la relación entre la precipitación pluvial y la temperatura para el escenario A1B para el meridiano 101°25' en el gradiente del polo norte al ecuador.

De la Figura 11 se puede notar la tendencia de incrementos en temperatura donde son mayores en el polo y decrecen hacia el paralelo 40° latitud norte; los incrementos de precipitación relacionados a este gradiente de temperatura son muy bajos o incluso pronostican sequía; ente los paralelos 29° y 45° de latitud Norte, se esperarían sequías aunadas a un incremento de temperatura promedio anual

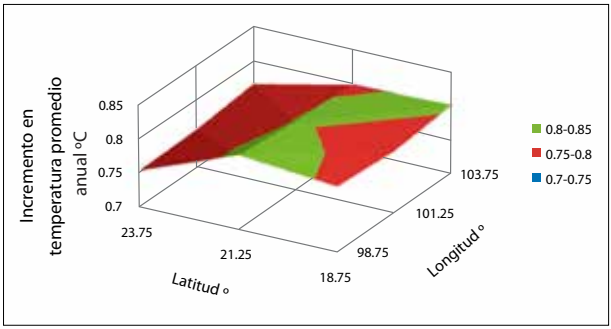


Figura 7. Gradiente del cambio de temperatura promedio anual al 2020 en la región Centro-Occidente del país. Promedio de cinco modelos del IPCC. Escenario base "A1B".

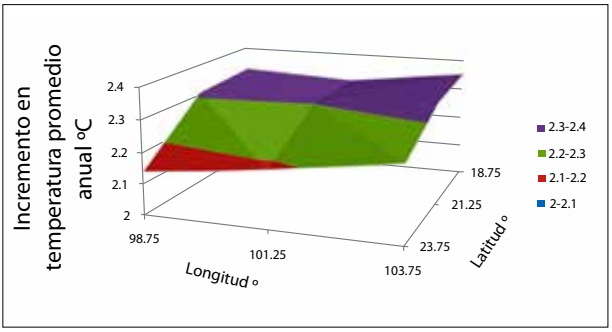


Figura 8. Gradiente del cambio de temperatura promedio anual al 2050 en la región Centro-Occidente del país. Promedio de 5 modelos del IPCC. Escenario base "A1B".

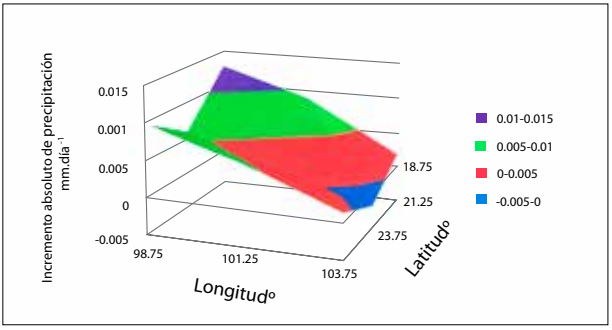


Figura 9. Incremento de precipitación en el gradiente al 2020 en la región Centro-Occidente del país. Promedio de cinco modelos del IPCC. Escenario base "A1B".

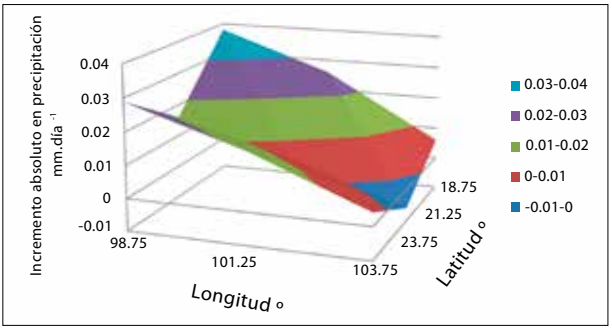


Figura 10. Incremento de precipitación en el gradiente al 2050 en la región Centro-Occidente del país. Promedio de cinco modelos del IPCC. Escenario base "A1B".

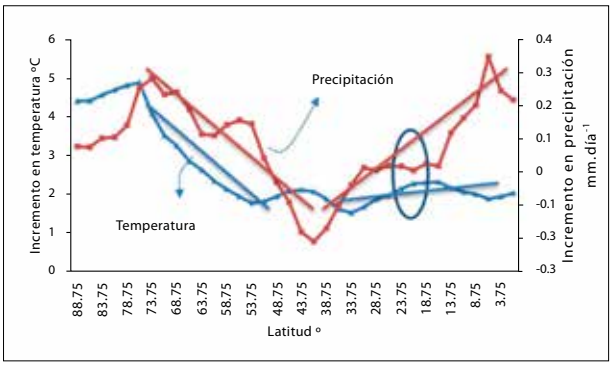


Figura 11. Relación entre la precipitación pluvial y la temperatura esperada en el gradiente latitudinal tomando como base el meridiano 101°25'. La elipse encierra las coordenadas de la región Centro-Occidente del país. Escenario A1B al 2050.

de 2° C. A partir del paralelo 29° y hasta el ecuador, se espera un incremento de temperatura de 2 y hasta 5° C con déficit de precipitación. Para la región Centro Occidente (elipse en la figura), se esperan incrementos en temperatura en un rango de 2 a 2.5° C con decrementos en la tasa de precipitación promedio diaria.

Una visión global

La situación climática de la región en estudio no es exclusiva de los procesos locales ni tiene su origen *in situ* (el efecto se refleja en el balance hidrológico local y las prácticas utilizadas en los procesos productivos), más bien obedece a una intrincada correlación de variables físico-climáticas plasmadas en los modelos de circulación general (Hansen *et al.,* 1983). Como se ha asentado anteriormente, la región padecerá de déficit de precipitación con un incremento en temperaturas. Esta situación traerá como consecuencia un déficit de humedad en el suelo con repercusiones en la agricultura de temporal (Figura 12).

Las condiciones iniciales y de frontera para obtener el mapa de la Figura 12 son: concentración inicial de CO_2 de 315.4 ppm (año 1958) con un incremento lineal de 0.5 ppm por año hasta el 2000 a partir del cual se adicionó un incremento exponencial del 1% por año hasta el 2100 provocando que se duplique la cantidad inicial de CO_2 en el 2062. La figura solo muestra el periodo 2010-2019.

Aunado al déficit de humedad, y dados los incrementos en temperatura, la evaporación se afectará llegando a obtener tasas de hasta 6 mm diarios promedio para la región Centro-Occidente del país. Este es un valor elevado si se considera que las tasas promedio de evaporación en la región son de 2 a 4 mm diarios (Figura 13).

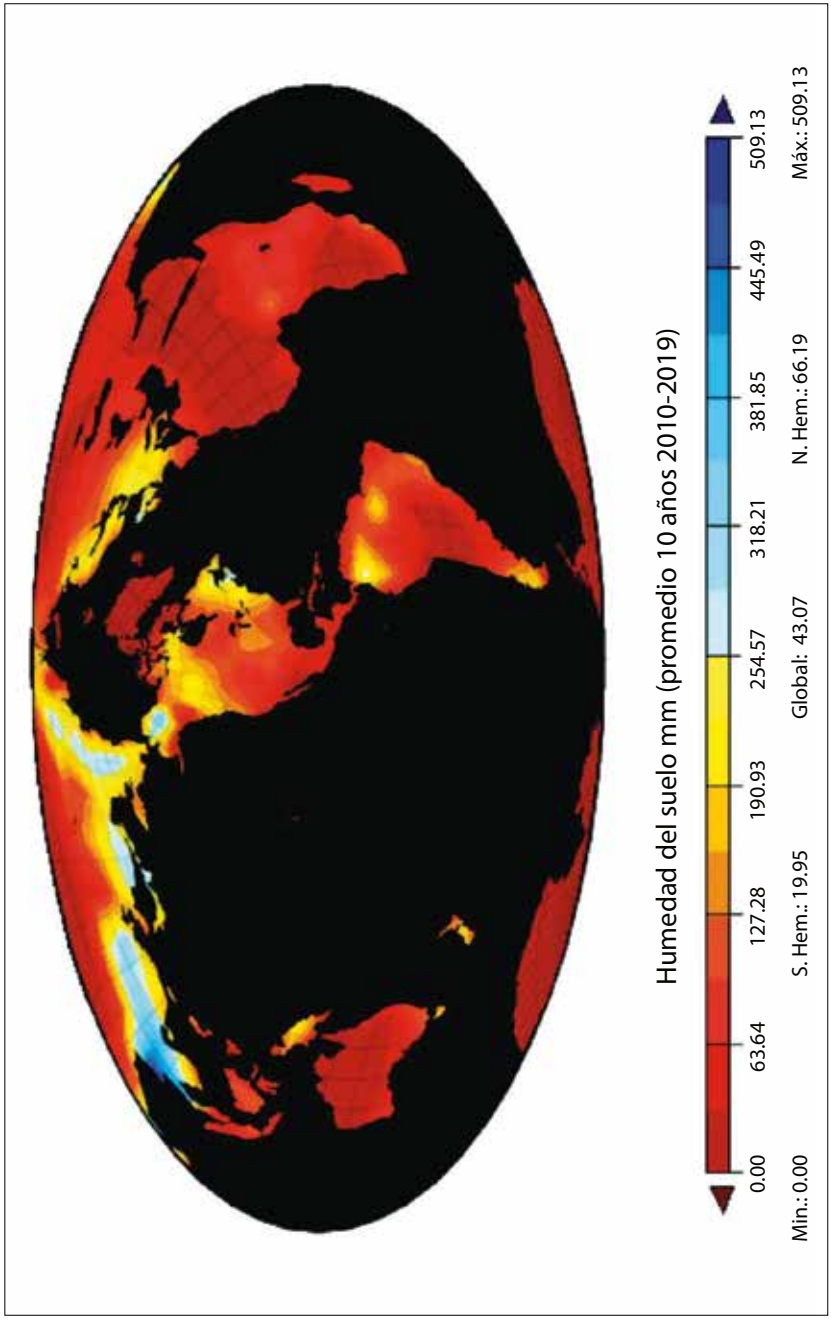


Figura 12. Contenido promedio de humedad en el suelo para los próximos diez años a nivel global. Obtenido por los autores con el modelo EdCGM3 de la NASA.

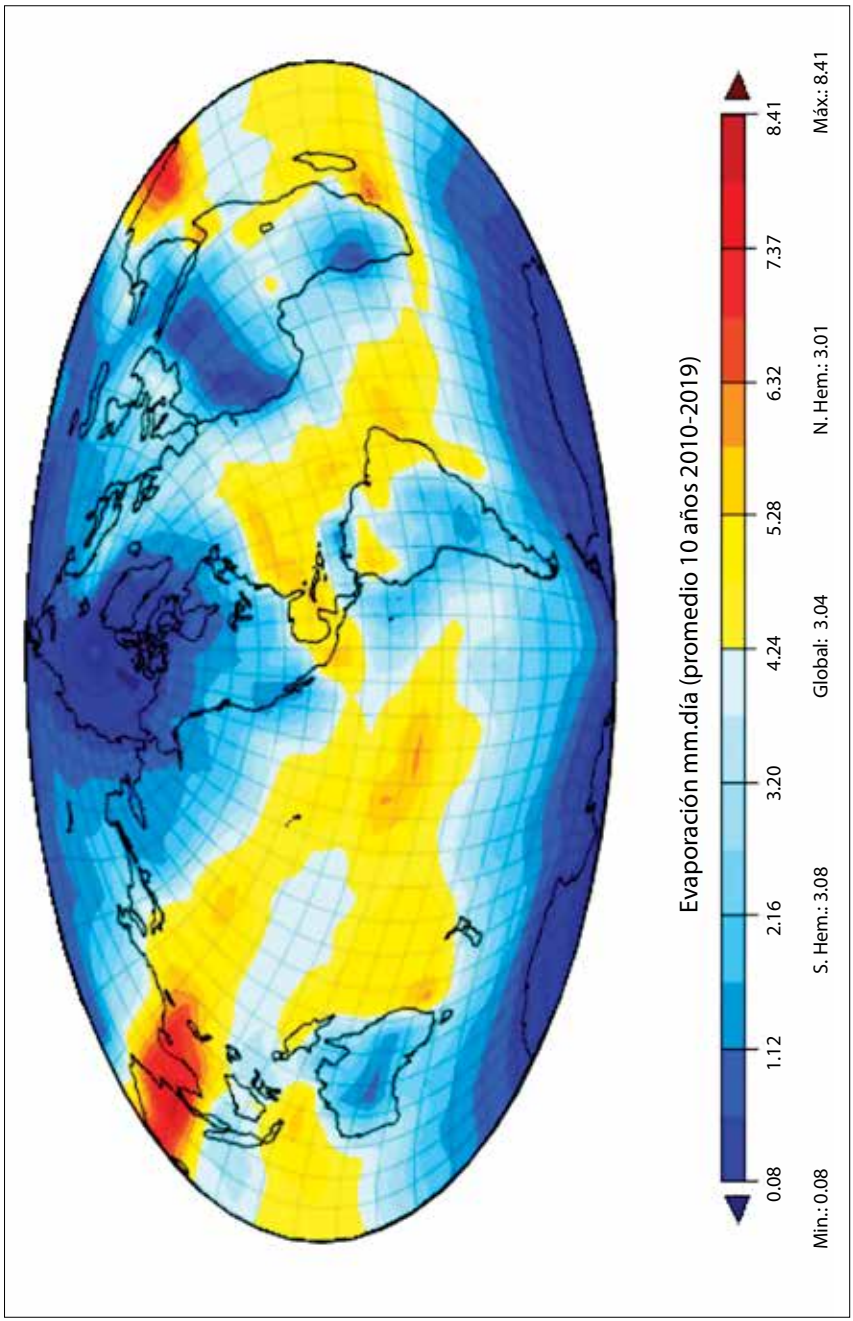


Figura 13. Tasas de evaporación promedio para los próximos diez años. Obtenido por los autores con el modelo EdCGM3 de la NASA

Las condiciones iniciales y de frontera para obtener el mapa de la Figura 13 son: con las siguientes condiciones iniciales: concentración inicial de CO2 de 315.4 ppm (año 1958) con un incremento lineal de 0.5 ppm por año hasta el 2000 a partir del cual se adicionó un incremento exponencial del 1% por año hasta el 2100 provocando que se duplique la cantidad inicial de CO2 en el 2062. La figura solo muestra el periodo 2010-2019.

Conclusiones

Los impactos en la sociedad de los cambios en los patrones climáticos son evidentes con fuertes repercusiones en las economías de los países. La población más vulnerable a esta condición es la que habita en zonas de riesgo y carece de medios para optar por otras alternativas de vida. Así, los refugiados ambientales es tema actual que ocupa las agendas de diversos países que se han visto afectados por eventos extremos climáticos dentro de los cuales se encuentra México.

No existe una alternativa suficiente para mitigar estos efectos, más bien las estrategias deberían ser mixtas e involucrar procesos de prevención y adiestramiento o culturización de la sociedad en aspectos concernientes a los desastres por eventos extremos. En el país, al 2005, 23.5% de la población se consideraba rural (se considera población rural a aquella entidad con menos de 2 500 habitantes (INEGI, 2010). Cabe aclarar que el sector agropecuario es uno de los más afectados por los desastres ambientales y además se constituye como la principal fuente de emigrantes hacia las ciudades o al extranjero. Acorde a Sánchez Cohen *et al.* (2009a), 400 personas emigran diariamente del sector rural a las ciudades o al extranjero.

En el sector agropecuario de México, 50% de las pérdidas son debidas a sequías, 23% debidas a inundaciones y 27% a otras causas (Tiscareño, 2006). Este sector es el principal consumidor de las reservas de agua con 78%. Casi el 70% de las tierras nacionales se utilizan en este sector (CNA, 2006) donde las eficiencias globales del uso del agua no superan el 40% (Sánchez Cohen, 2005). Ha quedado de manifiesto en este documento los efectos que las variaciones climáticas tendrán en la región Centro-Occidente de México caracterizada por su vocación agropecuaria. También se ha asentado el efecto local de las alteraciones globales del clima. Básicamente los incrementos en temperatura y la merma en tasas de precipitación afectarán los procesos del ciclo hidrológico regional con impactos en el bienestar de la población, principalmente en su economía. El diseño de

mecanismos de prevención y mitigación son pertinentes al igual que el de las estrategias de adaptación.

Tercera parte: Indicadores físico-socioeconómicos y producción agrícola

Capítulo 9. Ordenamiento territorial de la región Calpulalpan, Tlaxcala, México

Genaro Aguilar Sánchez
Juventino Reza Salgado
Dirección de Centros Regionales
Universidad Autónoma Chapingo

Introducción

En el nuevo contexto de la globalización, la sociedad mexicana enfrenta un enorme desafío en el ámbito económico, social y ambiental. Esto es obstaculizado por diversos problemas, tanto en el terreno socioeconómico, como por aspectos relacionados con los recursos naturales. Problemática que es compartida por los diferentes territorios que forman la región climática Centro (García *et al*., 1989), que coincide con algunos espacios delimitados dentro de las regiones económicas Centro-Occidente y Centro-Este (Bassols, 1993).

Es decir, la importancia de realizar estudios regionales de los aspectos físicos como socioeconómicos, son relevantes ya que en el territorio que conforman la región climática Centro, se realizan importantes actividades principalmente para la producción de granos básicos. Ante esta circunstancia los diferentes ámbitos del territorio del estado de Tlaxcala y en particular la región Calpulalpan se ve afectada la calidad de vida de sus habitantes.

Durante los últimos treinta años, la huella del hombre en la región es notoria por el intenso cambio de uso del suelo y subsecuente deterioro: las áreas forestales se reducen en favor de la actividad productiva; el suelo ha sido afectado, ya que existen 3 686 ha con algún grado de erosión, desde el mediano hasta el muy grave impacto. Este escenario es producto de una política de desarrollo que no consideró el deterioro de los factores ambientales y permitió un crecimiento urbano y rural desordenado (Padilla, 2000), que se ha manifestado en una ocupación inapropiada de los recursos, los cuales deberían ser aprovechados en forma sustentable.

Este proceso demanda la instrumentación de la planeación estratégica, mediante la aplicación del ordenamiento territorial, buscando conformar una organización del uso y ocupación del territorio, acorde a las potencialidades y limitaciones del mismo, así como a las expectativas y aspiraciones de la población.

Esta investigación tiene el objetivo de identificar las condiciones limitantes y favorables presentes en el subsistema socioeconómico y productivo de la región Calpulalpan, para emitir una propuesta de ordenamiento territorial.

Algunos antecedentes de la ordenación territorial

Como respuesta a los desajustes sociedad-naturaleza generados desde la revolución industrial, se han implementado medidas que permitan planificar las actividades que realiza el hombre. Uno de los ejemplos de planificación regional es el desarrollado en el Valle del Tennesse, Estados Unidos, en 1933. En Francia y Yugoslavia se tiene el ejemplo de la planeación nacional, en cambio en Italia, Israel, India y Cuba se practica una planeación regional y nacional (INE-SEMARNAP, 2000).

En realidad, el ordenamiento territorial como tal se empieza a implementar después de la Segunda Guerra Mundial en los países más desarrollados de Europa. El término es creado en Francia hacia 1949 y sólo incidió sobre las esferas del Urbanismo y la Arquitectura (Páramo, 1997). Más tarde abarcó otras esferas, entre ellas los problemas medioambientales.

Los países europeos operan sus políticas de ordenamiento territorial dentro de un contexto nacional e internacional y se guían por la "Carta Europea de Ordenación del Territorio", suscrita por todos los países que integran la Comunidad Europea, quienes dan fuerte respaldo político y financiero a los procesos de ordenación, se vigila su continuidad en el tiempo, disponen de información oportuna de la problemática geográfica/territorial, apoyan ampliamente la divulgación de los planes y promueven la educación sobre el tema (Massiris, 1999).

Algunas de estas experiencias se han constituido en corrientes ideológicas y metodológicas, conformando escuelas, tal como la Francesa, Ruso-Cubana y Americana (Estadounidense). Los lineamientos generales de la escuela Francesa y Americana dan sustento a los planteamientos de la metodología utilizada en los procesos de ordenamiento territorial de México.

En México la planeación territorial ha carecido de una adecuada integración y de continuidad por parte de las diferentes administraciones. En un principio predominó una visión sesgada y los proyectos implementados se concentraron

en aspectos de salud, cuestiones urbanas o forestales y se trataron como temas aislados.

El primer antecedente de planeación en México, que indirectamente trata el asunto del territorio y los recursos naturales, es la Ley de Planeación General de la República Mexicana, publicada el 12 de julio de 1930. Después de esta ley, surgen otras iniciativas, pero tienen un enfoque sectorial, no ambiental. Después de varias experiencias sobre planeación, el 28 de enero de 1988 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). Esta tercera ley incorporó en uno de sus capítulos los instrumentos de la política ambiental, definiéndolos de manera más amplia y sistemática que lo planteado en las legislaciones anteriores (INE-SEMARNAT, 2000).

Con base en los criterios establecidos para la elaboración del ordenamiento ecológico, durante el periodo 1988-1994 se impulsaron técnicamente 35 ordenamientos distribuidos en 21 entidades federativas de la nación, de ellos ninguno se instrumentó. En cambio los ordenamientos ecológicos decretados fueron cinco, distribuidos en cuatro estados del país y abarcaron una superficie total de 847 669 ha (*Ibid.*).

Ante la necesidad de profundizar en las causas sociales y económicas de la problemática ambiental, aspectos tocados someramente por el ordenamiento ecológico (OE), se adoptaron políticas de ordenamiento territorial (OT) concebidas con un enfoque interdisciplinario y global. En tanto el OE quedó como el componente ambiental. De esta forma el OT se constituyó en un instrumento de planificación territorial contemplado dentro del Programa Nacional de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio 2001-2006 (Sánchez y Palacio, 2004). En la actualidad se impulsan los programas de OT, que a nivel de los estados se les conoce como Planes Estatales de Ordenamiento Territorial (PEOT).

Materiales y métodos

Para el análisis de la región se utilizó la metodología del ordenamiento general del territorio, que se fundamenta en el enfoque de los sistemas complejos y considera el análisis de los subsistemas: natural, socioeconómico y productivo, los cuales interaccionan y confluyen en un análisis integral. La utilización de este enfoque permite desarrollar el método interdisciplinario y sistémico. El esquema metodológico técnico está conformado por seis etapas que incluyen el trabajo técnico y la gestión para la promoción, participación, consenso e instrumentación. En

la Figura 1 (INE-SEMARNAT, 2000) se muestra la secuencia de las diversas fases metodológicas del ordenamiento ecológico.

Por el carácter mismo de esta investigación sólo se cubrieron las primeras dos fases. Los procedimientos y técnicas aplicadas fueron las siguientes: se tomó como contexto territorial a la región Calpulalpan del estado de Tlaxcala, integrada por seis municipios: Benito Juárez, Calpulalpan, Españita, Hueyotlipan, Nanacamilpa y Sanctorum. Con información de diferentes fuentes se procedió a la descripción general de los recursos naturales y se analizó mediante el uso de indicadores los aspectos socioeconómicos y productivos de la población para posteriormente integrar los resultados finales de este trabajo. La actividad incluyó recorridos de reconocimiento del área en estudio, identificación de las características generales del medio natural, así como de los aspectos socioeconómicos de la población. En la segunda etapa se aplicaron cuestionarios a funcionarios y productores de los diferentes municipios.

Área en estudio

Es la región denominada Calpulalpan, comprende seis municipios y está ubicada en la parte poniente de Tlaxcala. Con superficie total de 822 712 km^2, cifra que representa el 20.26% del territorio estatal y la altitud media es de 2 628 msnm (Figura 2).

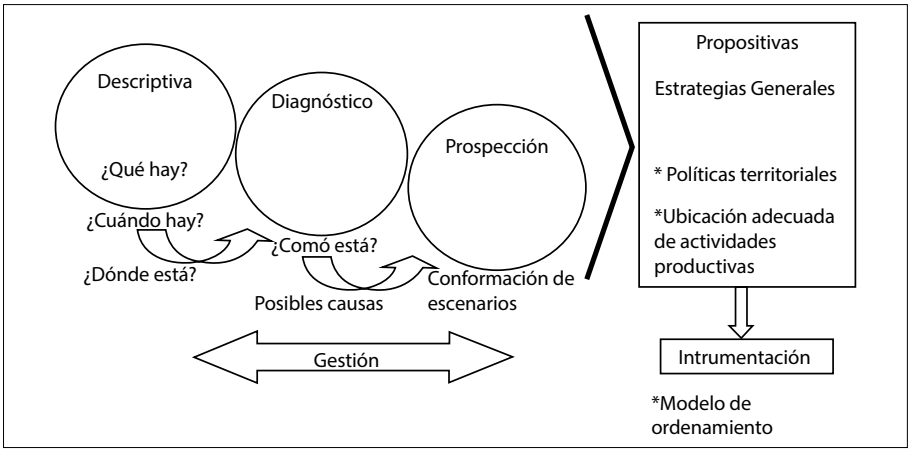


Figura 1. Fases metodológicas del Ordenamiento Ecológico Territorial.

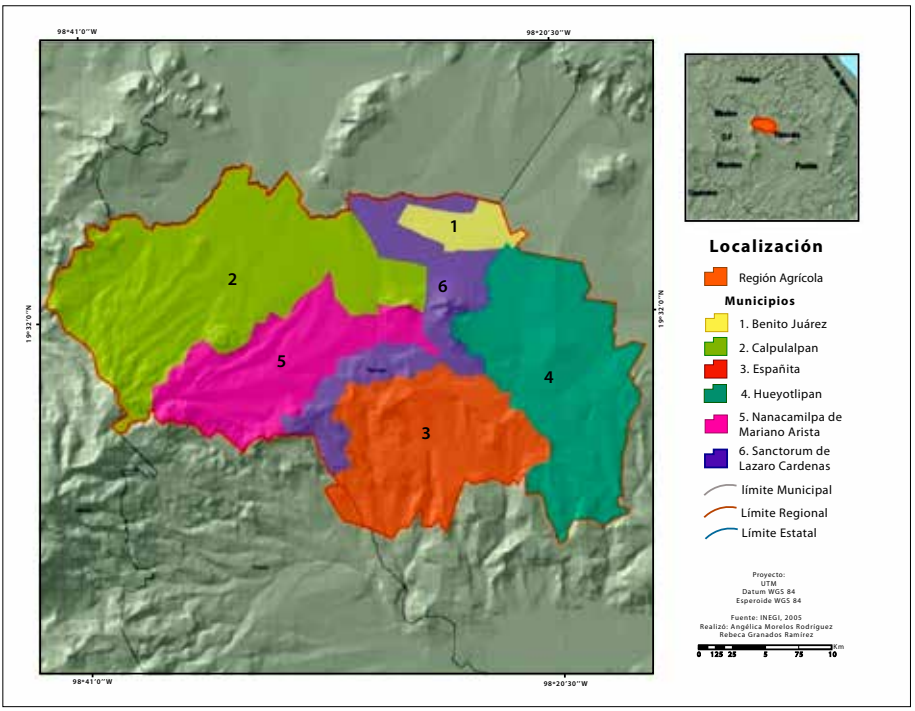


Figura 2. Región Calpulalpan, Tlaxcala, México.

El medio natural

El clima predominante es el C (w1) (w)a templado subhúmedo con lluvias en verano y el semifrío subhúmedo Cb´(w2)(w) con verano fresco con lluvias en verano (Figura 3). El relieve se divide en dos grandes bloques, en el norte existe la planicie con lomeríos y en la parte suroeste una considerable extensión de la sierra nevada, donde se encuentran áreas boscosas principalmente de pino real y pino blanco, a menudo asociadas con encinos y oyamel. En las áreas perturbadas del bosque es frecuente encontrar una población abundante de chaquira (*Cronothus coeruleus*), indicador del fuerte desequilibrio ecológico por la pérdida del bosque, se estima que en 1975 existían 13 921 ha de bosque (PEOT, 2004), para el 2005, según el INEGI, solo quedaban 8 632 ha.

Los suelos en algunas partes son muy aptos para la agricultura con pocas limitaciones como en el caso de Benito Juárez, en otras son aptos, aunque con restricciones fuertes, pues existe el peligro de la erosión por su alto nivel freático

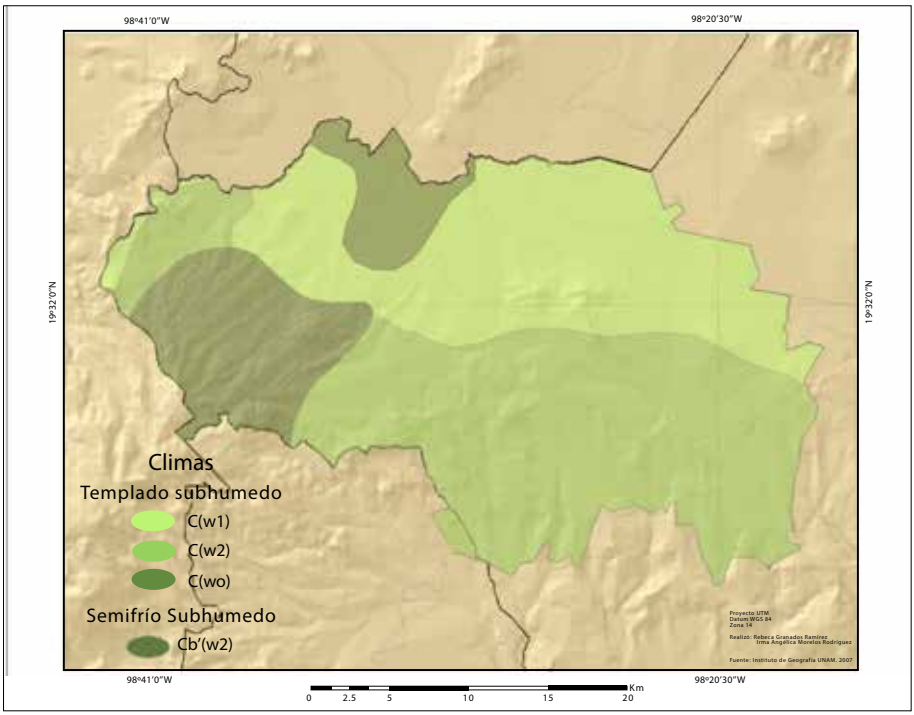


Figura 3. Climas de la región Calpulalpan.

(Figura 4). Se estima que la región contribuye al total estatal con el 0.91% de suelos erosionados y cubre aproximadamente 3 686 ha (PEOT, 2004).

De las 80 145 ha que ocupa la región, 58 643 están dedicadas a la agricultura, el 73.2% del total; de ellas 58 254 ha son de temporal (99.3%) y 389 de riego (0.6%). Los otros usos de importancia son: bosques con 8 632 ha (10.7%) de la región, la vegetación secundaria 8 379 ha (10.4%) y los pastizales con 3 572 ha (4.4%), entre otros usos (INEGI, 2005b).

Los recursos hidrológicos lo conforman varios escurrimientos que, entre otros, dan origen al río Amaxac con aproximadamente 7 km de recorrido. La mayoría se encuentran perturbados por las descargas de aguas residuales de las localidades y la industria, por el depósito de basura y asolves, generando contaminación. Existen varias presas que en total almacenan 8 620 000 m^3 y riegan 1 003 ha, que en parte están contaminadas por descargas de aguas negras, lo que limita su uso para actividades como el ecoturismo, la acuicultura y riego de cultivos de alto valor comercial. Otra de las limitantes es que la región carece

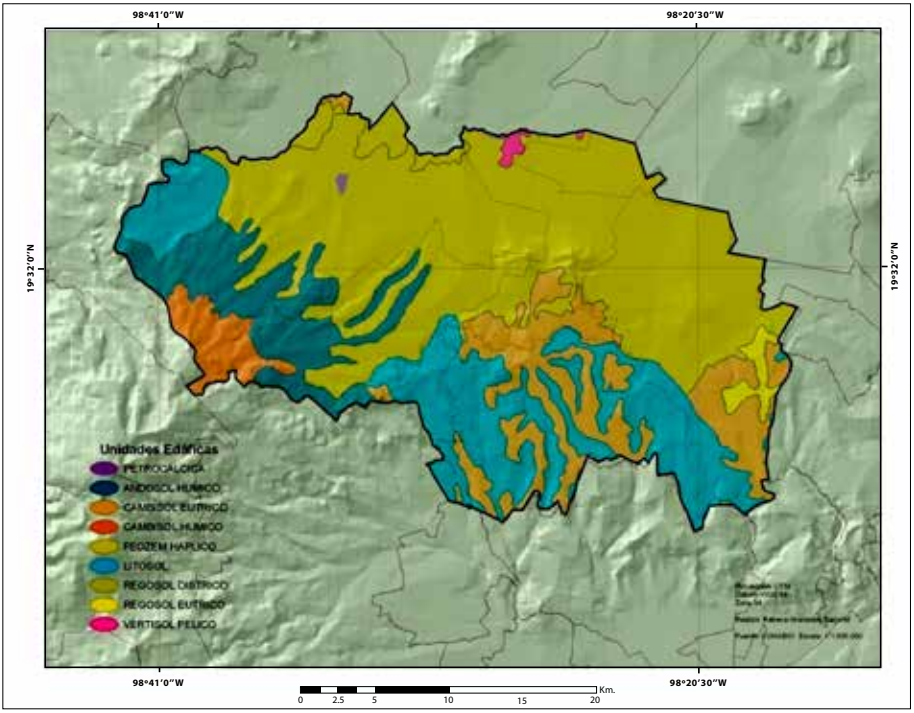


Figura 4. Unidades edáficas en la región Calpulalpan.

de plantas de tratamiento de aguas residuales, sólo existen ocho lagunas de oxidación. Con respecto a la fuente de abastecimiento de agua potable, es a través de 35 pozos profundos con un volumen total de 5 397 000 m^3 y nueve manantiales con un volumen de 1 337 000 m^3 de extracción por año, cantidades que se vienen reduciendo producto del inadecuado manejo de las áreas forestales.

El subsistema socioeconómico

Los datos analizados sobre la distribución de la población de la región, indican que la mayor cantidad se concentra en las cabeceras municipales y en localidades de 2 500 habitantes. Los municipios con fuertes concentraciones son Benito Juárez, Nanacamilpa y Calpulalpan. Con respecto a la distribución espacial de los asentamientos humanos mayores a 800 habitantes, el índice de Clark-Evans

arroja un valor de 1.6, esto revela que se encuentran dispersos con tendencia a la homogeneización, elemento propicio para el adecuado desarrollo económico.

La densidad de población se ha incrementado de 64.70 a 109.27 hab. /km^2. Los municipios con altas densidades son Benito Juárez, Nanacamilpa y Calpulalpan (Figura 5). Sin embargo, si se atiende al ritmo de crecimiento de la densidad en el periodo 1980-2005, sobresalen en primer lugar Calpulalpan, le siguen Hueyotlipan y Nanacamilpa con 89.8, 54.1 y 51.3%, respectivamente, de aumento.

En el sector urbano habitan 30 004 personas, en la categoría mixta 16 805 individuos y en la rural 43 087 personas. Por lo que más de la mitad de la población ya no es rural. Tal crecimiento se fortalece por la afluencia poblacional de otras entidades que llegan a la región, de cada cien individuos, el 13.88% proviene de otros lugares, en tanto el número que sale a otros sitios es menor, ya que sólo registra el 2.72%. El municipio que más atrae población es Calpulalpan y el que más expulsa, Españita. Evidentemente hay un mayor desgaste de los recursos naturales, ya que la demanda de los mismos se incrementa con el aumento de la población.

Durante los 25 años analizados la región ha crecido (2.12%) en menor medida que la entidad (2.64%), el único municipio que sobresale por su crecimiento cercano al que guarda el estado, es precisamente Calpulalpan. Otro aspecto destacable son tanto las tasas de crecimiento estatal como municipal que han venido disminuyendo (Cuadro 1).

La tasa bruta de actividad económica indica que el desarrollo alcanzado por la región es menor a la del estado, mientras la región tiene 33.21%, la entidad reporta el 34.13%. Los municipios más sobresalientes son Nanacamilpa y Calpulalpan con 35.29 y 35.24%, respectivamente, esto por la mayor proporción de población ocupada en las actividades productivas; en consecuencia, su nivel de desarrollo socioeconómico es más alto (Figura 6).

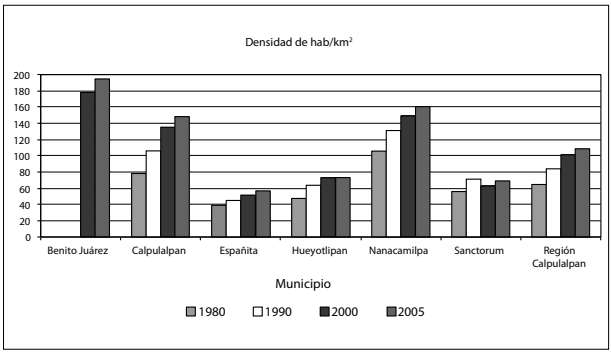


Figura 5. Densidad de población por municipio de la región Calpulalpan.

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 1980, 1990, 2000, 2005a.

Cuadro 1. Tasa de crecimiento de los municipios de la región Calpulalpan 1980-2005

Municipio	Población total				Tasa de crecimiento anual (%)		
	1980	1990	2000	2005	80-90	90-2000	80-2005
Calpulalpan	21 495	29 150	37 169	40 790	3.09	2.46	2.60
Españita	5 463	6 293	7 215	8 019	1.42	1.37	1.55
Hueyotlipan	8 242	11 051	12 664	12 705	2.98	1.37	1.75
Nanacamilpa	10 355	12 837	14 605	15 672	2.17	1.30	1.67
Sanctorum	7 670	9 754	6 937	7 553	2.43	-3.35	-0.06
Región Calpulalpan	53 225	69 085	83 319	89 896	2.64	1.89	2.12
Entidad	556 597	761 277	962 646	1 068 207	3.18	2.37	2.64

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 1980, 1990, 2000, 2005a.

Considerando el grado de dependencia económica, todos los municipios de la región registran índices mayores que la entidad, prueba del menor nivel de desarrollo socioeconómico, por la mayor proporción de personas que no perciben un salario, convirtiéndose en una carga para la PEA, reduciendo las cantidades de recursos que se pueden destinar a la inversión. Sin embargo, la tendencia general es una constante disminución de los índices de dependencia, indicativo de un mayor potencial de desarrollo, principalmente de los municipios de Calpulalpan y Nanacamilpa que, en el 2005, llegaron a registrar 63.63 y 66.60%, respectivamente (Figura 7).

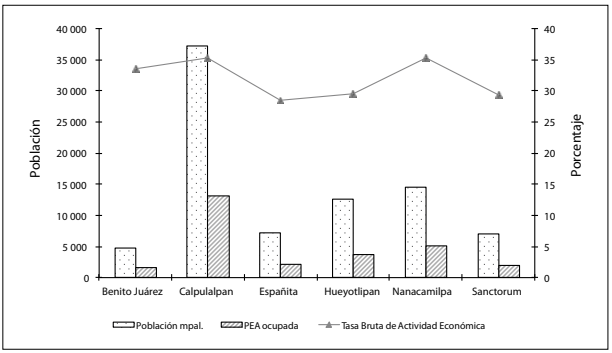


Figura 6. Tasa bruta de actividad económica por municipio 2000.

Fuente: elaboración propia con datos de CONAPO, 2000 y 2005

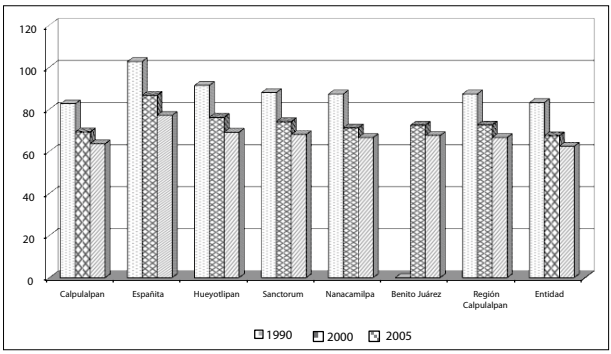


Figura 7. Índice de Dependencia Económica.

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 1990, 2000, 2005a.

Con respecto a los Niveles de Especialización Económica, Españita presenta un predominio en la actividad agropecuaria, ya que el 62% de su población económicamente activa se especializa en dicho sector. En cambio, Calpulalpan sólo registra el 14.63%. Sin embargo, en las actividades industriales, este municipio junto con Nanacamilpa son los más sobresalientes con 41.34 y 42.08%, respectivamente (Figura 8). Consecuentemente se puede afirmar, claro exceptuando el caso de Españita, que la región, en términos generales, presenta una distribución uniforme en cuanto a la especialización de su población trabajadora.

La población económicamente activa (PEA) de la región tuvo durante estos veinte años una tasa de crecimiento anual del 2.5%, porcentaje menor a la del Estado que se ubicó en 3.3%. Con respecto a la dinámica que guardan entre sí los sectores, la tendencia general es la constante disminución de la PEA dedicada a las actividades del sector primario, pues tuvo una tasa de crecimiento anual negativa del -0.11%. En cambio se fortalecen los sectores secundario y terciario con una tasa de crecimiento anual del 6.6 y el 1.7%, respectivamente. Esto se refleja

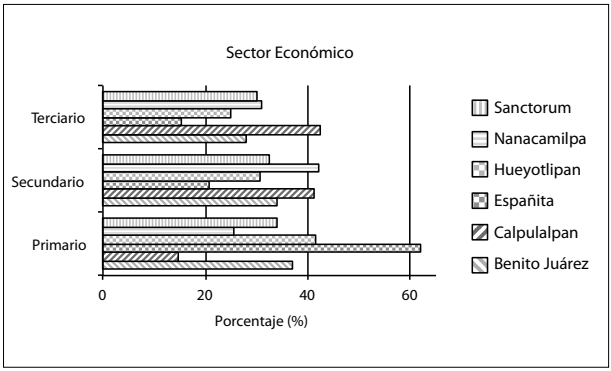


Figura 8. Niveles de especialización económica por municipio de la región de Calpulalpan, 2000.

Fuente: elaboración propia con datos del Programa Estatal de Ordenamiento Territorial, estado de Tlaxcala, Gobierno del Estado de Tlaxcala, 2004.

al interior de la región, ya que todos los municipios incrementan la cantidad de trabajadores dedicados a las actividades del sector secundario, casos como Calpulalpan y Nanacamilpa sobresalen, puesto que registran más población que realiza labores propias de dicho sector, pero también del terciario (Cuadro 2). Esto es una manifestación del crecimiento continuo de la economía regional, no obstante, es un avance con desequilibrio, ya que los sectores agropecuario, industrial y el de los servicios poseen un desarrollo diferencial. Este panorama ha provocado cambios sociales que se reflejan en la movilidad social y ocupacional de la población, pero que también repercute en la cantidad y calidad de los diversos servicios con que deben contar las comunidades.

El avance económico de la región no ha podido resolver el problema del desempleo y por lo que se aprecia, no garantiza en un futuro cercano la absorción de la nueva fuerza de trabajo que se encuentra en el mercado laboral. En este sentido, de acuerdo con los datos anteriormente analizados, la cantidad de personas que no reciben ingresos y están en edad de trabajar, se ha disparado en los últimos veinte años. Aunque municipios como Sanctorum, Calpulalpan y Nanacamilpa reducen sus cantidades, otros la incrementan como Hueyotlipan y Españita (Cuadro 3).

Con respecto a la población que sí percibe ingresos, son mayores las cantidades de trabajadores que se ubican en los estratos de menores salarios; en el 2000

Cuadro 2. Participación de la PEA municipal en los sectores primario, secundario y terciario, 1980-2000

Municipio	Sector primario		Sector secundario		Sector terciario	
	1980	2000	1980	2000	1980	2000
Porcentajes respecto al total municipal						
Benito Juárez	-	36.7	-	33.8	-	27.7
Calpulalpan	27.6	14.4	23.6	40.8	48.1	41.9
Españita	78.0	60.1	3.3	20.2	18.3	14.7
Hueyotlipan	58.0	40.8	9.3	30.2	32.1	24.6
Nanacamilpa	39.5	25.0	19.3	41.5	39.9	30.5
Sanctorum	53.5	33.7	11.9	32.0	34.1	29.6
Región Calpulalpan	43.6	26.1	16.7	36.9	38.8	33.6
Entidad	37.7	18.0	19.2	37.4	42.6	41.4

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 1980, 2000.

Cuadro 3. Población Económicamente Activa en la región de Calpulalpan que no recibe ingresos

Municipio	No recibe ingresos			
	1980		2000	
	PEA	%	PEA	%
Benito Juárez		-	319	5.50
Calpulalpan	1 423	26.72	1 304	22.48
Españita	949	17.82	1 027	17.71
Hueyotlipan	1 029	19.32	1 757	30.29
Nanacamilpa	958	18.00	906	15.62
Sanctorum	966	18.14	487	8.39
Región Calpulalpan	5 325	100.00	5 800	100.00
Porcentaje con relación al Estado		11.78		13.78
Estado	45 205	100.00	42 085	100.00

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 1980, 2000.

los que ganaban de uno a dos salarios mínimos eran 10 066 personas, y conforme aumenta la cantidad percibida se reducen drásticamente, es el caso del grupo que gana más de cinco salarios mínimos que apenas llegó a 1 463 individuos. Esta disparidad salarial es una manifestación del poco desarrollo productivo alcanzado, sólo municipios como Calpulalpan y en cierta medida Nanacamilpa, presentan una mayor cantidad de personas en el último estrato, precisamente por su mayor actividad económica.

El desarrollo económico alcanzado se refleja en la calidad de los diferentes servicios: vivienda, salud y educación. El 95% de las viviendas cuentan con los servicios básicos como el agua, drenaje y la electricidad, aunque existen casos como en Sanctorum y Españita donde hay deficiencias graves en el suministro de agua potable y red de drenaje. En la mayoría de los municipios, el 80% de las viviendas utilizan gas, no así en Españita que todavía es alto el uso de leña y por consiguiente existe una mayor presión para sus zonas boscosas.

La oferta de salud está marcadamente diferenciada. El municipio mejor equipado es Calpulalpan, ya que cuenta con un hospital general y varias unidades, los demás reciben atención en unidades médicas con servicio de consulta externa o bien en casas de salud.

La educación es uno de los pilares para lograr el desarrollo pleno de la sociedad, muchos de los rezagos se atribuyen al poco nivel educativo alcanzado, es el caso de la región donde aún existe el atraso educativo, tanto en la población que tiene de 6 a 14 años, como en la de 15 años y más. En 1980 el 14% carecía de instrucción, para el 2005 sólo se reportaba el 6.2%; como se puede ver, aún existe una considerable población sin la herramienta del conocimiento. Conforme se avanza en los niveles educativos, de primaria hasta licenciatura, se reduce la cantidad de educandos que logran terminar sus estudios y ya no se diga a nivel de posgrado que ha girado en torno al 5%. Por lo tanto, el nivel educativo de la región en varios aspectos muestra rezagos en relación con el Estado como el alto porcentaje de personas sin ninguna instrucción educativa y la poca cantidad de personas con estudios superiores. Los mismos municipios son heterogéneos, pues mientras Calpulalpan y Nanacamilpa cuentan con altos niveles educativos, Españita está atrasado.

Cabe hacer hincapié que la educación que se brinda a la población carece de una mayor cobertura en los diversos aspectos del ámbito regional. Por ejemplo, la problemática ambiental, al decir de los entrevistados, sólo es tocada en las escuelas someramente, incluso las mismas autoridades implementan muy pocas actividades en este sentido. Los datos recabados con las personas de la región, muestran que el 32% afirma haber recibido algunas pláticas sobre el cuidado del medio ambiente, principalmente en el aprovechamiento del agua y en menor medida del bosque.

Lo anotado anteriormente se refleja en los índices de marginación del 2005, ya que la región registra dos niveles: Medio para tres municipios (Hueyotlipan, Sanctorum y Españita); bajo para tres municipios (Calpulalpan, Nanacamilpa y Benito Juárez). Con respecto a los índices de desarrollo humano en el 2000, todos los municipios de la región están considerados con un grado de desarrollo medio alto. De tal manera que, conforme a estos índices, los municipios no presentan, entre ellos, desigualdades.

El subsistema productivo

La característica general del desarrollo económico de los países, es la constante disminución de la participación relativa del sector primario dentro de la economía. Esto precisamente ha venido aconteciendo en Tlaxcala, pero a nivel de la región, aun es importante la actividad primaria, tanto por la cantidad de personas ocupadas, como por los montos de producción que se obtienen. Tales actividades

están orientadas principalmente a la producción de granos como la cebada, el maíz y el trigo.

La producción agrícola se ha venido desarrollando en unidades de producción menores a 5 ha, las que en el transcurso de los años han disminuido, por ejemplo de 1991 al 2004, el decremento es del 17%, situación que se atribuye a la baja rentabilidad de la actividad agropecuaria. Con respecto al derecho sobre la tenencia de la tierra, también existe decremento, principalmente en las ejidales con un 61.3%, esto a pesar de haber sido regularizadas, ya que de acuerdo con el INEGI, los 38 ejidos cuentan con sus certificados agrarios. Por el contrario, las mixtas aumentan el 298.4%. Los municipios que más destacan por sus altos porcentajes en este tipo de unidades son Calpulalpan y Nanacamilpa.

En relación con la cantidad de tierras de labor dedicadas a la agricultura han disminuido el 29.4% desde 1970 al 2004, ya que pasaron de 51 911.1 a 36 628.40 ha, pero en el 2005 hay un ligero incremento. Los municipios que registran considerables decrementos son Sanctorum, Nanacamilpa y Hueyotlipan.

Con respecto a la superficie agrícola de la región, según la disponibilidad de agua, durante los 35 años analizados, la región mantuvo un promedio de 98.5% de temporal, el resto de riego; en consecuencia, la producción agrícola depende exclusivamente del buen temporal. Cabe señalar que, mientras en 1970 todavía se registraban fracciones de tierras de humedad, para el último año analizado dejó de existir este tipo de superficies.

En estas condiciones se producen diversos cultivos anuales, entre ellos el maíz, que en años recientes pierde importancia relativa, producto de su baja rentabilidad y de las nuevas políticas aplicadas al medio rural. La superficie sembrada se incrementa hasta 1991 en un 129.3%, ya que pasó de 5 360.5 a 13 475.4 ha. Para el 2005 disminuyó en un 42.8% al sembrarse sólo 7 707 ha. En cambio, la cantidad de producción mantuvo un ritmo de crecimiento ascendente, fundamentalmente porque el rendimiento por hectárea, aunque no espectacular, se fue incrementando hasta ubicarse en 2.85 ton/ha, cifra superior a la estatal que fue de 1.61 ton/ha. Los municipios que destacan por la superficie sembrada y producción son: Hueyotlipan, Españita, Sanctorum y Calpulalpan y por los altos rendimientos, Benito Juárez y Calpulalpan.

Un claro ejemplo de la supremacía de los cultivos industriales sobre los tradicionales, lo constituyen la cebada y el trigo, que han desplazado al maíz con las concernientes implicaciones sociales, económicas y ambientales que provocan, precisamente por el modelo industrial aplicado. Desde 1970 la cebada ocupa el primer lugar, por la cantidad de hectáreas sembradas y producidas, pero también destaca a nivel estatal, ya que alrededor del 50% de las tierras cultivadas se en-

cuentran en la región. Su tasa de crecimiento anual es de 3.55%, superior a la estatal. Los municipios que destacan por sus altos crecimientos son: Nanacamilpa y Españita. Pero por la cantidad sembrada es Calpulalpan (Cuadro 4).

En forma similar se comportó la producción, ya que tuvo una tasa de crecimiento anual de 5.16%, cifra superior a la estatal. Los municipios más sobresalientes son Calpulalpan y Nanacamilpa con 6.01 y 5.66%, respectivamente (Cuadro 5). El rendimiento por hectárea con una tasa de crecimiento anual de 1.55% menor a la del estado que se ubicó en 1.60%. Los municipios con mayores tasas son Calpulalpan y Hueyotlipan, ambos con 2.04 %. Por lo tanto, es el cultivo más importante de la región del que se beneficia una cantidad considerable de familias.

La producción de trigo, durante los 35 años analizados, conservó un incremento considerable de 1970 a 1991, porque pasó de 62.3 a 15 399.027 ha sembradas, la producción de 43.8 a 24 894.3 toneladas y el rendimiento de 0.70 a 1.6 ton/ha. En el 2004, se dio un fuerte descenso, pero en el 2005 empezó de nuevo a recuperarse, se sembraron 11 785 ha, obteniéndose 40 699.5 toneladas y un rendimiento de 3.48 ton/ha. Los municipios más sobresalientes fueron Hueyotlipan, Nanacamilpa y Calpulalpan.

Los mecanismos mediante los cuales se ha afianzado la producción de cebada y trigo, tiene que ver con el despliegue de diversos actores económicos. En el caso de la cebada, existe la empresa Impulsora Agrícola S. A. de C. V. que opera como

Cuadro 4. Superficie sembrada de cebada en la región de Calpulalpan 1970-2005

Municipio	1970	1991	2004	2005	Tasa de crecimiento anual (%)
	Superficie sembrada (ha)				
Benito Juárez	-	-	977.94	1 255.00	-
Calpulalpan	2 913.5	7 124.060	9 285.93	10 420.00	3.89
Españita	538.3	138.250	1 116.74	2 285.00	4.43
Hueyotlipan	2 412.0	1 368.500	3 832.85	4 630.00	1.97
Nanacamilpa	707.2	449.330	1 885.18	3 208.00	4.64
Sanctorum	970.9	1 806.260	1 479.96	2 333.00	2.66
Región	7 541.9	10 886.400	18 578.60	24 131.00	3.55
Entidad	29 444.0	18 136.980	34 611.36	47 339.50	1.43

Fuente: Secretaría de Industria y Comercio-Dirección General de Estadística, 1970; INEGI, 1991, 2004, 2006.

Cuadro 5. Producción (ton) de cebada en la región de Calpulalpan 1970-2005

Municipio	1970	1991	2004	2005	Tasa de crecimiento anual (%)
	Producción (ton)				
Benito Juárez			2 062.67	3 765.00	-
Calpulalpan	4 609.047	12 637.434	22 448.77	32 302.00	6.01
Españita	1 527.426	158.912	1 482.71	7 312.00	4.80
Hueyotlipan	3 939.011	1 818.997	7 284.02	14 816.00	4.05
Nanacamilpa	1 587.737	791.920	3 799.48	9 944.80	5.66
Sanctorum	2 364.033	2 275.071	2 734.24	6 999.00	3.31
Región	14 027.254	17 682.334	39 811.89	75 138.8	5.16
Entidad	51 039.661	27 049.426	66 113.02	139 349.84	3.06

Fuente: Secretaría de Industria y Comercio-Dirección General de Estadística, 1970; INEGI, 1991, 2004, 2006.

intermediaria entre el estado, las empresas cerveceras y los productores, la cual les vende un paquete tecnológico que consiste en la maquinización del proceso productivo, el uso de agroquímicos, la asistencia técnica, el contrato de compra-venta y la recepción y almacenamiento del producto. En cuanto al trigo, su impulso se dio mediante el mecanismo denominado "convenios de asociación en participación" que es un programa de agricultura de contrato promovido por el gobierno estatal, el grupo de industriales de la Harinera la Asunción (HILASA) y campesinos individualmente organizados (Espino, 2005). Con esto garantizan la materia prima de calidad que necesitan, pues de acuerdo con los especialistas la producción de trigo del estado y de la región reúne las características de alta calidad.

En los últimos años empiezan a ser importantes varios cultivos, entre ellos los forrajeros como la alfalfa, avena y el maíz. Incluso se promueve en el estado en general y en particular en la región, la siembra de la canola por sus propiedades peculiares como las de adaptarse a climas templados y fríos, y demandar bajas cantidades de agua, para obtener rendimientos de grano aceptables.

En relación con los cultivos perennes, el más importante durante los años setenta era el maguey, al grado que el 53.7% de la superficie estatal se concentraba en la región Calpulalpan, en el mismo sentido era la aportación de los montos producidos, pues llegaba a 32.7%. Sin embargo, desde el 2004 la producción de maguey ha descendido y como consecuencia ha perdido importancia en la región. Las áreas homogéneas sembradas de maguey se reducen prácticamente

a dos municipios Calpulalpan y Nanacamilpa. En general, los productores de la región destinan poca superficie a la producción de cultivos perennes como el durazno, pera y manzana.

Con respecto a la producción generada, la mayor cantidad se destina al mercado interno y solamente una reducida cantidad al exterior. Prácticamente el 60.7% de la unidades comercializan su producción con algún agente comprador. Los principales municipios que comercializan su producción son Benito Juárez, Nanacamilpa, Calpulalpan y Sanctorum, destinando más del 70% al mercado.

Un elemento que complica la situación, es el constante empleo de tecnologías para incrementar la producción, ya que de las 36 628.40 ha de superficie agrícola cultivadas, el 41.6% usa semilla certificada, el 83.8% emplea fertilizantes o abonos y por último, el 73.5% aplica herbicidas o insecticidas. De lo analizado se desprende que en la región es fuerte el uso de agroquímicos prácticamente en la mayoría de la superficie dedicada a la agricultura, con la consiguiente contaminación que se genera.

Otro problema es el relacionado con las áreas forestales: en 1975 existían 13 921 ha de bosque (PEOT. 2004), para el 2005, según el INEGI, sólo quedan 8 632 ha, un decremento del 38%. Pero donde se observa con más claridad la presión que ejerce la población sobre este recurso, es en las unidades de producción rural, de 1970 al 2004 el decremento es del 89.6% al pasar de 6 867.10 a 711.58 ha, según los censos agropecuarios de aquellos años. Solamente tres municipios cuentan con áreas boscosas: Nanacamilpa, Calpulalpan y en cierta medida Españita.

De acuerdo con la información del INEGI, de 1991 al 2005 se ha incrementado extraordinariamente el volumen de producción explotada al pasar de 341.952 a 9 844 m^3. De este último dato, 5 156 m^3 corresponden a la explotación de las diferentes especies de pino, 2 744 m^3 de oyamel, 1 856 m^3 de encino y por último 88 m^3 al resto de especies. En la región solamente tres municipios reportan las cantidades de madera que aprovechan, ellos son Nanacamilpa, Calpulalpan y Hueyotlipan.

Con respecto a la actividad pecuaria de la región, ésta se desarrolló durante 1970 en un área de 13 431.6 ha cubiertas con pasto natural. Para el 2005 se efectuó solamente en 3 572 ha, observándose una disminución del 73.4%. Sin embargo, la cantidad de cabezas de ganado bovino, porcino y ovino en total tuvo un aumento de 255.5% al pasar de 55 657 a 197 873 cabezas, mientras que la entidad lo hizo en un 121.5%. De los tres tipos de ganado destaca el ovino, por las cantidades de cabezas y el gran incremento de alrededor de 345%. En cambio, la producción de ganado caprino tuvo decremento del 31.6%, en el mismo sentido

ocurrió con el ganado equino. Los municipios que cuentan con mayor cantidad de cabezas de ganado de todas las especies que proliferan en la región son Calpulalpan, Sanctorum y Nanacamilpa, esto es así, por la mayor disposición de pastos y granos agrícolas con que cuentan.

En realidad la ganadería es una actividad complementaria a la producción propiamente agrícola y el objetivo es cubrir necesidades imperiosas de alimentación, obtener recursos económicos mediante la comercialización y aprovechar algunos subproductos como el estiércol que se utiliza como abono orgánico o como activador de compostas, aunque en cantidades muy reducidas. Sin embargo, por ser una actividad marginal en la región, presenta diversos problemas que le impide desarrollarse a plenitud; su manejo es en forma tradicional y en aquellos casos en que se usa cierta tecnología, no ha sido suficiente para lograr buenos rendimientos. Por lo tanto, es una actividad poco rentable y competitiva, que en estos últimos años viene generando mayor presión a los ecosistemas, por el persistente sobrepastoreo.

La actividad secundaria en la región se localiza en tres municipios: Calpulalpan, Nanacamilpa y Hueyotlipan. Conforman el denominado parque industrial Calpulalpan, que en los últimos años ha experimentado cambios significativos, deja de ser exclusivamente textil para diversificarse en nuevas industrias como las de confección, plásticos, agroindustrias, entre otras. De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Económico (SEDECO), durante el periodo 1990-2005, el incremento de las empresas asentadas en la región fue del 47% al pasar de 17 a 25 fábricas, brindando empleo a sólo 2 450 personas. De aquel total, diez empresas comercializan sus productos en el extranjero y las 15 restantes los colocan en el mercado nacional (Cuadro 6).

La información obtenida indica que la cantidad de personas empleadas es muy reducida y por consiguiente las empresas asentadas en la región son incapaces de absorber toda la oferta de mano de obra existente y por el momento se ve difícil la instalación de nuevas empresas que pudieran mitigar un tanto la problemática del desempleo. Aunado a esto, Calpulalpan concentra el 72% de la industria regional En cambio municipios como Benito Juárez, Sanctorum y Españita carecen totalmente de empresas industriales de importancia.

Por lo tanto, el sector secundario en la región no ha logrado convertirse en el eje de desarrollo sostenido, ni por la cantidad de empleo ni por los altos salarios que pudiera brindar a la población.

En el mismo sentido se comporta la actividad del sector terciario, pues se concentra prácticamente en tres municipios: en primer lugar Calpulalpan, le siguen no muy de cerca Nanacamilpa y Hueyotlipan. En consecuencia son los mis-

Cuadro 6. Empresas más importantes en la región de Calpulalpan 2005

Municipio	Total de empresas		Total de empleos		Exporta	No exporta
	Cantidad	%	Cantidad	%		
Calpulalpan	18	72.00	2 006	81.88	7	11
Hueyotlipan	2	8.00	170	6.94	2	0
Nanacamilpa	5	20.00	274	11.18	1	4
Región	25	100.00	2 450	100.00	10	15
Entidad	343	-	43 504	-	-	-

Fuente: elaboración propia con datos de la SEDECO, 2005.

mos que presentan elevada producción bruta y remuneraciones, en comparación con los demás municipios. Por ejemplo, Calpulalpan agrupa el 54.3% de todas las unidades comerciales de la región, el 59.3% de personal ocupado, el 79.9% de las remuneraciones y el 69.9% de la producción bruta. La misma estructura comercial presenta rezagos e ineficiencias en la comercialización y abasto de productos básicos, es muy común observar una gran cantidad de pequeños establecimientos de propiedad y administración familiar, que se manejan con escaso capital, lo que se refleja en una reducida existencia de mercancías que se venden a precios altos. Además, están condicionados por los grandes mercados de las ciudades de México, Puebla-Tlaxcala y San Martín Texmelucan.

Otra de las actividades del sector terciario es el relacionado al turismo. Sin embargo, esta actividad ha sido poco importante en el desarrollo de la región, ya que ha faltado promocionar los atractivos naturales con que cuenta, principalmente las zonas arboladas de Calpulalpan y Nanacamilpa.

Conclusiones y recomendaciones

De acuerdo con los datos obtenidos, el crecimiento poblacional ha sido muy dinámico y por consiguiente el grado de ocupación del espacio social se ha incrementado. Los diferentes sectores productivos como el primario, secundario y terciario poseen un avance diferencial, mientras la actividad primaria pierde importancia en algunas áreas, la secundaria y terciaria aún no tienen la capacidad de consolidarse y convertirse en el eje principal de desarrollo.

La actividad agrícola gira en torno a tres cultivos: maíz, cebada y trigo. El primero, desde los años ochenta ha venido perdiendo importancia. Solamente la

cebada se mantiene con incrementos tanto en su producción como en el rendimiento obtenido, por eso es el cultivo más importante de la región. La producción de trigo es más inestable, aunque en 1991 había logrado aumentar su superficie sembrada y cosechada, para el 2004 disminuye su producción drásticamente, para recuperarse en el 2005. Aunque es reducida la superficie de los cultivos forrajeros, en los últimos años empiezan a ser importantes. De algún modo esta reconversión productiva se debe a la creciente actividad pecuaria que necesita de los insumos forrajeros para sostener las unidades ganaderas.

En términos generales, el crecimiento constante de la población, el avance económico diferenciado y menor al estatal, el desarrollo de las actividades productivas basadas prácticamente en una reducida cantidad de cultivos y una creciente actividad pecuaria presionan fuertemente a las áreas naturales creando inestabilidad en el territorio al grado de perderse el equilibrio, la vigencia y la continuidad normal del sistema natural; esto contribuye a profundizar la pobreza y el mal uso de los recursos, cuestión que dificulta el desarrollo eficaz y equitativo de la región.

Sin embargo, la problemática que vive la región está sujeta a los elementos externos, pues la creciente globalización de la economía ha generado que se formen nuevos tipos de relaciones espaciales con las redes de ciudades que la circundan: en la parte poniente, la zona Metropolitana de la Ciudad de México con un enorme potencial económico, social y cultural, al oriente el eje conformado por las ciudades de Tlaxcala-Puebla. La relación estrecha que se ha establecido conforma toda una red que rige el comportamiento de la economía de la región, su desarrollo está supeditado a los vaivenes de aquellos dos centros protagónicos.

De hecho, la idea de convertir a la ciudad de Calpulalpan, mediante la instalación del parque industrial, en un polo de desarrollo que vendría a desencadenar más inversiones y fuertes cantidades de empleo, no ha dado los resultados esperados. Cierto que con respecto al ámbito regional, es una ciudad que concentra la mayor cantidad de las actividades secundarias y terciarias, pero por su misma jerarquía sólo aspira a ser un eslabón más de la larga cadena global. De tal manera que, por su grado de articulación al espacio de las redes, junto con Apizaco y Huamantla, cumplen las funciones de rango bajo propias de ciudades intermedias. Incluso, el mismo desarrollo alcanzado se ha visto limitado, porque muchas de las inversiones son canalizadas a los centros protagónicos como la zona Metropolitana y las ciudades de Tlaxcala-Puebla.

En este contexto, se recomienda a manera de lineamientos generales para el ordenamiento territorial la realización de acciones conjuntas de las principales instancias de gobierno, del sector social y privado para lograr el desarrollo soste-

nido de la región, empezando por evaluar los planes de desarrollo municipales, desde la perspectiva de los procesos de ordenamiento territorial. Existe, prácticamente, un total desconocimiento de las ventajas de la ordenación tanto por los funcionarios de los cuerpos municipales, como de los habitantes; a pesar de que el estado desde hace varios años cuenta con el Programa Estatal de Ordenamiento Territorial.

Asimismo, en la actividad productiva se deben impulsar programas locales que impulsen la producción estratégica, fortaleciendo aquellos cultivos que por su alta demanda son rentables como los forrajeros o la canola; tratando de evitar, la dependencia de un solo cultivo como ha sucedido con la producción de cebada. Todo esto dentro del marco de los procesos del desarrollo sustentable.

Finalmente, la región cuenta con elementos favorables en el sector económico productivo generando nuevas áreas de oportunidad, como sería el impulso al turismo alternativo, principalmente para las zonas de Calpulalpan y Nanacamilpa.

Capítulo 10. Comercialización, industrialización, transformación y problemática de la tuna en la región de Zumpango, Estado de México

Alfonso Moreno de Gante
Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras
Universidad Nacional Autónoma de México

Pablo Pérez Akaki
Facultad de Estudios Superiores Acatlán
Universidad Nacional Autónoma de México

Introducción

El nopal tunero constituye una aportación de México al mundo, ya que todas las variedades de importancia económica tienen su origen en materiales provenientes del país que sigue teniendo un enorme potencial para el desarrollo de plantaciones de nopal tunero por lo extenso y rico de sus condiciones agroclimáticas. Desgraciadamente las plantaciones de tuna se encuentran actualmente en un gran estado de deterioro, debido a que la cadena productiva enfrenta una problemática compleja que se refleja finalmente en precios bajos al productor y, consecuentemente, en una baja rentabilidad de la actividad.

Lamentablemente esto genera un círculo vicioso en el que el productor no obtiene la calidad y productividad suficientes para mejorar sus ingresos, por lo que no logra niveles de capitalización que le permitan invertir en la solución de los problemas que debe enfrentar, reproduciéndose la condición del productor y de la cadena en su conjunto en el tiempo, en perjuicio de los agricultores, lo que limita el despliegue del potencial que posee la cadena para generar desarrollo económico.

Los principales países en donde la tuna se explota comercialmente son México, Italia, Chile, Sudáfrica, Israel y Estados Unidos. Italia abastece en su totalidad al mercado Europeo y gran parte de la demanda de Estados Unidos y Canadá, siendo el principal país exportador de tuna en la actualidad, y por lo

mismo el competidor más importante de la tuna mexicana, ya que tiene una amplia cobertura y niveles de producción y productividad que le han permitido establecer efectivos mecanismos de comercialización para la penetración de mercados (Flores *et al*., 1995).

México ocupa el primer lugar en cuanto a superficie cultivada, producción y consumo de este fruto. Sin embargo, existen diferencias muy marcadas en cuanto a nivel tecnológico, lo que se traduce en bajos rendimientos. Aun así, se considera que México presenta una ventaja comparativa basada en su superficie, que es cinco veces mayor que Italia, 40 veces mayor que Chile y 200 veces mayor que Estados Unidos, además de que tiene como ventaja su gran diversidad de variedades (Cuadro 1).

Para complementar la información anterior, el Cuadro 2 presenta información económica sobre la tuna en los principales países productores, donde destaca que México es por mucho el de mayor extensión y producción, más no así en las exportaciones ni en los rendimientos. Esto se debe a que casi la totalidad de las plantaciones se localizan en áreas sin riego, con mal temporal y suelos pobres, además de que un gran número de productores, debido a falta de recursos, no atienden adecuadamente sus huertas.

A diferencia de México, los países productores desarrollados obtienen importantes rendimientos como resultado de prácticas adecuadas de abono, fertilización, riego, podas, combate de plagas, enfermedades y forzamiento de la fructificación.

En muchos de los países la tuna es un producto secundario, pues lo importante es el nopal que se utiliza principalmente como forraje o para la conserva-

Cuadro 1. Características de producción de tuna en los principales países productores

Concepto	Italia	Chile	Estados Unidos	México
Superficie (ha)	8 022	999	250	50 000
Rendimiento (ton/ha)	10-20	6-10	10-20	2-24
Variedades	Gialla, Rossa, Blanca	Chilena Til-Til	Italiana Roja	Gran variedad
Exportación	Europa, EUA	Europa, EUA	N0	EUA, Canadá y Alemania
Cosecha: época y forma	sep-dic Cuchillo	nov-mar	nov-mar Cuchillo	abr-oct Cuchillo y manual

Fuente: Flores *et al*., 1995.

Cuadro 2. Superficie, rendimiento, producción, exportación e importación de tuna por país

País	Superficie (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Producción (ton)	Exportación (ton)	Importación (ton)
México	72 500	6.75	489 500	7 500	0
Italia	2 500	20.00	50 000	15 000	100
Sudáfrica	1500	10.00	15 000	250	0
Chile	1000	7.00	7 000	40	0
Israel	300	25.00	7 500	60	0
Colombia	200	10.00	2 000	100	0
Estados Unidos	200	20.00	4 000	100	8 000
Totales	78 200	7.35	575 000	23 050	8 100

Fuente: Flores, 2002.

ción de suelos. El consumo de la tuna en realidad es una actividad mucho más localizada a ciertos grupos poblacionales. Ésta se consume fundamentalmente en estado fresco y maduro. Aunque es considerada como un "producto étnico", esto no restringe su mercado solamente a las familias de origen mediterráneo o mexicano, pues es una fruta que tiene una gran aceptación en los mercados de Europa Occidental y Oriental, especialmente en Alemania, Bélgica, Holanda y Francia (Flores *et al.*, 1995).

Internacionalmente, el consumo de tuna (Lira, 1995) se concentra en México, Estados Unidos (principalmente por la población de origen mexicano e italiano), Italia, Alemania y Holanda. La demanda en Estados Unidos, el sur y el centro se abastece por México y el noreste (con gran población de origen del mediterráneo europeo) es abastecido por Italia. Igualmente, Europa es abastecida casi en su totalidad por Italia, aunque en el verano austral (invierno en el hemisferio norte) entran al mercado europeo Chile y Sudáfrica, por lo que casi no encuentran competencia por fruta del mediterráneo. El principal problema para México en la comercialización a nivel mundial son las vías de comunicación, el transporte y las técnicas de conservación, mientras que Italia tiene sistemas de transporte más eficientes y a menores costos (Flores, 2002).

Es importante mencionar que el patrón de consumo de la población de origen mexicano en los estados del sur y centro de Estados Unidos es muy similar al comportamiento del consumidor mexicano, acostumbrado a pelar la tuna. Esto significa que existe un gran potencial para expandir el mercado de esta fruta en el país del norte, si se contara con nuevas presentaciones.

Es claro que el consumidor prefiere la fruta sin espinas y sólo la pela en el momento de su consumo. Este es un factor que opera en contra del consumo de la tuna, puesto que el consumidor es reacio al proceso de pelado y al problema que significa deshacerse del gran volumen de desperdicio que se genera. En este sentido, las posibilidades de enviar al mercado producto pelado y congelado serían de gran utilidad.

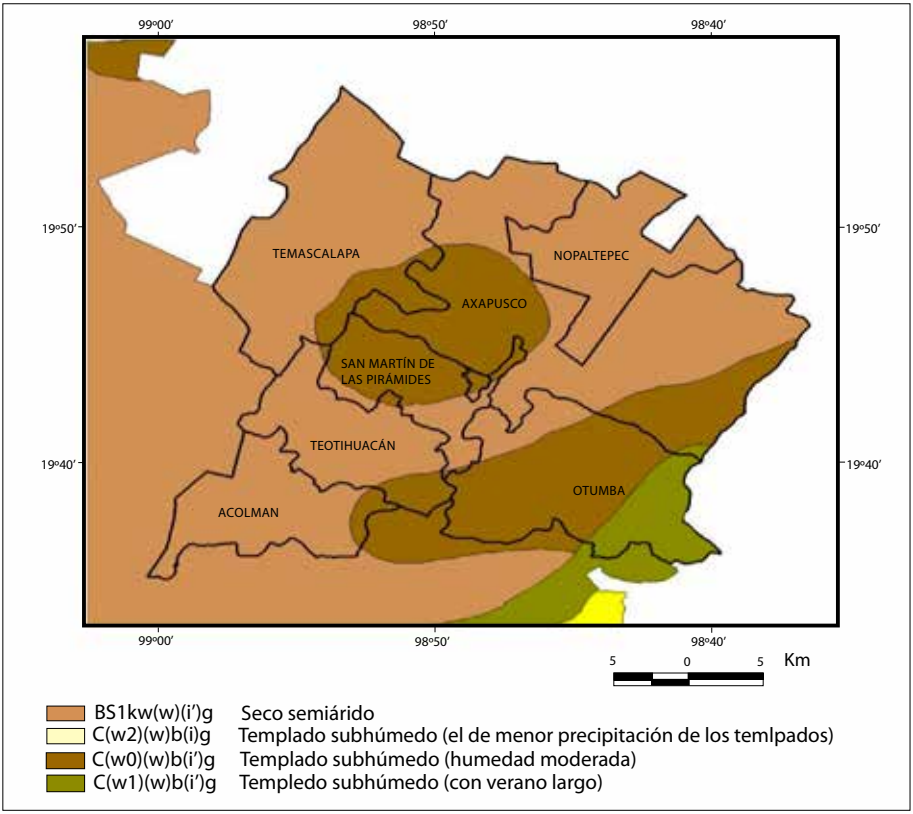
La demanda de tuna en el mercado doméstico mexicano (Flores *et al*., 1995) sigue patrones bien establecidos: geográficamente el mercado de la tuna se circunscribe a la zona del altiplano, dejando fuera en forma significativa a los estados costeros de la región tropical de México. Esto no quiere decir que la población localizada en estas regiones no la consuma, pero su propensión a consumirla es limitada, en parte por patrones culturales diferentes y por la falta de distribución eficiente del producto en estas regiones. Además, se encontró que existe una relación inversa entre el ingreso y la demanda, por lo que la clase media y baja son los principales consumidores de tuna, y en la medida que se incrementa el ingreso, las familias tienden a consumir menos tuna, reemplazándola por otras frutas. Este hecho se refleja en que una gran proporción de la tuna se comercializa en los comercios de acceso popular (tianguis, mercados municipales y al borde de carreteras), siendo baja la proporción que se adquiere en supermercados.

Justificación

La zona productora de tuna cuenta con las características físico-geográficas idóneas para producir tuna de alta calidad. En el caso del aspecto climático, están presentes principalmente dos tipos de clima según la clasificación climática de Köppen: el seco o semiárido y el templado subhúmedo con diferentes gradientes de humedad. El clima seco domina la mayor parte de la región, y el templado en la parte que comprende el Cerro Gordo, municipios de San Martín de las Pirámides y Otumba.

El BS1kw (w)1'g es el clima semiárido templado (el menos seco de los semi secos), presenta lluvia en verano y un porcentaje de precipitación invernal inferior al 5%. El templado subhúmedo C(w) se presenta el subtipo de clima templado húmedo y de humedad moderada C(w2) y el subtipo templado de humedad baja C(w0), este último caracterizado por ser el de menor humedad de los templados (Figura 1).

La precipitación media anual es de 500 a 600 mm; la temperatura media oscila entre 14 y 18° C (con reducida oscilación térmica) y la temperatura más



Fuente: CONABIO, 1998.

Figura 1. Climas.

elevada ocurre antes del solsticio de verano. En las heladas predomina el rango de 40 a 60 días al año; las granizadas se registran 0 y 6 días al año. Estas últimas no guardan una regla de comportamiento definida, aunque se encuentren asociadas a periodos de precipitación; su mayor incidencia son en los meses de junio, julio y agosto (INEGI, 1987), hace falta brindar mayores apoyos a los productores para colocar directamente el producto y los derivados en los mercados regionales y evitar los intermediarios e, igualmente, falta difusión de las propiedades nutricionales para aumentar el consumo.

El nopal en su formación óptima (Cuadro 3) debe de cumplir diversas condiciones: las temperaturas óptimas de desarrollo del nopal son de 18 a 25° C;

Cuadro 3. Ficha de requerimientos agroecológicos del nopal tunero en el Distrito

Nombre	Nopal tunero
Género	*Opuntia Amyclaea*
Variedad	Es del tipo Alfajayucan
Ubicación	Estado de México e Hidalgo
Fisiografía	Plano y ladera
Temperatura	- Excesos de humedad pueden provocar enfermedades causadas por hongos y daños por insectos (Bautista, 1982). - Temperatura óptima media entre 18 y 26° C, máxima 36° C y la mínima 6° C. El nopal vive mejor entre 800 y 2 500 m de altitud (Rojas, 1961). El nopal tunero puede tolerar temperaturas de 50 a 55° C, cuando está adecuadamente condicionado. Nobel (1994) señala incluso que las pecas de *Opuntia ficus-indica* pueden sobrevivir a 69° C durante una hora.
Altitud	- Varía entre 800 y 2 500 msnm (Bautista, *op. cit.*). De 2 675 msnm en adelante (Rojas, 1961). De 1 609 a 2 575 msnm, donde la limitante sería la baja temperatura (Barrientos, 1983).
Orientación	Norte-sur de los cladodios (con sus caras este-oeste).
Precipitación	- Es poco exigente 125 mm en verano (Bautista, *op. cit.*). - Precipitación media anual oscila entre 116 y 1 805 mm, aunque puede llegar a desarrollarse en condiciones de mayor aridez (Rojas, op. cit.). - El nopal tunero se puede desarrollar con precipitaciones de 267 a 685 mm, y con precipitaciones menores de 5 mm al mes (Barrientos, *op. cit.*).
pH	Varía entre 5.2 y 6.0, considerándose un vegetal no ácido, con pH ligeramente alcalino (Bautista, *op. cit.*). La fluctuación del pH subácido muestra la gran adaptación de las especies del género Opuntia (Inglese, 1995).
Heladas	Diciembre a febrero y heladas tardías se da en los meses de marzo y abril.
Granizadas	Normalmente se dan en los meses de mayo y junio.

Cuadro 3. Continuación

Salinidad	La mayoría de las especies Opuntia son sensibles a la salinidad; el crecimiento de sus raíces es inhibido de manera drástica en suelos con concentraciones de sodio. La baja tolerancia del nopal a la salinidad restringe las condiciones donde puede cultivarse con éxito, aunque la mayoría de los suelos no son salinos (Nobel, 1994).
Suelo	- Es suelo Feozem con tipo Vertisol. Su desarrollo es pobre en suelos compactos y húmedos, en los de tipo Cheznut (Velázquez, 1962). - El nopal tunero no prospera en suelos arcillosos compactos, por lo que el suelo no debe exceder 15-20% de arcilla, se desarrolla mejor en suelos agregados y con un buen drenaje (Inglese, *op. cit.*). - Los suelos afectados por sales son comunes en regiones áridas y semiáridas, donde la precipitación anual es insuficiente para satisfacer las necesidades de evotranspiración de la especie Opuntia (Nobel, *op. cit.*). - Las raíces del sistema radial de *Opuntia amyclaea* se adaptan en las condiciones de sustrato; cuando el suelo es poco profundo, el desarrollo del sistema radial de los nopales es extenso, denso y superficial (Hernández y Barrientos, 1978).
Textura	- El nopal tunero se desarrolla mejor en suelos agregados (Inglese, *op. cit.*). Calcárea, arenosa, de profundidad media (Bautista, *op. cit.*). - Textura arenosa y areno-arcillosa, siempre que sea calcárea y con alto contenido de sales, pero se puede encontrar en terrenos tepetatosos y muy someros (Barrientos, *op. cit.*).
Profundidad	- Poco profundo de 40 a 70 cm (Inglese, op. cit.) y de 20 a 100 cm (Mondragón, 1992). La distribución vertical de las raíces mayores y las menores de 2 mm se encuentran a una profundidad de 0 a 40 cm y entre 0 a 30 cm en San Martín de las Pirámides y San Juan Teotihuacán.
Contenido óptimo de elementos para el cultivo del nopal tunero	Los contenidos óptimos de elementos para el cultivo del nopal tunero: *a)* nitrógeno total (N): 0.5-1.0%; *b)* fósforo asimilable (P2 o5): 80-250 ppm; *c)* óxido de potasio asimilable (K2O): 150-250 ppm; *d)* calcio (Ca) 2 000-3 000 ppm; *e)* magnesio (Mg): 200-300 y hierro (Fe) 5-10 ppm. La unidad ppm es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza); es decir, la cantidad de materia contenida en una parte sobre un total de un millón de partes.

Cuadro 3. Continuación

Madurez	- Las temperaturas muy bajas, por ejemplo 10° C, afectan principalmente al crecimiento y maduración de las plantas jóvenes (Rojas, *op. cit.*). - Cuando las temperaturas prevalecientes son bajas durante febrero y marzo se retrasa la maduración del fruto (Pimienta, 1991). - La fecha en que se inicia la maduración floral varía de acuerdo con la localidad y con las temperaturas prevalecientes al final del invierno (Hernández, *op. cit.*). - Los frutos del nopal, al madurar, se pueden desprender de la planta o permanecer adheridos a ella durante mucho tiempo. Los principales agentes diseminadores son los pájaros y el viento (Piña, 1979).
Cosecha	Julio a septiembre.
Rendimientos	Aproximadamente de 10 a15 (ton/ha).
Sistema	El sistema de producción de la tuna es de tipo intensivo (Mondragón, *op. cit.*).
Nivel de manejo	*a)* suelo: medio; *b)* planta: alto y *c)* densidad de la plantación: alto (Mondragón, *op. cit.*).
Nivel de uso	*a)* insumos: alto; *b)* materia orgánica: alta, y *c)* maquinaria: bajo.
Otros	*a)* tamaño del huerto <5 (ha) y *b)* tipo de tenencia: pequeña propiedad y ejido.

Fuente: elaboró Alfonso Moreno de Gante con base en prácticas de campo.

algunas especies pueden soportar temperaturas bajas durante periodos cortos, con precipitaciones de 125 mm en verano, por lo que los tipos climáticos donde prosperan, serían según Köppen: BS como semiárido y BW muy árido. El estado de madurez al cosechar es determinado por lo siguiente: *a)* el tamaño del fruto; *b)* los cambios externos en coloración; *c)* la firmeza del fruto entero y *d)* el aplanado de la cavidad floral.

Un aspecto del desarrollo reproductivo del nopal tunero es el hecho de que el periodo de diferenciación floral, apertura de flores y los primeros 30 a 40 días del desarrollo del fruto, se llevan a cabo bajo condiciones de sequía extrema ya que los porcentajes de humedad del suelo son inferiores a 10%. El nopal tunero tiene una alta eficiencia reproductiva bajo estos niveles de humedad.

Climáticamente, el fruto de tuna requiere de aproximadamente seis meses para madurar, después de que aparecen los primeros brotes, ocurre normalmente

a fines de diciembre; sin embargo, las heladas los afectan, por lo que éstos vuelven a aparecer a fines de febrero y principios de marzo. Si se presentan temperaturas muy frías, puede darse el caso de que haya brotes a fines de marzo y principios de abril, o en su caso extremo, éstos no se dan.

Si el factor sequía se prolonga durante los meses de junio y julio, se reduce severamente el tamaño final que alcanzan los frutos. Se ha observado que cuando la planta llega a sufrir daños por heladas ésta es capaz de dar una segunda floración. La producción obtenida y el tamaño de los frutos es menor, además de verse afectada su comercialización, por competir con otras frutas de temporada (durazno y ciruela).

Región en estudio

La Región del Distrito de Desarrollo Rural (DDR) Zumpango, Estado de México, es conocida como Valle de la Tuna, pues es la que tiene la mayor superficie cultivada de este producto en la entidad y en el país. Tiene además un carácter estratégico en su localización, pues goza de gran cercanía con el mayor centro de consumo del país, el área metropolitana de la Ciudad de México.

Ubicada en la parte noreste del Estado de México, colinda al norte y al este con el estado de Hidalgo, al sur con los municipios de Tepetlaoxtoc, Papalotla, Chiautla, Chiconcuac y Atenco y al oeste con los municipios de Tecámac y Ecatepec. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 19° 35’ 00’’ y 19° 58’ 00’’ de latitud norte y de 98° 34’ 50’’ y 99° 07’ 06’’ de longitud oeste. La región en estudio está integrada por siete municipios, con una superficie de 908.17 km^2 que corresponde al 4.23% del territorio estatal (GEM, IIIGECEM, 1995).

En esta región destacan en la producción y en los rendimientos de tuna los municipios de San Martín de las Pirámides, Axapusco, Teotihuacán, Otumba, Nopaltepec, Temascalapa y Acolman, los cuales alcanzan en promedio 12 ton/ha, cifra alta respecto a los obtenidos en otras regiones del país.

La comercialización de la tuna en la región Zumpango

La comercialización de la tuna sigue ciertos procesos después de su corte, el cual comienza con su traslado a plantas desahuatadoras, donde el fruto se somete al proceso de desespinado, selección, empaque y posteriormente se transporta a los lugares de venta. La producción se vende en cajas de madera de 25 kg y las calidades son

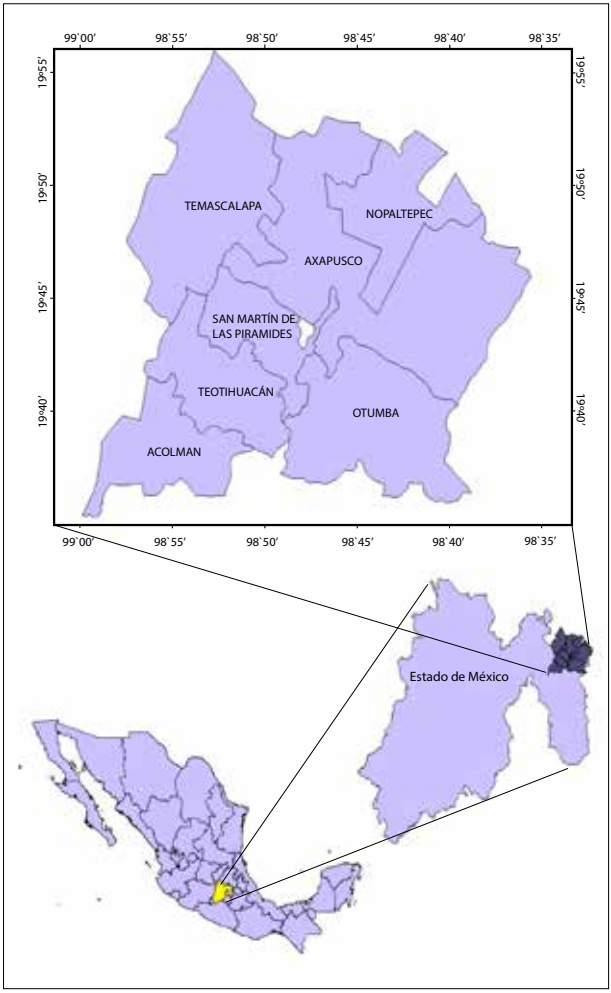


Figura 2. Localización de la región en estudio.

Fuente: elaboró Alfonso Moreno de Gante.

de primera, segunda y tercera. Se lleva después a los mercados, tianguis regionales, centrales de abasto y tiendas de autoservicio o incluso al exterior del país (Figura 3).

El principal tianguis de la tuna es el de San Martín de la Pirámides, aunque existen otros como el de Santiago Acolman que también cuentan con gran importancia. En total se identificaron 26 puntos de comercialización (tianguis y mercados públicos) de la tuna en el trabajo de campo (Cuadro 4). Los principales mercados (San Martín de las Pirámides y Santiago Acolman) se encuentran a las orillas de la carretera Pirámides-Tulacingo, lo que facilita su acceso.

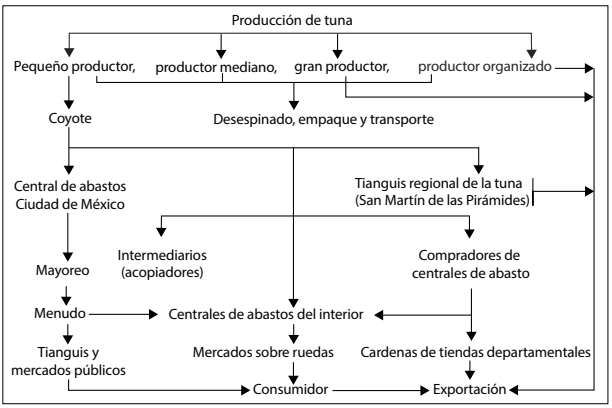


Figura 3. Canales de producción y comercialización de tuna.

Fuente: elaboró Alfonso Moreno de Gante.

El primero de los mercados es el más tradicional y antiguo, además de ser el más grande, ya que la mayoría de los pequeños y medianos productores ofertan aquí su producto. En estos tianguis según datos recabados en el trabajo de campo se comercializa alrededor del 70% de la producción de la región. Como sucede con muchos productos agrícolas, la producción de tuna es realizada por pequeños productores, que muchas veces venden su mercancía a "coyotes" a bajos precios quienes ofrecen un pago bajo, pero rápido, mientras que los productores medianos y grandes cuentan con mayor capital e infraestructura para cosechar y comercializar el producto.

A estos mercados acude todo tipo de intermediarios, como son los de la Central de Abastos de Iztapalapa y de otros estados, tiendas de autoservicio y

Cuadro 4. Tianguis y mercados públicos para el comercio de tuna en la región en estudio en 2005

Municipio	Tianguis	Mercados públicos
Acolman	1	1
Axapusco	7	0
Nopaltepec	2	0
Otumba	1	1
S. M Pirámides	1	1
Temascalapa	7	0
Teotihuacán	2	2
Total	21	5

Fuente: SEDECO-EDOMEX (2005).

medianos comerciantes, quienes son los que generalmente fijan el precio de la tuna, con base en la oferta y demanda del producto en los mercados de consumo.

La principal ventaja de los productores al comercializar en los tianguis es que el pago es al contado. Los tianguis y mercados públicos cobran mayor dinamismo desde fines de mayo, cuando comienza la cosecha, y hasta que se termina la temporada a finales de octubre. Se comercializa en ellos todo el día y los precios generalmente van disminuyendo con el paso de las horas desde su apertura.

Un alto porcentaje de la producción de tuna en la región se lleva después de los mercados regionales a la Central de Abasto de Iztapalapa, en la Ciudad de México. Normalmente los bodegueros de ésta acuden al tianguis regional y compran tuna a varios productores. El precio es fijado por el comprador y está en función de la oferta y la demanda y de la calidad del fruto. Algunos productores de la región cuentan con sus propias bodegas en la central de abasto, en donde comercializan su producto directamente, e incluso la producción de otros productores de la región a quienes compran su mercancía. Sin embargo, el número de productores que se encuentran en este caso es mínimo. Desafortunadamente dentro de la Central, la tuna no se vende en los pasillos principales como el plátano, melón, naranja y sandía, sino en los secundarios donde hay menor afluencia de personas, lo que afecta negativamente las ventas del producto.

Aunque la distancia y tiempo que toma transportar el producto desde San Martín de las Pirámides hasta la Central de Abastos de Iztapalapa es poco, pues se encuentra situada a 45 km de distancia, la mayoría de los productores enfrentan dificultades para poder hacerlo por sus propios medios, entre ellos accidentes automovilísticos, ponchaduras de llantas y asaltos en la carretera o en la misma Central. Adicionalmente, este traslado implica una serie de gastos que a menudo no compensan los ingresos adicionales obtenidos por el producto: gasolina, caseta de cuota e imprevistos, así como aquéllos que deben cubrirse por cada caja de tuna que ingresa a la Central de Abastos, la maniobra y derecho de bodega, etc. Algunos así llevan su producción a otras ciudades como Cuautla y Guadalajara, lo que representa una organización colectiva entre grupos de productores que se asocian para solventar los gastos implícitos en ese traslado.

Otras centrales de abasto también participan en los tianguis regionales, como por ejemplo la central de abastos de Ecatepec, cuya distancia de la región es aún menor que en la de Iztapalapa. Sin embargo, la importancia de éstas es menor en comparación con la de la Ciudad de México.

A diferencia de los comercializadores de la central de abastos, las tiendas de autoservicio que compran la tuna directamente en los mercados y tianguis regionales, Wal-Mart, Comercial Mexicana y Soriana, no pagan inmediatamente,

sino a los 15 o 30 días después de recibir la mercancía. Esto representa un costo de financiamiento importante que los pequeños productores no pueden aceptar, por ello es que no se recurre de manera constante a estos agentes, los cuales además son demandantes de grandes volúmenes.

En el estudio de campo se encontró que los productores de la región sólo tuvieron experiencias comerciales con la Comercial Mexicana, pues argumentaron que Wal-Mart es muy estricta en calidad, además que les exige la entrega del producto en cada una de sus tiendas, a diferencia de la primera que ellos mismos distribuyen en todas sus tiendas. Otra ventaja de la Comercial Mexicana es que ellos aportan la reja de plástico en donde se coloca la tuna, lo cual representa un ahorro para el productor.

Los productores que no cuentan con recursos suficientes para transportar y empacar la tuna venden su cosecha a intermediarios, que en algunos casos son productores de la misma región que cuentan con recursos suficientes o en algunos casos bodegueros de la Central de Abastos de Iztapalapa. En estos casos el trato se efectúa aproximadamente en los meses de abril a mayo y el comprador se compromete a pagar todos los gastos que incluye la cosecha (cortadores, cajas, etc.), dado que compra toda la producción con anticipación. Cabe destacar que este tipo de contratos a la palabra conllevan un cierto grado de riesgo para ambas partes.

Como puede percibirse en los párrafos anteriores, el mercado de la tuna se caracteriza por un elevado nivel de intermediarismo, lo que dificulta la comercialización, presiona a la baja los precios que recibe el productor y eleva los precios del consumidor de acuerdo con el tamaño de la cadena de intermediación (Higuera, 1996). Los intermediarios ejercen un estricto control del mercado, por medio de sus gestiones de negociación, dados los amplios recursos económicos y relaciones comerciales que poseen.

Aunado a esto, la falta de organización, los escasos recursos económicos, el desconocimiento de mercado y la falta de capacitación de los productores, entre otros, ocasionan que permanezca la intermediación. Los márgenes de comercialización de la tuna son muy fluctuantes, debido a que todo producto agrícola está en función directa de la estacionalidad de la producción, de la oferta-demanda y del papel que desempeña el intermediarismo. Estos aspectos son aprovechados para elevar el precio, ocasionando que las utilidades más altas se obtengan en el proceso de comercialización del producto y como resultado de esto, el menor beneficiado es el productor.

Un aspecto que vale la pena destacar es una trampa que realizan los productores al empacar la tuna, pues mezclan las calidades de tuna aun cuando se le pide únicamente tuna de primera o segunda. Tal situación ocasiona que los

compradores al darse cuenta regresen el producto y no se los liquiden, además que ocasiona una pérdida de credibilidad y de confianza en la relación comercial.

En cuanto a la disponibilidad de recursos, algunas limitaciones para la comercialización de la tuna son de carácter endógenas y exógenas. Entre las primeras se encuentran los recursos humanos, financieros y tecnológicos, entre las segundas, la infraestructura nacional, regional y local, así como las de carácter administrativo (SARH, 1993).

En respuesta a estas problemáticas, la constitución de organizaciones de productores es un fenómeno de importancia, pues ello significa la posibilidad de reducir costos, mejorar las escalas de comercialización, acceder a nuevos mercados, etc. En la región en estudio se detectaron 134 organizaciones constituidas desde 1997, según estadísticas del Gobierno del Estado. Sin embargo, es preocupante que el gobierno estatal reconoce que no se les ha dado un seguimiento, lo que implica, por un lado, que la cifra pudo haberse modificado y, por el otro, que no hay cercanía de las autoridades a este tipo de organizaciones y por ello a la problemática del producto en la región. En el Anexo 1 se incluye la mencionada lista de organizaciones de productores.

Los criterios de calidad en la comercialización

En el caso de la tuna y de muchos productos alimentarios, la calidad está asociada a las características de tamaño, color y forma. Con base en ello, Moreno y Campos (1997) sugirieron que el aspecto de los productos es el atributo de calidad que tiene mayor influencia en la determinación de su valor comercial de un producto, pues la gente "compra con los ojos". Para el caso de la tuna, según los estudios de campo realizados, los criterios de mayor importancia asociados con su calidad son el tamaño y su apariencia externa, atributos asociados de manera directa al aspecto del producto.

Asimismo, la calidad de la tuna se asocia con su presentación libre de espinas, con un buen nivel de desarrollo, entera, sana, fresca, limpia, de consistencia firme y cascara lisa. Adicionalmente debe presentarse envuelta de manera individual en papel.

La existencia de normas de calidad para frutas es importante porque permite que las operaciones comerciales sean más justas, de manera que a mayor calidad corresponda un mejor precio. Para ello está la NOM-FF-30 Norma Oficial Mexicana para la Tuna en estado fresco en la cual se especifican las características que deben reunir los frutos en relación con sanidad, apariencia y tamaño. Lamentable-

mente la norma aplica para todas las especies de cactáceas del género Opuntia, lo que implica que haya ciertas ambigüedades en cuanto a la clasificación de la tuna.

La norma NOM-FF-30 establece las especificaciones mínimas de calidad que debe cumplir la tuna (Opuntia spp) de la familia de las cactáceas en todos sus tipos comerciales, para ser comercializada en estado fresco y en territorio nacional, después de su acondicionamiento y envasado. Se excluye la tuna para el procesamiento industrial. Además de la norma citada, las normas NOM-FF6 (Definición de futas frescas), NOM-FF-9 (Determinación del tamaño con base en el diámetro ecuatorial en frutas frescas) y NOM-FF-15 (Determinación de sólidos solubles totales en frutas frescas) son aplicables a la tuna. Estas normas deben cumplir las siguientes especificaciones, las cuales se verifican sensorialmente:

a) estar enteras,
b) de consistencia firma,
c) estar sanas, excluyéndose todo producto afectado por pudrición o que esté deteriorado de tal manera que no sea apto para su consumo,
d) estar limpias, exentas de materia extraña visible (tierra, manchas o residuos de materia orgánica),
e) estar exentas de humedad exterior anormal,
f) estar exentas de daños causados por plagas o enfermedades,
g) estar exentas de cualquier olor y/sabor extraño,
h) presentar un desarrollo y grado de madurez suficiente que permita el transporte, manejo y la llegada a su destino en condiciones satisfactorias.

Sin embargo, también es cierto que a menudo la calidad pasa a segundo término (o a tercero o cuarto) en la determinación de los precios del producto y otros elementos afectan de manera relevante los precios. El más importante es sin duda las condiciones de mercado, es decir, la oferta y la demanda en el mercado local. Con ello se pierde la relación positiva entre calidad y precio, lo que genera una pérdida de incentivos para una producción que cuente con atributos cualitativos positivos.

De acuerdo con el estudio de campo, la tuna en la región en estudio se ubica en los grados de calidad: extra, primera y segunda, así como la tuna que no cumple con los requisitos de esta norma. En cuanto al código de tamaño, las tunas de la región se encuentran básicamente entre la letra a y la e. Esto significa que en la región de Zumpango, la producción de tuna presenta una gran heterogeneidad.

En un estudio en Estados Unidos, Cantwell (1992) señaló que los principales defectos que presentó la tuna fueron la apariencia no atractiva, daños mecánicos,

deshidratación, presencia de aguates, decoloraciones superficiales, pudriciones, variaciones no deseables de formas y tamaños. Además señaló que los problemas de la calidad de la tuna se concentraron en los daños en la cáscara y al cortar, vaciar, tirar y el proceso de desahuatar.

El comportamiento de los precios y márgenes de comercialización

El precio de venta tanto en el mercado externo como en el interno es muy variable, ya que intervienen en su fijación las fuerzas de la oferta y la demanda e importantes elementos de especulación. Los agentes más relevantes que participan en la determinación de los precios en el mercado son el recibidor (*broker*) y el mayorista (Flores, 1994). Ellos constituyen el punto de enlace entre los productos agrícolas mexicanos y los diferentes niveles de consumo en México y Estados Unidos, ya sea con los mercados terminales, mayoristas y supermercados.

Para el caso del producto de exportación, una forma común de operar de estos agentes, consiste en indicar a las receptoras ubicadas en las aduanas la cantidad de producto que requiere acopiar y el precio que están dispuestos a cubrir según la rapidez con que se requiera el pedido. Así, los compradores a lo largo del territorio nacional se encargarán de ir cubriendo la cantidad establecida por los agentes exportadores del producto.

Para el mercado nacional, lo que más influye en la fijación del precio es la oferta y demanda del producto en las centrales de abasto del país. Particularmente, como se mencionó con anterioridad, la Central de Abasto de Iztapalapa es la que mayor influencia tiene en los precios, aunque también las de Guadalajara, Cuautla y Monterrey influyen de manera importante. En el Cuadro 5 se destacan las variaciones de precios según diferentes orígenes de producción en varios años.

De la información de este cuadro se desprende que el origen es importante en la determinación de los precios, pero también lo son las condiciones en el mercado, pues en la región de Zumpango, la de mayor importancia en el país, los precios generalmente son bajos, mientras que en otros espacios de producción, pueden ser mejores. Incluso dentro de la región en estudio se observan las diferencias de precios de uno a otro municipio.

Se observa también que existe una importante variabilidad de los precios año con año, lo cual es un factor que afecta negativamente a los productores, pues les da poca capacidad de planeación y nulas posibilidades de conseguir financiamientos por el riesgo que representa su producto. En estos aspectos negativos

Cuadro 5. Precio por tonelada según origen de la tuna variedad Alfajayucan en 2004-2006

Estado	2004	2005	2006	Promedio
Guanajuato	$2 767	$ 2,238	$2 824	$2 610
Hidalgo	$1 303	$1 302	$1 328	$1 311
San Luis Potosí			$2 094	
Zacatecas			$1 502	
Región en estudio				
Acolman	$1 000	$2 700	$1 500	$1 733
Axapusco	$1 000	$2 700	$1 700	$1 800
Nopaltepec	$1 000	$2 700	$2 000	$1 900
Temascalapa	$1 000	$2 700	$1 700	$1 800
Teotihuacán	$1 000	$2 700	$1 700	$1 800
Otumba	$1 000	$2 700	$1 800	$1 833
San Martín de las Pirámides	$1 000	$2 700	$1 750	$1 817
Promedio	$1 000	$2 700	$1 736	$1 812

Fuente: elaboró Alfonso Moreno de Gante con base en el SIAP (2006).

hace falta una presencia estatal que contribuya a la creación de mayor certidumbre y nuevas alternativas de comercialización para los productores.

También es importante considerar los efectos estacionales que presenta este producto, el cual afecta de manera relevante sus precios. Por ello se estimaron, a partir de los datos ofrecidos por el Servicio Nacional de Información e Integración de Mercado (SMIIM) de la Secretaría de Economía, los precios mensuales de la tuna en la Central de Abasto del Distrito Federal entre 1997 y 2007 en los meses de mayor dinamismo de este producto.

Este comportamiento se presenta en el Cuadro 6, en donde se identifica un promedio de precios más altos conforme la cosecha va decayendo, esto es, conforme pasan los meses de mayor producción. También se aprecia que los precios se mantuvieron relativamente estables a lo largo de los años, con incrementos en 2002 y 2003 y nuevamente para 2006 y 2007. Cuando estos precios se descuentan por inflación, es claro que presentaron un decremento con el paso del tiempo, lo que significó un deterioro en los ingresos para los productores.

De manera similar a los precios, los márgenes de comercialización fueron muy fluctuantes en el periodo del análisis, tal como se aprecia en el Cuadro 7; en éste se identifica que la región en estudio es la que más altos rendimientos pre-

Cuadro 6. Precios promedio de kg de tuna en la central de abasto de Iztapalapa

Año	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Promedio
1997		2.61	2.1	2.94	3.72		2.90
1998		2.75	2.89	4.34			3.37
1999		3.69	2.08	2.74	4.23		3.23
2000		2.60	2.31	4.14	5.95		3.79
2001		3.36	2.48	3.67			3.18
2002	4.80	4.01	2.72	3.50	5.64	7.00	4.61
2003	6.00	3.26	2,15	3.70	6.27		4.28
2004		3.91	2.62	2.65	4.55		3.43
2005		4.05	2.91	4.94			3.97
2006	5.36	3.64	2.85	3.85	5.39	5.91	4.50
2007		4.95	4.13	5.43	6.46	5.91	5.38

Fuente: SE, varios años; SNIIM.

Cuadro 7. Rendimiento de la tuna variedad Alfajayucan en 2004-2006 (ton/ha)

Estado	2004	2005	2006	Promedio
Guanajuato	4.21	4.63	4.84	4.56
Hidalgo	6.79	5.99	6.24	6.34
San Luis Potosí			6.50	
Zacatecas			3.83	
Región en estudio				
Acolman	9.70	8.90	8.30	8.97
Axapusco	11.3	10.10	11.30	10.90
Nopaltepec	12.00	11.10	12.60	11.90
Temascalapa	10.30	8.90	9.10	9.43
Teotihuacán	10.60	11.00	9.20	10.27
Otumba	11.60	9.40	10.00	10.33
San Martín de las Pirámides	11.93	10.60	10.33	10.95
Promedio	11.06	10.00	10.11	10.39

Fuente: elaboró Alfonso Moreno de Gante con base en el SIAP (2006).

senta a nivel nacional, con resultados relativamente estables pero decrecientes en el periodo estudiado. Dentro de la región también se identifican diferencias entre los municipios que lo integran, aunque no en la variabilidad que presentaron las otras entidades.

Los conflictos en la comercialización de tuna

Al igual que muchos otros cultivos agrícolas, el proceso de comercialización es el cuello de botella que obstruye la mejoría de las condiciones de vida de los productores, pues los patrones vigentes de mercadeo no contribuyen a capitalizar a los productores tuneros de estos municipios. Al igual que sucede con otros productos, se tiene presencia en el comercio de la tuna de numerosos agentes que influyen en ella, algunas veces de manera negativa para los productores y los consumidores y algunas otras haciendo eficiente las cadenas de comercialización del producto.

En los municipios en estudio se identificó que los acopiadores rurales comercializan el 80% de la producción de toda la región, lo que significa un nivel muy importante de concentración del producto en unas cuantas manos. Entre estos acopiadores se encuentran algunos originarios de la región, los menores en cantidad, y otros más externos a dicha región, quienes instalaron bodegas de forma permanente en las cabeceras municipales en donde concentran la tuna que adquieren de los productores a precios muy bajos inmediatamente después de la cosecha. Lo anterior se sustenta en la escasa capacidad de negociación que posee el producto, debido en gran parte a la falta de organización para la comercialización, la inadecuada capacitación para la venta de sus productos y la inexistencia de infraestructura comercial, así como su limitada liquidez.

Además, el mercado de exportación está sujeta en muchas ocasiones a la poca seriedad y honradez de los intermediarios y compradores (COMETUNA, 2001), los cuales a veces no liquidan los envíos de tuna blanca procedentes de la región, lo cual descapitaliza a los productores y puede suspender la producción en algunos casos.

Por otra parte, los problemas de comercialización más sentidos por parte de los intermediarios son, en primer lugar, que los productores no realizan un serio control de calidad con la fruta, de esta manera se ven reducidas las ganancias de los intermediarios que venden al menudeo. Aquí aparecen ciertas características técnicas del producto que influyen en su calidad: tamaño chico, color no uniforme por la falta de madurez, o bien, porque no se coloca rápido en mercado

y aparecen manchas cafés, existencia de espinas, golpes por el mal manejo en la cosecha y postcosecha, enfermedades o afectaciones climatológicas como agrietamiento y malformaciones, e inadecuada presentación del fruto, entre los que se encuentran un mal empaque, falta de limpieza, sin vigor y falta de brillo.

Bautista (1982) y Vélez (1994) concluyeron que el principal problema del acondicionamiento se centra en el proceso de desahuatado, el cual se realiza en forma manual con escoba, lo que causa considerables daños a la tuna y constituye uno de los principales factores que afectan el grado de duración del fruto. Asimismo, la tecnificación de la producción de tuna ha traído como consecuencia un gran incremento en la productividad, lo cual ocasionó una sobreoferta, lo que trajo como consecuencia la necesidad de crear una agroindustria que aproveche la sobreproducción y evitar de tal forma el desperdicio de la cosecha. También es común encontrar problemas en la fase de empacado, pues implica el uso de diferentes tecnologías que a menudo cuesta mucho esfuerzo estandarizar para ofrecer un producto homogéneo.

Normalmente el producto se comercializa sin un proceso de beneficio sistematizado que lo limpie de espinas con una máquina desahuatadora adecuada a las características del fruto. Tampoco existen equipos que seleccionen y empaquen de acuerdo con las necesidades del mercado, lo que significa que el nivel tecnológico con el que se cuenta es muy bajo y por ello no se pueden abaratar de manera sustancial los costos del procesamiento.

En segundo lugar, los precios son muy fluctuantes, pues no se estandarizan y las ventas son muy irregulares, por lo tanto se corren riesgos, pues muchas veces el comprador exige precios por abajo del costo de producción. A esto se suma la competencia con otras entidades, que presiona a la baja a los precios.

A estos aspectos negativos se suma que no existe un mercado asegurado con anticipación, no se cuenta con espacios de acopio y almacenamiento adecuados para la conservación de la tuna, la infraestructura de transporte es mala y su equipamiento limitado, se presenta una desarticulación de la cadena productiva, ya que los procesos de producción y comercialización se dan por separado y la falta de un sistema de información de mercado donde se obtengan datos precisos para su mejor comercialización.

A manera de ejemplo, se cita la experiencia de un grupo de productores que se decidieron a exportar su producto a Estados Unidos desde San Martín de la Pirámides. Desafortunadamente contaron con una mala organización, a lo que se sumó una deficiente asistencia técnica y la poca experiencia en este tipo de procesos les causó que su proyecto fuera un fracaso. Uno de los errores más destacados fue que no se hizo un contrato de compraventa por escrito donde se definieran los

derechos y obligaciones de las partes, sino que el contrato sólo se hizo de palabra. Evidentemente esto restó estabilidad y seguridad a los productores.

Adicionalmente, la decisión de exportar fue tomada principalmente por los productores, sin tener bien planeados los pasos a seguir. Por lo tanto, la producción no estaba preparada, faltaron materias primas relacionadas con el empaque debido a incumplimientos con los proveedores de cajas y papel, el transporte no estuvo listo, hubo desfases en los procesos de producción y preparación del producto y una buena parte de la producción no contó con la calidad exigida en el mercado de exportación. Todos estos errores causaron desconfianza entre los compradores y los mismos productores, por estas razones el grupo se desintegró.

Experiencias de este tipo son comunes en todos los productos y en todos los municipios del país, pues es muy común que las buenas intenciones superen las habilidades y los conocimientos de los productores y el resto de los actores que los impulsan a emprender este tipo de iniciativas. Lamentablemente los fracasos suceden con una alta frecuencia y ello desalienta el cooperativismo que es necesario para estos productores.

Posibilidades de innovación con la tuna para los productores de la región Zumpango

Cuando se logra una cosecha abundante del nopal y tuna, la cual supera el consumo, se derivan cuantiosos desperdicios de estos recursos. Si se industrializa una cierta cantidad de ellos, se podría prolongar su vida de anaquel o almacenamiento y la variedad de productos que se podrían elaborar no sólo diversificaría su mercado, si no que se abriría la oportunidad de obtener mayor beneficio económico para las comunidades productoras.

Por ello, el desarrollo de tecnología para el aprovechamiento agroindustrial del nopal (Pimienta, 1991) puede ser utilizado para aprovechar los excedentes de la producción y también aquellos frutos que no reúnan las normas de calidad requeridas en los mercados nacionales e internacionales. Esto implica que la creación de agroindustrias rurales, orientadas al aprovechamiento del nopal tunero, traería múltiples beneficios, por ejemplo: la creación de fuentes de empleo, mejoramiento económico del productor y recolector de tuna, ingreso de divisas y arraigo del campesino entre otros.

En México no existe una industria procesadora para este producto. Los factores que han inhibido su desarrollo radican en buena medida en los problemas tecnológicos para la elaboración de néctares y jugos, en especial la eliminación

de la semilla y la obtención de un producto homogéneo y estable. También es relevante que el mercado para estos productos procesados es escaso y debe ser construido.

La tuna es un producto del que la pulpa comestible constituye entre 60 y 75% del fruto. En este sentido, diversos estudios han evidenciado la posibilidad de obtener una gran cantidad de productos alimenticios adicionales, entre los que destacan mermelada, tuna de almíbar, tuna cristalizada, ate, néctar y jugo concentrado. Entre éstos, el queso de tuna es el producto derivado de mayor consumo (Flores *et al*., 1995). Lamentablemente no existe un proceso tecnificado que garantice higiene y calidad, pues se trata de procesos artesanales con muchos problemas de sanidad que impiden las exportaciones. Por ejemplo, en el jugo de tuna, los principales problemas son de fermentación indeseable, clarificación y estabilidad del producto, lo cual es evidencia de que no se cuenta con los procesos adecuados para resolver estos problemas.

Además, diversos productos industriales o biotecnológicos, como son pectinas, celulosa, colorantes, aceite comestible de la semilla y azúcares (glucosa y fructosa) se pueden emplear para la producción de proteína unicelular, alcohol, aguardiente y jarabes fructosados (aditivos, edulcorantes o espesantes) para la industria alimentaria, que se pueden utilizar en la elaboración de leche fermentada de sabores (yoghurt), gelatinas, leches pasteurizadas de sabores, confitería, bebidas en polvo, embutidos, panadería y productos farmacéuticos. Finalmente, este producto también puede ser utilizado para la elaboración de pasta forrajera (Corrales, 1992).

Reflexiones finales

La problemática que enfrentan los productores de tuna de la región Zumpango en el Estado de México es delicada, pues a pesar de ser la principal región productora de este bien agrícola, las características en las que se realiza limitan las posibilidades de un mejoramiento de sus condiciones de vida.

Del trabajo de campo realizado y del ejercicio teórico es posible concluir, tal como lo destacan otros análisis sobre productos agropecuarios, que la cadena de comercialización de la tuna en la región de Zumpango se identifica con una guía por los compradores (*buyer-driven chain*) en la que los productores de esta mercancía son pequeños y compiten en un mercado donde hay grandes actores que acopian el producto, imponen precios y lo comercializan en grandes volúmenes hacia los mercados de consumo sin que puedan distinguirse marcas del producto.

Desde el segundo enfoque, la tipología en la que se ubica a la tuna es la de mercado, pues no existen formas de integración entre los comercializadores del producto y los productores, sino que la relación es sólo en los mercados, donde se busca definir un precio de acuerdo con negociaciones específicas según la habilidad de los participantes.

En ambos casos, las posibilidades de mejoría se orientarían a la diferenciación, lo que implicaría esfuerzos importantes de innovación tecnológica, lo que significa también importantes inversiones económicas y la coordinación institucional interna y externa, tal como los proponentes del desarrollo local lo establecen.

Quedó claro que el volumen no necesariamente se asocia a la productividad, mucho menos a la calidad del producto. Además es evidente que las condiciones en las que se realiza la comercialización requieren de grandes inversiones para que los productores puedan avanzar en una integración hacia delante.

Es necesaria también la presencia de más técnicos y consultores especialistas en el cultivo, pues los intentos conocidos de innovación tanto en la producción como en la comercialización han resultado en fracasos, lo que agranda aún más la desconfianza de los productores.

Con la desgravación arancelaria bajo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las exportaciones de tuna fresca a Estados Unidos y Canadá quedaron exentas del pago de arancel (SIAP, 2001). El Tratado de Libre Comercio entre la Unión Europea y México (TLCUEM), otorgó facilidades a nuestro país para el ingreso de sus productos agropecuarios al mercado europeo, pues permitió el acceso inmediato y libre de arancel a varias frutas mexicanas: guayaba, mango, papaya, tamarindo y algunas frutas de especialidad en las que México tiene fuerte potencial, tales como la tuna (*Ibid.*). Esto significó la apertura de los mercados a los que se tendría la posibilidad de acceder, pero los problemas técnicos han impedido en la actualidad que estos nuevos mercados puedan explotarse.

Aquí es donde se destaca la necesidad de una participación estatal más eficiente, pues la actual participación de la comisión nacional de zonas áridas (CONAZA), que pertenece a la Secretaría de Agricultura (SAGARPA) y con la formación del Consejo Nacional de Nopal y Tuna (COMETUNA) ha mostrado resultados muy pobres. Éstos solo se limitaron a la constitución de una organización de Sociedad de Solidaridad Social llamada «Productores del Sol de Teotihuacán» que actualmente está integrada por aproximadamente 70 productores (COMETUNA, 2001).

A este producto tan emblemático para nuestro país, es preciso darle un mayor valor y permitir que quienes participan en su producción puedan acceder a mejores niveles de vida.

Anexo

Tabla 1. Asociaciones de productores-comercializadores de tuna en 2004

Nombre de la Asociación	Núm. de socios	Dirección
Organización Productiva de Nopal y Tuna Atlatongo	7	D/C Atlatongo, Teotihuacán
Grupo Emiliano Zapata Tlacatelpa	7	D/C Zacualuca, Teotihuacán
Organización Productiva de Nopal y Tuna La Colonia Agrícola del Progreso	13	D/C San Isidro del Progreso, Teotihuacán
Organización Productiva de Nopal y Tuna Temeyo	10	D/C Maquisco, Teotihuacán
Grupo Santiago Tepetitlán	35	D/C Santiago Tepetitlán, Teotihuacán
Grupo Actipac	19	D/C San Agustín Actipac, Teotihuacán
Grupo Ejido Santa María Coatlán	8	D/C Santa María Coatlán, Teotihuacán
Grupo Mazapa	12	D/C San Francisco Mazapa, Teotihuacán
Productores de Nopal y Tuna Aguirre	6	D/C Atlacingo, Teotihuacán
Grupo Tlaxinga	6	D/C San Lorenzo Tlalmimilolpan, Teotihuacán
Grupo Purificación	32	D/C Purificación, Teotihuacán
Grupo Ejido Tlaxinga	6	D/C San Sebastián Jolalpan, Teotihuacán
Asociación de Tuneros Agros del Padre Tembleque	11	C. Reynosa No. 25, Col. Roma, Nopaltepec
Grupo de Productores de Tuna y Xoconostle El Llano	20	D/C San Felipe Teotitlán, Nopaltepec

Cactus Teotitlán	40	D/C Nopaltepec
Grupo Alameda.	30	Hidalgo S/N, San Miguel Atepoxco, Nopaltepec
Grupo Productores de Tuna Tenango	22	1°. de mayo S/N, San Felipe Teotitlán, Nopaltepec
La Mascota	14	Entre Bolivia, Nopaltepec
Asociación de Productores de Nopal Verdura Lerma	18	Delegación Municipal Lerma, Metepec
Asociación de Productores de Tuna, Xoconostle y Maguey Coyotepec	7	D/C San Miguel Xolco, Otumba
Asociación de Productores de Tuna, Nopal y Xoconostle "Progreso"	17	C. Durango No. 5, Cuautlacingo, Otumba
Grupo de Productores de Tuna y Xoconostle La Mocha	8	D/C Buenavista, Otumba
Productores Asociados de Tuna de S. Tolman Chiconquiaco	20	Av. México No. 5, Santiago Tolman, Otumba
Grupo de Productores de Nopal, Tuna y Xoconostle El Arbolito	28	Av. Teotihuacán S/N, Oxtotipac, Otumba
Grupo de Productores de Tuna y Xoconostle La Calera.	11	2a. de la Trinidad S/N, Otumba
Xoconostle "Nuevo Ingreso"		Tlaltica, Otumba
Grupo de Tuna, Nopal, Xoconostle y Productos Agropecuarios Zoapayuca	19	C. Ángel María Garibay No. 4, Otumba
Grupo de Productores Rurales de Tuna y Xoconostle Tlalmimilolpa	13	D/C Tlalmimilolpa, Otumba
Grupo de Productores de Nopal y Tuna Milton	10	C. del Beso No. 24, Cuautlacingo, Otumba
Grupo de Productores de Santa María Las Palomas	42	C. Guillermo Prieto S/N, Cuautlacingo, Otumba
San Isidro de Tlaltica	37	D/C San Francisco de Tlaltica, Otumba
Grupo Totolapa	38	D/C Cuautlacingo, Otumba
Asociación Local de Productores Rurales Oxtotipac	95	C. Las Grutas No. 3, Oxtotipac, Otumba

Grupo Tepatzingo Productores de Nopal Tunero Verdura y Xoconostle	40	D/C San Pablo Ixquitlán, San Martín de las Pirámides
Grupo Tomatlán	7	D/C San Martín de las Pirámides
Unión de Productores de Tuna y Xoconostle San Martín	10	D/C San Martín de las Pirámides
Grupo San Felipe Zacatepec	61	D/C en San Felipe Zacatepec, Axapusco
Grupo de Productores de Tuna y Xoconostle Atla	20	D/C Tecuatitlán, Ata, Axapusco
Grupo San Antonio Ometusco	15	D/C San Antonio Ometusco, Axapusco
Grupo San Bartolo Bajo	15	Axapusco
Grupo San Miguel Ometusco	13	D/C San Miguel Ometusco, Axapusco
Grupo Antonio Cayuca	6	D/C San Antonio Coayuca, Axapusco
Grupo Axapusco	14	Manzana 2, Barrio San Martín Axapusco, Axapusco
Grupo Cervantes y Asociados	44	D/C San Pablo Xuchil, Axapusco
Grupo Hueyapan Número 2	11	D/C Axapusco
Grupo San Nicolás	26	D/C San Nicolás Tetepantla, Axapusco
Asociación de Productores de Tuna y Xoconostle Actipac	14	D/C Santa María Actipac, Axapusco
Grupo El Cerro	8	D/C Santa Ana, Axapusco
Grupo de Productores de Tuna y Xoconostle San Juan Bautista	12	C. Rafael Onde s/n, San Juan Teacalco, Temascalapa
Grupo de Productores de Nopal, Tuna, Xoconostle Alfa	13	C. Arteaga No. 1, Santa Ana Tlachiahualpan, Temascalapa
Consejo Mexicano de la Tuna	ND	Santiago Tolman, Municipio de Otumba

Fuente: Gobierno del Estado de México (2004), Dirección de Cultivos Intensivos.

Tabla 2. Parámetros y estadísticos de prueba de la bondad de ajuste a la distribución Gamma para el periodo mayo-octubre

Clave de la estación	Nombre de la estación	Longitud	Latitud	Años con información	Precipitación mínima	Precipitación máxima	Precipitación media	Parámetro de forma	Parámetro de escala	Valor calculado de Anderson-Darling	Valor crítico de Anderson-Darling	Valor-p
15117	Temascalcingo	-100.03	19.92	37	423	1 095	715	20.08	35.61	0.1175	0.7662	0.9960
14122	San Bernanrdo Teocalt	-102.33	21.63	40	251	851	523	12.09	43.27	0.1249	0.7193	0.9920
16100	Puente San Isidro	-101.53	19.85	31	512	993	772	44.61	17.31	0.1354	0.7404	0.9910
11008	Cañada González	-101.13	21.17	33	236	1 046	585	9.29	62.96	0.1414	0.7791	0.9870
15065	Otumba, Otumba	-98.75	19.70	28	234	752	432	15.81	27.32	0.1466	0.7551	0.9860
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
21080	San Salvador El Seco	-97.65	19.13	36	147	5,483	797	2.43	237.83	5.1384	0.7455	0.0000
10029	Asientos, Asientos	-102.09	22.24	43	0	718	373	5.60	68.11	1.2492	0.7194	0.0000
11026	Hacienda San Juan	-100.88	21.50	39	183	649	376	8.93	42.10	1.6732	0.7179	0.0000
14106	Paso de Cuarenta	-101.80	21.50	41	218	884	617	9.37	65.85	1.6690	0.7656	0.0000
15038	Joquicingo, Joquicingo	-99.57	19.03	38	0	2 334	996	16.01	63.86	1.4220	0.7284	0.0000

Tabla 3. Parámetros y estadísticos de prueba de la bondad de ajuste a la distribución Gamma para el periodo anual

Clave de la estación	Nombre de la estación	Longitud	Latitud	Años con información	Precipitación mínima	Precipitación máxima	Precipitación media	Parametro de forma	Parametro de escala	Valor calculado de Anderson-Darling	Valor crítico de Anderson-Darling	Valor-p
14108	Paso del Sabino	-102.53	21.32	28	378	963	653	22.64	28.85	0.1011	0.7747	0.9980
11124	El Chapín, Guanajuato	-101.25	20.87	25	354	1020	628	17.28	36.35	0.1208	0.6772	0.9960
14189	Tizapan, Tizapan (DGE)	-103.05	20.18	32	471	1190	762	14.95	30.52	0.1270	0.7319	0.9920
15184	Villa Guerrero, V. Gro.	-99.63	19.95	28	930	1776	1295	42.54	30.44	0.1316	0.7564	0.9900
15146	Pueblo Nuevo, San Felipe	-100.05	19.57	24	707	1233	969	65.53	14.78	0.1424	0.7340	0.9900
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
10029	Asientos, Asientos	-102.09	22.24	43	82	944	451	6.60	68.37	0.8777	0.7314	0.0200
21080	San Salvador El Seco	-97.65	19.13	36	192	5922	910	2.72	334.02	4.8215	0.8008	0.0000
15038	Joquicingo, Joquicingo	-99.57	19.03	38	12	2391	1080	4.3	251.13	4.0666	0.7741	0.0000
14099	Mazamitla, Mazamitla	-103.02	19.93	42	36	1578	1008	6.09	165.37	3.7873	0.7305	0.0000
16515	La Sandía	-101.67	19.25	22	114	1446	1035	7.46	138.74	3.152	0.7357	0.0000

Bibliografía

Afifi, T. and K. Warner (2007), *The impact of environmental degradation on migration flows across countries*, UNU-EHS working paper no. 3. Bonn.

Aguilar, S. G. (1995), "Diferenciación agroclimática en la región Queréndaro-Morelia", *Serie Varia*, núm. 13, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Álvarez, A. (1990*), Zonificación agroecológica de la soya (Glycine max L.) Merill en condiciones de temporal con dos niveles de inversión en la República Mexicana*, tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

Amador, O. (1989), *Respuesta a los rendimientos a factores relacionados con la producción de maíz de temporal en el área agrícola de Tejupilco. Estado de México*, tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Análisis de la duración del periodo de crecimiento [http://www.fao.org/docrep/w2962s/w2962s08.htm. 19 de agosto 2010].

Anzaldo, C. E. y A Barrón (2009), *La transición urbana de México* [http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm/sdm2009/04.pdf; consultado 10 de mayo de 2010].

Arteaga Ramírez, R., M. A. Vázquez Peña, P. M. Coras Merino y V. Angeles Montiel (2006), "Componentes de la estación de crecimiento, variación temporal y espacial en Chapingo, México", *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XXI, núm. 2, pp. 57-68.

Arnold, C. Y. (1959), "The determination and significance of base temperature in a linear heat unit system", *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci*., no. 74, pp. 430-445.

Arpaia, M. L., A. E. Fetscher and R. Hofshi (1991), *Avocado flowering basics. Agricultural and Natural Resources*, University of California.

Arpaia, M. L. (2004), www.avoadosource.com

Azkues, M. (2006), *La fenología como herramienta de la agroclimatología*, INIA-CENIAP-Agroclimatología, Caracas, Venezuela.

Bacsó, N. (1967), *Introducción a la Agrometeorología*, Instituto del Libro, La Habana, Cuba.

Barrientos, P. F. (1983), *Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiáridas de México (en recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México)*, Centro de Genética, Chapingo, México.

Bautista, C. R. (1982), *Los agrosistemas nopaleros del Valle de México*, tesis profesional, Departamento de Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Bonner, J. y A. W. Galston (1961), *Principios de fisiología vegetal*, Colección Ciencia y Técnica, Aguilar.

Bárcenas, O. A. (2004), *Fenología del Aguacate*, Diplomado del Cultivo del Aguacate, Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, UMSNH, Uruapan, Michocán.

Bassols Batalla, Á. (1967), *La división económica regional de México*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México.

Bassols Batalla, Á. (1972), *Geografía económica de México*, Teoría, fenómenos generales análisis regional, Trillas, México.

Bassols Batalla, Á. (1979), *México: formación de regiones económicas*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México.

Bassols Batalla, Á. (1989), "División regional físico y social", esc.: 1:8 000 000, hoja VI, 14.1 Regionalización Económica 1, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Bassols Batalla, Á. (1993), *México. Formación de regiones económicas*, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, pp. 401-418.

Bauder, H. (2006), Labor *movement: how migration regulates labor markets*, Oxfors, Oxford University Press.

Benanchio, S. S. (1982), *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el trópico Americano*, FONAIAP-Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura y Cría., Maracay, Venezuela.

Borras, P. S. (2006), "Refugiados ambientales: el nuevo desafío del derecho internacional del medio ambiente", *Revista de Derecho,* vol. XIX, no. 2, Catalunya, España, pp. 85-108.

Cabezas, C. S., J. J. Hueso M. y J. Cuevas G. (2003), *Estados fenológicos tipo del aguacate*, Universidad de Almería, España.

Calderón, E. (1993), *Fruticultura general. El esfuerzo del hombre,* Limusa, México.

Cantwell, M. (1992), "Algunas consideraciones sobre la calidad y el manejo postcosecha de las tunas", *Memoria de Resúmenes del 5°. Congreso Nacional y 3°. Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*, Chapingo, México.

Campos Aranda, D. F. (2005), *Agroclimatología cuantitativa de cultivos*, Trillas, México.

CNA (2006), *Estadísticas del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México.

CP (1990), "Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas", *Programa de Agrometeorología*, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Chandler, W. H. (1958), *The avocado*, Lea y Febiger Pub., Philadelphia, pp. 205-228.

Cheng, R. (2006), "Validating simulation models using resampling", in Robinson, S., S. Taylor, S. Brailsford and J. Garnett (eds.), *Society Simulation Workshop*, England.

Coleto, J. M. (1989), *Crecimiento y desarrollo de las especies frutales*, Mundi-Prensa libros, Madrid, España.

COMETUNA (2001), *Programa nacional para el aprovechamiento del nopal y tuna*, Consejo Nacional de Nopal y Tuna, A. C., Actopan, Hidalgo (documento mecanografiado inédito).

CONABIO (1998), "Carta de climas de la República Mexicana", esc. 1: 1 000 000, Según el sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García, México.

CONAPO (2000), *Consejo Nacional de Población*, Estado de Tlaxcala, México.

CONAPO (2005), *Consejo Nacional de Población*, Estado de Tlaxcala, México.

Conde, C., R. Ferrer and S. Orozco (2006), "Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study", *Atmósfera*, vol. 19, no. 3, pp. 181-194.

Conde, C. (2009), El Niño, La Niña y la Oscilación del Sur [http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/boletin/Boletin_ENSO09.pdf].

Corrales, G. J. (1992), "Perspectivas de industrialización de nopalito y tuna", en: conocimiento y aprovechamiento del nopal, *5° Congreso Nacional y 3er. Congreso Internacional*, CONACYT-CIESTAMM-UACH, Chapingo, México.

Clark, Labs. (2000), IDRISI32 (Versión I32.11), Clark University. Worcester, MA, USA.

CLICOM (1993), *Manual versión 3.0*, Comisión Nacional del Agua.

CNA (2006), *Estadísticas del agua en México*, Comisión Nacional del Agua, México.

CONEVAL (2005), *Mapas de pobreza y rezago social 2005*, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México [http://www.coneval.gob.mx/mapas/].

De Fina, A. y A. C. Ravelo (1973), *Climatología y fenología agrícola*, EUDEBA, Buenos Aires, Argentina.

Delgado, R. W. and R. Rodríguez (2001), "The emergence of collective migrants and their role in Mexico's local and regional development", *Canadian Journal of Development Studies*, vol. XII, no. 3, pp. 1-18.

De Pauw, E. (1987), *Potential evapotranspiration map of Ethiopia*, 1:2 000 000 scale, FAO/Ministry of Agriculture, Addis Ababa.

Devlin, R. (1982), *Fisiología Vegetal,* 4ª ed., Ediciones Omega, Barcelona.

Díaz, M. B., H. Placencia, R. Arteaga y M. Vázquez (2000), "Estudio y zonificación agroclimáticos de la región Los Altos de Chiapas, México", *Investigaciones Geográficas*, *Boletín*, num. 42, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 7-27.

Díaz, P. G. y M. Cortina C. (2005), *Sistema de consulta y procesamiento de información climatológica de México*, Centro de Investigación Regional Golfo Centro, Campo Experimental Xalapa, Xalapa, Veracruz, México.

Díaz, P. G. e I. Sánchez Cohen (2007), "Sistema de consulta y procesamiento de información climatológica de México", en Sánchez, I. y G. Chebhouni (*comps.*), *Procesos hidrológicos en zonas áridas y semiáridas*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – Centro de Investigación Disciplinaria Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, Gómez Palacio, Durango, México, pp. 21-39.

Díaz, P. G., I. Sánchez, R. Quiroz, P. J. Garatuza, T. Watts y R. Cruz (2008), "Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México, *Agricultura Técnica en México*, vol. 34, núm. 3, pp. 279-287.

DOF (2009), *DECLARATORIA de Contingencia Climatológica para efectos de las Reglas de Operación del Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC),* en virtud de los daños a consecuencia de la helada atípica que afectó al Municipio de Altotonga del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, *Diario Oficial de la Federación* [http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5152141&fecha=1 6/07/2010].

Espino, E. J. (2005), *La agricultura ecológica en el proceso de la sustentabilidad en Tlaxcala, México*, tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

ESRI (1999), Software ArcView GIS 3.2. Redlands, Environmental Systems Research Institute, CA, USA.

FAO (1978), *Report on the Agro-Ecological Zones Project*, vol. 1, Methodology and Results for Africa, Rome, FAO.

FAO (1983), *Guidelines: land evaluation for rainfed agricultura*, FAO Soils Bulletin 52, Rome, FAO.

FAO (1985), *Guidelines: land evaluation for irrigated agricultura*, FAO Soils Bulletin 55, Rome, FAO.

FAO (1997), *Zonificación agro-ecológica,* Guía general, Boletín de Suelos de la FAO 73, Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de Suelos, Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

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.

Flores V., C. A. (2002), *Producción y comercialización de la tuna*, Reporte de Investigación 67, Centro de investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo, México.

Flores V., C. A. (1994), *Sistema Producto Tuna*, SARH, CIESTAAM, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Flores V., C. A. J. M. Luna y M. P. Ramírez (1995), *El mercado mundial de la Tuna*, Univerisdad Autónoma Chapingo, CIESTAAM, Estado de México.

Frére, M. y G. Popov (1980), *Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos*, Organización de las Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Fuentes Y., J. L. (1989), *Iniciación a la meteorología agrícola*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, España.

García Benavides, J. (1979), *Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos de análisis y su posterior zonificación*, tesis Doctoral en Ciencias, Rama de suelos, Colegio de Postgraduados, Chapingo, Estado de México.

García, E. (1964), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, Offset Larios, México.

García, E. (1966), "Los climas del Valle de México según el Sistema de Clasificación Climática de Köppen modificado por la autora", *Simposio sobre el Valle de la Ciudad de México*, Unión Geográfica Internacional, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, tomo IV, pp. 27-48.

García, E. (1988), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*. Offset Larios, México.

García, E. (2004), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana*, Serie Libros, núm. 9, Instituto de Geografía, UNAM, México.

García, E. (2005), "Distribución de la precipitación en la República Mexicana", en Orellana, R. y R. Vidal (eds.), *Enriqueta García. Antología*, Centro de Investigación Científica de Yucatán, Instituto de Geografía, UNAM, México.

García A., M. T. y J. Lugo Hubp (2003), *El relieve mexicano en mapas topográficos*, Serie libros, núm. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México.

García, E., R. Vidal y M. E. Hernández (1989), "Regiones climáticas", hoja IV.4.10, escala 1:16 000 000, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

García, N. H., C. Mejía., R. García, R. Chacón y A. González (1996), *Zonas potenciales para la producción de las principales especies vegetales en el estado de Guanajuato*, SAGAR, INIFAP, CIFAG, Campo Experimental Bajío, Celaya, Guanajuato.

García, E., R. Vidal y M. E. Hernández (1989), "Las regiones climáticas de México", vol. 2, cap. IV, núm. 10, esc. 1:12 000 000, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Gastiazoro, B. J. (2004), *Fenología Agrícola*, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Comahue, Argentina.

GEM-IIIGECEM, Gobierno del Estado de México, Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (1995), *Nomenclátor de Localidades del Estado*.

Giddings, L. and M. Soto (2005), "Standardized precipitation index zones for Mexico", *Atmosfera*, vol. 8, no. 1, México, pp. 33-56.

Gil-Albert, F. (1992), *Tratado de arboricultura frutal, Vol. II. La Ecología del árbol frutal,* 3ª ed., Mundi-Prensa, Madrid, España.

Gleason, B. (2001), ClimDex Versión 1.3. Software for the analysis of climate change and detection through the calculation and study of climate indices, National Climate Data Centre (NCDC) of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Gobierno del Estado de México (2004), Dirección de Cultivos Intensivos.

Gómez, R. J. (1981), *Método climático De Fina en la aplicación de la agricultura en el estado de Aguascalientes*, Facultad de Filosofía y Letras, Colección Cuadernos, UNAM, México.

Gómez, R. J. (1991), *Agroclimatología y espacio geográfico en el noreste del estado de Morelos*, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, CXLVII, México.

Gómez, J. C. y L. M. Morales (s/a), *Algunas consideraciones sobre el concepto de horas-frío y sus métodos de cálculo. Alternativa en su estudio*, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México [http://www.huertofenologicounam.com/articulos/CONCEPTO%20DE%20HORAS-FRIO.doc].

González Colville, P. (2004), "Comportamiento de las horas-frío, grados-día, heladas y precipitaciones en los agroecosistemas de la Región del Maule durante los eventos El Niño 1997 y La Niña 1998-1999", en Avaria, S., J. Carrasco, J. Rutllant y E. Yáñez (eds.), *El Niño-La Niña 1997-2000. Sus efectos en Chile*, CONA, Chile, Valparaiso, pp. 231-252.

Granados Ramírez, R. and J. Soria Ruíz (2006), "Potencial regionalization for amaranth, sorghum and sunflower in Guanajuato, Mexico", *Journal of Maps*, pp. 118-129.

Greenwood, J. A. and D. Durand (1960), "Aids for fitting the gamma distribution by maximum likelihood", *Technometrics*, no. 2, pp. 55-65.

Guttman, B. N. (1998), "Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index", *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 34, no. 1, pp. 113-121.

Hansen, J., G. Russell, D. Rind, P. Stone, A. Lacis, S. Lebedeff, R. Ruedy and L. Travis (1983), "Efficient three- dimensional global models for climate studies: models I and II", *Monthly Weather Review,* vol. 111, no. 4, pp. 609-661.

Hastenrath, S. (1991), *Climate Dynamics of the Tropics*, Ed. Kluwer Academic Press [http://books.google.com.mx/books?id=3kbj46xFpnkC&printsec=frontcover&source=gbs_v2_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false].

Hartkamp, A. D., K. De Beurs, A. Stein and J. W. White (1999), *Interpolation Techniques for Climate Variables*, NRG-GIS Series 99-01, Mexico, CIMMYT.

Hayes, M. J., M. D. Svoboda, D. A. Wilhite and O. V. Vanyarkho (1999), "Monitoring the 1996 Drought Using the Standardized Precipitation Index", *Bulletin of the American Meteorological Society*, no. 80, pp. 429-438.

Hernández Cerda, M. E., E. Azpra, G. Carrasco y J. Villacañas (2001), *Los ciclones tropicales de México,* Temas Selectos de Geografía de México (I.6.1), Instituto de Geografía, UNAM, México.

Hernández, G. J. A. (1989), *Efecto de la fecha de siembra, densidad de población y competencia de malezas, en el rendimiento de chía* (Salvia hispanica L.), tesis de Maestría en Ciencias Especialista en Genética, Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.

Hernández, M. (2001), *Estimación de horas-frío en los valles altos del centro de México*, tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados, Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Texcoco, México.

Hernández, R. G., R. Alcántar y P. Sánchez (1999), "Fenología del aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Hass en la región de Michoacán, México", *Memoria de Resúmenes*, IV Congreso Mundial del Aguacate, México.

Hernández, R. L. y P. F. Barrientos (1978), *Distribución del sistema radical del nopal (Opuntia amyclaea tenore)*, tesis de Maestría, Sección de Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

Higuera R., G. L. (1996), *El proceso de producción y comercialización de la tuna en dos comunidades del estado de Puebla*, tesis de Maestría, Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. Puebla, Puebla, México.

Hong, Y., H. A. Nix, M. F. Hutchinson and T. H. Booth (2005), "Spatial interpolation of monthly mean climate data for China", *International Journal of Climatology*, no. 25, pp. 1369-1379.

Hopkins, W. and N. Hüner (2009), *Introduction to plant physiology,* 4ª ed., John Wiley & Sons, Inc., United States of America.

Hutchinson, M. F. (2004), *Anusplin version 4.3. Centre for resource and environmental studies, the Australian National University*, Canberra, Australia.

Ibar, A. L. (1983), *El cultivo del aguacate, chirimoyo, mando y papaya*, Ed. AEDOS-IDITIA Mexicana, México.

Infoagro (2006), Aguacates, Infoagro.com

INEGI (1987), *Carta estatal de climas*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Estado de México.

INEGI (2005), *II Conteo de Población y Vivienda 2005*, Instituto Nacional de Geografía Estadística e Informática, México.

INEGI (2010), [http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P; consultado 5 de mayo de 2010].

INEGI (1980), *X Censo general de población y vivienda de Tlaxcala,* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (1990), *XI Censo general de población y vivienda de Tlaxcala,* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (1991), *VII Censo Agrícola, Ganadero y Ejidal*, Instituto Nacional de Estadística, geografía e Informática, México.

INEGI (2000), *XII Censo general de población y vivienda de Tlaxcala,* Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2005), *Anuario estadístico de Tlaxcala*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INEGI (2005a), *II Conteo de población y vivienda. Resultados definitivos* [www.inegi.gob.mx].

INEGI (2005b), *Núcleos agrarios. Tabulados básicos por municipio del estado de Tlaxcala*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

INE-SEMARNAP (2000), *Ordenamiento ecológico general del territorial. Memoria técnica 1995-2000,* Dirección General de Ordenamiento Ecológico e Impacto Ambiental, México.

INEGI-Gobierno del Estado de Tlaxcala-SAGARPA (2004), *Censo Agropecuario de Tlaxcala*, México.

Inglese, P. (1995), "Orchard planting and managment", in Barbera, G., P. Inglese and E. Pimienta (eds.), *Agro-ecology, cultivation and uses of catus pear*, FAO Plant Production and Protection Paper 132, FAO, Rome, pp. 78-91.

INIFAP (1994), *Proyecto potencial productivo de la presa Chilatán, en Michoacán*. Uruapan, Michoacán.

INIFAP (2004), "Factores bióticos y abióticos que afectan la calidad y apariencia del fruto de aguacate en Michoacán", INIFAP-CONACYT, *Informe final del proyecto 20001013*, Guadalajara, Jalisco, México.

INIFAP (2006), *Estadísticas Climatológicas Básicas* (periodo 1960-2003), para los estados de: Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Puebla, Querétaro, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México [http://www.agromapas.inifap.gob.mx/. 3 de agosto 2010].

IPCC (2009), Special Report on Emissions Scenarios [http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission/; consultado 13 de mayo de 2010].

Jaimes, E. (1999), "Condiciones meteorológicas a nivel global y local, Cambio Climático y El Niño 1997-98", en Taranzona, J. y E. Castillo (eds.), *El Niño 1997-98 y su impacto sobre los Ecosistemas Marino y Terrestre*, Rev. Perú. Biol., vol. extraordinario: 1-8, Facultad de Ciencias Biológicas, UNMSM, pp. 1-8.

Jiménez, R. P., R. Quintero S., E. Cerna C. y V. H. Valencia A. (1999), "Estudio fenológico de dos nuevas selecciones de aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. Hass en la región de Tacámbaro", *Revista Chapingo Serie Horticultura*, núm. 5, pp. 55-59.

Juscafresca, B. (1983), Árboles frutales: cultivo y explotación comercial, EDITIA Mexicana, México.

Kaperson, J. X., R. E Kapersosn and B. L. Turner (1995), *Regions at risk: comparison of threatened environments*, United Nations University Presss, New York.

Kates, R. W. (1985), "The interaction of climate and society", in Kates, R. W., J. H. Ausbel and M. Berberian (eds.), *Climate impact assessment: studies of the interaction of climate and society*, *Willey,* New York, pp. 151-200.

Komuscu, A. U. (1999), "Using the SPI to analyze spatial and temporal drought patterns in Turkey", *Drought Network News*, vol. 11, no. 1, pp. 7-13.

LADIGS (2010), Laboratorio de Agromapas Digitales [http://www.agromapas.inifap.gob.mx].

Larcher, W. (1995), *Physiological Plant Ecology*, Springer, Germany.

Letitel, M. P., A Angoa y M. Rodríguez. (2009), *Emigración mexicana a Estados Unidos: balance de las últimas décadas*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [http://www.conapo.gob.mx/publicaciones/sdm/sdm2009/07.pdf].

Lira, R. R. (1995), *Estudio de la factibilidad para el establecimiento de una planta empacadora y desespinadora de tuna (Opuntia spp.) en el municipio de Acatzingo, Puebla*, tesis de Ingeniería Agroindustrial, Chapingo, México, pp. 14-51.

Lovatt, C. (2001), *Nitrogen fertilization strategies to increase yield of the Hass avocado,* California Avocado Commision, Irvine, CA, USA.

López López, Á. y Á. Sánchez Crispín (coords.; 2010), *Comarca Lagunera. Procesos regionales en el contexto global*, Col. Geografía para el siglo XXI, Serie Libros de Investigación, núm. 6, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Lugo Hubp, J. y C. Córdova Fernández (1992), *Regionalización geomorfológica*, hoja IV. 3.4 Geomorfología 2, esc. 1:12 000 000, *Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Macmillian (1974), *The National Atlas of Canada.* Published by the Macmillian Company of Canada, Canada [*NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio).* http://svs.gsfc.nasa.gov/vis/oooooo, 10 de agosto 2010].

McBeth, B. and S. Roxburhg (2005), *Gridded historical monthly climate data for the Australian continent: January 1900-December 2001*. Technical report. The Cooperative Research Centre for Greenhouse Accounting, obtenido el 10 de enero de 2006 [http://www.steverox.info/Downloads/Data/Gridded%20Historical%20Monthly%20Climate%20Data%20Report.pdf].

McKee, T. B., N. J. Doesken and J. Kleist (1993), "The relationship of drought frequency and duration of time scales", *Eighth conference on applied climatology,* American meteorology society, Jan 17-23, Anaheim CA., pp. 179-186.

Magaña, V., J. L. Pérez, C. Conde, C. Gay y S. Medina (1997), *El fenómeno de El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS) y sus impactos en México*, Departamento de Meteorología General, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México [http://ccaunam.atmosfcu.unam.mx/cclimatico/doc_pdf/nino.pdf].

Magaña, V., J. L. Pérez y C. Conde (1998), "El fenómeno de El Niño y la Oscilación del sur y sus impactos en México", *Revista Ciencias*, julio-septiembre 51.

Magaña, V. (ed.; 2004), *Los impactos del Niño en México*, Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM, Secretaría de Gobernación, México.

Magaña R., V. O. y C. Morales (2004), *Los impactos de El Niño en México*, en Magaña R., V. O. (ed.), Pembu, México.

Maldonado, T. R. (2003), *Diagnóstico nutrimental para la producción de aguacate Hass*, Informe de Investigación, UACH, Texcoco, México.

Martínez, B. R. (1988), *Comportamiento del aguacate Hass, bajo diferentes condiciones ecológicas*, Facultad de Agrobiología, UMSNH, Uruapan, Michoacán, México.

Mashbitz, G. (1961), "Acerca del problema de la formación de las regiones económicas en México", *Voprosi Geografie*, núm. 53, Moscú.

Massiris, C. A. (1999), *Ordenamiento territorial y procesos de construcción regional* [http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/orden/5.htm; consultado. 03/07/2010].

Medina, G. G. y J. A. Ruíz C. (1992), *Sistema de información para caracterizaciones Agroclimáticas*, Manual de documentación y guía de usuarios, Temas Didácticos, núm. 3, INIFAP-Centro Experimental Zacatecas, Calera de V. R., Zacatecas.

Melgarejo, P. (2000), *Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas Vol. 1. El medio ecológico, la higuera, el alcaparro y el nopal,* Mundi-Prensa Libros, Madrid, España.

Mena, V. F. (2004), "Fenología del palto, su uso como base del manejo productivo", *2º Seminario Internacional de Paltos*, Memoria, Sociedad Gardiazabal y Magdahl Ltda. Quillota, Chile.

Mondragón, J. C. (1992), *El cultivo del nopal tunero en la región central de México. Avances y perspectivas de la investigación en fruticultura para el centro del país*, CENGUA, INIFAP-SARH, pp. 9-18.

Moreno, F. F. y J. Campos R. (1997), *Comportamiento fisiológico de diferentes variedades de tuna*, Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Mosiño, P. y E. García (1966), "Evaluación de la sequía intraestival en la República Mexicana", *Conferencia Regional Latinoamericana*, Unión Geográfica Internacional, tomo III, pp. 500-615.

Muñoz, S. G. y J. Rodríguez Alcázar (1999), *Establecimiento de un huerto de durazno,* Sistema de agronegocios agrícolas, Ficha 2. SAGARPA, Subsecretaría de Desarrollo Rural, Dirección General de Apoyos para el Desarrollo Rural.

Ndlovu, L. S. (1994), *Weather data generation and its use in estimating evapotraspiration*, Thesis (PH.D.), Washington State University, Source: Dissertation Abstracts International, vol. 56-06, Section: B, p. 3311.

Nelson, R. (2003), *ClimGen. Weather Generator*, Washington State University [http://www.bsyse.wsu.edu/climgen].

Nobel, S. P. (1994), *"Remarkable Agaves and Cacti"*, in Pimienta, B. E. (1991), *Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas, México*, Oxford University Press.

O´ Briend K. and D. Liverman (1996), "Climate change and variability in Mexico in Climate Variability", in Ribot, J. C., A. Rocha Magalhaes and S. S. Panagides (eds.), *Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics*, Cambridge University Press, pp. 55-70.

Ojeda, B W., P. Martínez A. y L. Hernández B. (2007), "Impacto del cambio climático en la agricultura", *Memorias Día del Agricultor*, Centro de Investigación Regional Noroeste INIFAP-CIRNO, Hermosillo, Sonora.

Ortiz, S. C. (1982), *Apuntes del curso de agrometeorología*, Departamento de Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Ortiz Solorio, C. A. (1987), *Elementos de Agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana,* 3ª ed., Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Oswald, U. (2007a), *Key Elements of Environmental Induced Migration*: a Mesoamerican and Mexican Vision.

Oswald, U. (2007b), "Hdro-diplomacy. Opportunities for learning from an interregional process", *Integrated Resources Management and Security in the Middle East*, Springer, pp. 163-200.

Oswald, U. (2009), "Cambio climático y conflicto social: tensiones, cooperaciones y geopolíticas del agua", en Barrios, J. L. e I. Sánchez Cohen (eds.), *Manejo comparado de Cuencas Hidrológicas. Incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social*, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo/RETAC CONACYT/INIFAP, Torreón, Coahuila.

Padilla O., M. de L. (2000), *Una propuesta de ordenamiento ecológico para la comunidad de San Nicolás Tlaminca, Texcoco, Estado de México*, tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, pp. 3-4.

Pájaro, H. D. y S. C. Ortiz (1989), "Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana", *Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología*, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Palacios, V. E. (2002), ¿*Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar?, para lograr mejores cosecha*s, Trillas, México.

Palacios, E. A. (1997), *La pobreza humana y su medición en México*, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, Informe sobre desarrollo humano 1997. PNUD-ONU.

Palacio Prieto, J. L., M. T. Sánchez Salazar, J. M. Casado Izquierdo, E. Propin Frejomil, J. Delgado Campos, A. Velázquez Montes, L. Chias Becerril, M. I. Ortiz Álvarez, J. González Sánchez, G. Negrete I., J. Gabriel M. y R. Márquez H. *(*2004), *Indicadores para la caracterización y ordenamiento del territorio,* SEDESOL-SEMARNAT-UNAM, México.

Páramo R., G. E. (1997), *Aproximación conceptual, metodológica y aplicada del ordenamiento ambiental del territorio en Colombia*, Departamento Nacional de Planeación Unidad de Política Ambiental, Santa Fe de Bogotá, Colombia.

Pascale, J. A. y E. Damario (2004), *Bioclimatología agrícola y agroclimatología*, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

PEOT (2004), *Programa estatal de ordenamiento territorial del estado de Tlaxcala,* Gobierno del Estado de Tlaxcala, México.

Pérez, R. (1990), *Producción de maíz (Zea mays L.) en condiciones de temporal atrasado y heladas tempranas en Chapingo*, tesis Doctoral, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Pérez, T. E y M. Taboada (1995), "Caracterización de dos especies de amaranto en Xalostoc, Morelos", en *Libro de Resúmenes XIII Congreso Mexicano de Botánica*, Diversidad Vegetal de México, Cuernavaca, Mor., 5 a 11 de noviembre, México, pp. 73- 75.

Pereyra Díaz, D., U. Bando, M. A. Natividad (2004), "Influencia de La Niña y El Niño sobre la precipitación de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México", *Centro de Ciencias de la Tierra*, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz 20(39), pp. 33-38 [http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia].

Pimienta, E. (1991), *An overview of pricky pear cultivation in the central part of Mexico*, Proc. 2nd Anual Texas Prickly Pear Council, pp. 1-17.

Piña, L. I. (1979), *Principales países productores de grana y algunos aspectos biológicos sobre la producción de este producto*, Ed. Tecnología Lanfi, México.

Quintanar, F. (1963), *Las regiones económico-agrícolas de México*, Secretaría de Agricultura y Ganadería, México.

R, Development Core Team. (2004), R: *A language and environment for statistical computing,* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria [http://www.R-project.org].

Radcliffe, D. J. (1981), *The growing period in Angonia, Province of Tete, Mozambique*, An ecological basis for crop selection, Project FAO: AG MOZ/75/011, Field Document 25, Ministry of Agriculture, Maputo.

Reyna Trujillo,T., G. Gómez Rodríguez y R. Granados Ramírez (2007), "Intensidad de la sequía intraestival, sequía relativa o canícula", esc. 1:8 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Reyna Trujillo, T. y R. Granados Ramírez (1987), "Estimación climática en Querétaro para la planeación del cultivo del amaranto (*Amaranthus spp*)", *Memorias del Coloquio Nacional del Amaranto*, Querétaro, Qro., Gobierno del Estado de Querétaro, IDEAS, pp. 42-52.

Reyna Trujillo, T. (1993), "Amaranto y Quinoa: cultivos alternativos de importancia alimenticia", GEO-UNAM, vol, 2, núm. 4, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 6-13.

Reyna Trujillo, 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.

Reyna Trujillo, T., G. Gómez Rodríguez y R. Granados Ramírez (2007a), "Intensidad de la sequía intraestival, sequía relativa o canícula", NA XIII, esc. 1:6 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM.

Reyna Trujillo, T., G. Gómez Rodríguez y R. Granados Ramírez (2007b), "Meses de máxima sequía intraestival, sequía Relativa o canícula", NA XII, esc. 1:6 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM.

Reyna Trujillo, T. (1981), "Cuantificación de las horas-frío y su importancia en la planeación de cultivos de caducifolios en México", *Memorias del IX Congreso Nacional de Geografía*, tomo I, Toluca, México, pp. 193-203.

Reyna Trujillo, T. (1983), "Importancia de las horas-frío en la fruticultura. Métodos de cuantificación", *Memorias del Primer Congreso Interno del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 13-26.

Reyes Gómez, V., M. Equihua Z., M. E. Núñez L., y R. C. Muñoz (2006), *Implementación de un sistema permanente de monitoreo de la sequía en el norte de México, caso del estado de Chihuahua*, obtenido el 10 de enero de 2006 [http://www.ommac.org/memoria2006/resumen/res142.doc].

Rojas, M. P. (1961), *Aprovechamiento de las zonas áridas. Cultive nopal tierno*, Agronomía, 79 ITESM, Nuevo León, México.

Romo G., J. R. (1985), *Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana*, tesis Doctoral, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Romo G., J. R. y R. Arteaga (1983), *Meteorología agrícola*, Departamento de Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, México.

Rosenthal, I., U. Meru., G. Popel and S. Berenstein (1985), *An analytical essay for the determination of oil content in avocado*, California University Soc. Yearbook 69, pp. 133-136.

Ruiz, A. (1991), *Caracterización fenológica del Guayabo* (*Psidium guayava* L.), tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.

Ruiz, C. A., G. Medina G., C. Ortiz T., R. Martínez P., I. J. González A., H. E. Flores y K. F. Byerly M. (1999), *Requerimientos agroecológicos de los cultivos*, INIFAP, Guadalajara, Jalisco.

Ruiz C., J. A., D. Ramírez, M. Flores y G. Sánchez (2000), "Cambio Climático y su impacto sobre la estación de crecimiento de maíz en Jalisco, México", *Rev. Fitotec. Mex.*, vol. 23, pp. 169-182.

SAGARPA (2010), *Boletín de variedades recomendadas para los estados* de *Aguascalientes, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas*, Ciclo Agrícola de PRIMAVERA-VERANO 2003, Comité Consultivo de Variedades de Plantas, Dirección General de Vinculación y Desarrollo Tecnológico, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México [http://www.sagarpa.gob.mx/v1/agricultura/pages/sust/bol_vrec.htm; 13 de julio 2010].

Salazar, G. S. (2002), *Nutrición del aguacate, principios y aplicaciones*, INPOFOS, INIFAP, Querétaro, México.

Salazar, G. S., C. Zamora y L. Vega (2005), "Actualización sobre la industria del aguacate en Michoacán, México", California Avocado Society 2004-05, *Yearbook* 87, pp. 45-54.

Salazar, G., J. L. González D. y L. M. Tapia V. (2011), "Influencia del clima, riego y época de floración sobre la composición nutrimental del fruto de aguacate 'Hass' en Michoacan", *Revista Chapingo*, Serie Horticultura, vol. 17, núm. 2, pp. 183-194.

Salisbury, B. F. y C. Ross (1992), *Fisiología Vegetal*, Grupo Editorial Iberoamericana, México.

Sánchez, T. J. (1999), "Uso consuntivo del cultivo aguacate: metodología blaney y criddle modificada relacionando fenología y precipitación", *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, núm. 5, pp. 201-207.

Sánchez Cohen, I. (2005), *Manejo integral del agua. Un enfoque de simulación de procesos*, Libro científico No 2, INIFAP CENID RASPA, Gómez Palacio, Durango.

Sánchez Cohen, I., G. Díaz P., G. Estrada A. y J. A. Cueto W. (2008), *Incertidumbre climática y toma de decisiones*: *consideraciones de riesgo y vulnerabilidad social*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, CENID-RASPA, Gómez Palacio, Dgo., México (Folleto Científico, núm. 25).

Sánchez Cohen, I., W. Ojeda B., G. Chebhouni I., O. Castillo, J. Villanueva, J. L. González Barrios y G. González Cervantes (2008a), "Variabilidad climática en México: algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos", *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XXIII, núm. 4, pp. 5-24.

Sánchez Cohen, I., G. Díaz Padilla, J. L. González Barrios, G. González Cervantes and L. Descroix (2008b), "Climate uncertainty, water availability and social behavior in Mexican agriculture", *Proceedings of the World Water Congress,* Montpellier, France.

Sánchez Cohen, I., G. Díaz P. and G. Esquivel A. (2009a), "The impact of climatic variability on society and productivity in Mexico", in Jenkis, J. J. and G. Iturralde (eds.), *Climate Change and Health. United States – Mexico Border*, Panamerican Health Organization, Quito, Ecuador.

Sánchez Cohen, I., J. L. González Barrios, G. Díaz P. y M. Velásquez V. (2009b), "Cambio climático e incertidumbre: impacto en las variables hidrológicas de las cuencas", en González Barrios, J. L. e I. Sánchez Cohen (eds.), *Manejo comparado de cuencas hidrológicas: incertidumbre climática, vulnerabilidad ecológica y conflicto social*, Libro científico, SMCS/RETAC-CONACYT/INIFAP, México.

Sánchez Salazar, M. T. y J. L. Palacio (2004), "La experiencia mexicana en la elaboración de los Programas Estatales de Ordenamiento Territorial. Diagnóstico, problemática y perspectivas desde el punto de vista de la participación del Instituto de Geografía de la UNAM", *Investigaciones Geográficas*, *Boletín*, núm. 53, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 75-97.

Schaffer, B. y A. W. Whiley. (2003), "Regulación ambiental de la fotosíntesis en árboles de aguacate. Una minirevisión", *V Congreso Mundial del Aguacate,* Málaga, España, A -105.

SARH (1993), *Estrategia Nacional de Mediano Plazo (1993-1999) de Desarrollo y Promoción de Exportaciones de Tuna*, Datos básicos para su elaboración, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, marco, México.

Secretaría de Industria y Comercio-Dirección General de Estadística (1970), *V Censos Agrícola-Ganadero y Ejidal*, México.

SEDECO (2005), Secretaría de Desarrollo Económico del estado de Tlaxcala, México.

SEDECO-EDOMEX (2005), Secretaría de Desarrollo Económico del Gobierno del Estado de México Dirección General de Comercio, Subdirección de Apoyo al Comercio, México.

SE (varios años), *Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM), precios Mensuales de tuna en varias centrales*, Secretaría de Economía [www.economia-sniim.gob.mx].

Sellers, H. and K. McGuffie (1987), *A climate modeling primer*, John Willey & Sons, USA.

Serrano, O. S. (2004), "Género, migración y paz: incursiones a una problemática desde una perspectiva multidimensional e incluyente", en Oswald, U. (ed.), *Resolución no violenta de conflictos en sociedades indígenas y minorías*, COLTLAX, CLAIP, Fundación IPRA y Böll, México, pp. 287-306.

SIACON (2008), *Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta*, Información Agrícola Estatal de 1980 a 2008.

SIAP (2001), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera con información de las delegaciones de la SAGARPA.

SIAP (2006), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera con información de las delegaciones de la SAGARPA.

SIAP (2008), *Anuario Agrícola. Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera.*

SIAP (2010), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [http://www.siap.gob.mx, consultada el 18 de mayo de 2010].

Silva, E. (2008), *Efectos del cambio y variabilidad climáticos en el cultivo de soya (Glycine max (L.)) en el municipio de González, Tamaulipas*, tesis de Licenciatura en Geografía, Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México.

Sivakumar, M. V. K. (1992), "Climate change and implications for agriculture in Niger", *Climate change*, no. 20, pp. 297-312.

SMN (2009), *Normales climatológicas de México*, Servicio Meteorológico Nacional, México [http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42%3Anormales-climatologicas-por-estacion&catid=1&Itemid=28].

SNIIM, Precios mensuales de tuna en varias centrales, Servicio Nacional de Información e Integración de Mercados [http:// www.economia-sniim.gob.mx].

Tadesse, T., D. A. Wilhite, S. K. Harms, M. J. Hayes and S. Goddard (2004), "Drought monitoring using data mining techniques: a case study for Nebraska", *Natural Hazards*, vol. 33, no. 1, pp. 137-159.

Tapia, V. L. M. y R. Espinoza (2006), "Efecto de aplicación de Auxigro en crecimiento y amarre de fruto de aguacate de Michoacán", *2º Curso Nacional CORITA*, Nuevo Vallarta, Nayarit, México, pp. 1-5.

Terrones, R. R. (1989), *Análisis de las condiciones de humedad en el estado de Guanajuato*, Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, SARH, INIFAP, CIFAG, Campo Experimental Bajío, Celaya, Gto., México.

Thom, H. C. S. (1958), "A note on the Gamma Distribution", *Monthly Weather Review,* vol. 86, no. 4, April, pp. 117-122.

Tiscareño, L. M. (2006), "Hurricaine activity and droughts in Mexico. Presentation at the North American", *Drought Monitor Meeting*, National Water Comission, National Meteorological Service, México.

Torres, R. E. (1983), *Agrometeorología*, Diana, México.

UACH (1989), *Memorias de la segunda reunión de agroclimatología*. Departamento de suelos, Universidad Autónoma Chapingo.

UACH (1994), *1er. Congreso Nacional de fenología agrícola y modelos de simulación aplicados a la agricultura*, Departamento de Fitotecnia e Irrigación, Universidad Autónoma Chapingo, 26 a 28 mayo.

UNAM (1985), *Memorias de la primer reunión agroclimática*, Facultad de Filosofía y Letras, División de Estudios de Posgrado, Departamento de Geografía, UNAM, México.

Universidad de California (1995), *The Avocado. Agricultural and natural Resources*, Universidad de California.

Urbano, T. P. (2003), *Tratado de Fitotecnia general,* 2ª ed., Mundi-Prensa Libros, Madrid, España.

Velázquez, C. R. (1962), *Aspectos ecológicos, distribución y abundancia de O. streptanha y O. leucotricha*, Fruticultura mexicana 15, México.

Vélez, H. E. (1994), *Estudio de factibilidad para el establecimiento de una planta industrializadora de tuna blanca (Opuntia Amyclaea, Tenore), en el municipio de San Juan Teotihuacán*, *Estado de México*, tesis de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.

Venning, F. D. and F. Lincoln (1958), "Development morphology of the vegetative axis of avocado (*Persea americana* L.) and its significance to spacing, pruning practices, and yield of the grove", *Proc. Fla. State Hort. Soc.*, no. 71, pp. 350-356.

Vidal Zepeda, R. y G. Gómez Rodríguez (2007), "Clima según sistema de clasificación climática de Köppen modificado por Enriqueta García", hoja NA IV.13, 1:8 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Vidal Zepeda, R. (2005), *Las regiones climáticas de México*, Temas Selectos de Geografía de México (I.2.2), Instituto de Geografía, UNAM, México.

Vidal Zepeda, R. (2007a), "Temperatura máxima y mínima extrema", hoja NA IV.3, esc. 1:16 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Vidal Zepeda, R. (2007b), "Temperatura media anual", hoja NA IV.4, esc. 1:8 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Vidal Zepeda, R. (2007c), "Precipitación total anual", hoja NA IV.5, esc. 1:8 000 000, *Nuevo Atlas Nacional de México*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Villalpando, I. F. (1985), *Metodología de la investigación en agroclimatología*, Curso de Orientación para Aspirantes a Investigadores del INIFAP, SARH, 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.

Villalpando, J. y A. Ruiz (1993), *Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura*, Limusa, México.

V World Water Forum (2009), *Water and disaster. High-Level Expert Panel on Water and Disaster*, UNSGAB, Istambul, Turkey.

Westwood, M. N. (1982), *Fruticultura de zonas templadas*, Mundi-Prensa, Madrid, España.

Wigley, T. M. (2008), MAGICC/SCENGEN 5.3: user manual (version 2). NCAR, Boulder, CO.

Wilks, D. S. (1995), *Statistical methods in the atmospherics sciences*, Academic Press, USA.

Wilsie, C. P. (1966), *Cultivos, aclimatación y distribución*, Acribia, Zaragoza, España.

Whiley, A. W., J. Saranah, B. Cull and K. Pegg (1988), "Manage avocado tree growth cycles for productivity gains", *Queensland Agric*. J., no. 114, pp. 29-36.

WMO (1993), "Practical use of agrometeorological data and information for planning and operational activities in agriculture", *WMO*, Publication no. 60, Geneva, Switzerland.

Zhang, X. y Yang F. (2004), *RClimDex 1.0*, Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá, obtenido el 9 de noviembre de 2004 [http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.html].

Consultas electrónicas

http://www.huertofenologicounam.com/index.htm, 8 agosto 2010
http://www.atmosfera.unam.mx/uniatmos/atlas/, 10 agosto 2010
http://www.agroclima.com.mx/productos.php, 11 septiembre 2010
http://www.catriskmexico.com/, 6 agosto 2010
http://www.agroasemex.gob.mx, 8 agosto 2010
http://201.158.1.171/irisweb_agro/htdocs/, 8 agosto 2010

Centro-Occidente de México. Variación climática e impactos en la producción agrícola, editado por el Instituto de Geografía, se terminó de imprimir 22 de octubre de 2012, en los talleres de Lito Roda S.A. de C.V., Escondida, no. 2, Volcanes, Del. Tlalpan, 14640, México, D.F.
El tiraje consta de 500 ejemplares impresos en offset sobre papel cultural de 90 gramos para interiores y couché de 250 gramos para los forros. Para la formación de galeras se usó la fuente tipográfica Adobe Garamond Pro, en 9.5/10, 10/12, 11.2/12.7 y 16/19 puntos.
Edición realizada a cargo de la Sección Editorial del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Revisión, corrección de estilo y cuidado de la edición: Martha Pavón. Diseño y formación de galeras: Laura Diana López Ascencio. Con la colaboración de Diana Chávez González. Fotografía de portada: Rebeca Granados Ramírez.

Centro-Occidente de México

Variación climática e impactos en la producción agrícola

Rebeca Granados Ramírez
Teresa Reyna Trujillo
Coordinadoras

El Centro-Occidente de México, está ubicado fisiográficamente en el sur de la Altiplanicie Mexicana conocida como Meseta Central, por sus condiciones físico-geográficas ha favorecido el desarrollo de diversas actividades económicas. Con los años se han agotado algunos recursos y respecto al clima los elementos temperatura y precipitación han registrado variaciones que impactaron la actividad agrícola.

La cuantificación de los recursos climáticos tradicionalmente se ha hecho empleando los promedios anuales o mensuales de los elementos del clima, los resultados son importantes para conocer la distribución de la temperatura y precipitación así como el clima; este conocimiento no es suficiente, es necesario investigar además de la información convencional, índices que se relacionen directamente con el potencial productivo. La evaluación basada en los índices permite hacer una mejor planificación de la agricultura, su aplicación contribuye a asegurar la eficiencia en las áreas agrícolas, minimizando riesgos y maximizando la cantidad y calidad de las cosechas.

Con la finalidad de estudiar dicha zona con enfoque agroclimático, la integración de este libro se logró con la participación de diversos académicos. Se calculó y analizó la distribución espacial de algunos indicadores que por efecto del fenómeno El Niño, han presentado variaciones, afectando la temporalidad y la distribución general de los elementos climáticos, que han repercutido en la forma tradicional que tenían los campesinos y productores agropecuarios temporaleros de llevar a cabo las prácticas agrícolas, reflejándose finalmente en impactos en la producción.

ISBN 978-607-02-3639-6
9 786070 236396