Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM
Núm. 42, 2000, pp. 7-27

Estudio y zonificación agroclimáticos en la región Los Altos de Chiapas, México

Blanca M. Díaz Hernández*
Héctor Plascencia Vargas*
Ramón Arteaga Ramírez**
Mario A. Vázquez Peña**

Recibido: 9 de septiembre de 1999
Aceptado en versión final: 3 de enero de 2000

Resumen. A partir de los registros meteorológicos disponibles para la región Los Altos de Chiapas y de estaciones aledañas a ella, se caracterizaron algunos de los indicadores agroclimáticos más importantes. Se propone una zonificación basada en la duración de la Estación de Crecimiento. Los resultados indican la existencia de un gradiente suroeste-noreste de menor a mayor duración –entre 150 y 300 días–, variación que resulta del efecto combinado de las diferencias altitudinales con la dirección de los vientos húmedos principales. Para cada una de estas zonas se proporcionan los valores de temperatura y de humedad que les son característicos, así como su estacionalidad. De acuerdo con ello, se analizan las condiciones climáticas en relación con los requerimientos de algunos cultivos de interés en la región.

Palabras clave: Estación de Crecimiento, indicadores agroclimáticos, Los Altos de Chiapas, México.

Abstract. Based on the available meteorological records for Los Altos de Chiapas and surrounding stations, some of the most important agroclimatic indicators were characterized. A zonification of the study area based on the duration of the growing season is proposed. Results indicate the existence of a Southeast-Northwest gradient with a duration between 150 and 300 days; such variation results from the combined effect of altitudinal differences and the direction of the main humid winds. For each zone, the characteristic temperature and precipitation values are provided, as well as information on seasonality. Accordingly, climatic conditions are analyzed in relation to the requirements of some important crops in the region.

Key words: Growing season, agroclimatic indicators, Los Altos, Chiapas, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de un planteamiento mayor que consiste en la creación de bases de apoyo para un ordenamiento ecológico en la región Los Altos de Chiapas, dada la necesidad de encontrar opciones que contribuyan a detener y revertir el proceso de degradación de la calidad de los recursos productivos, esperando repercutir, por su estrecha relación, en el mejoramiento de la calidad de vida humana.

Cualquier intento por hacer un manejo de recursos naturales que sea sustentable y orientado a su conservación tiene que partir de un conocimiento profundo de sus características y potencialidades, a fin de que pueda planearse la utilización más racional posible.

Entre los factores naturales que intervienen en el desarrollo vegetal, el climático juega un papel de la mayor relevancia. El conocimiento de los rasgos climáticos para la producción de cultivos resulta crítico, especialmente para la agricultura de temporal, dado su carácter de incontrolables desde un punto de vista práctico; no obstante, el saber cómo se presentan a través del tiempo permite seleccionar cultivos y períodos que se adapten con mayor éxito o menor riesgo a un régimen climático determinado, así como las épocas más favorables para las diferentes labores agrícolas.

La realización de estudios climáticos en áreas de agricultura campesina, con escasas posibilidades de implementar grandes obras para modificar la influencia del clima, permite apoyar la actividad agrícola a través de me-

* El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, C.P. 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México. E-mail: bdiaz@ecosur.sclc.mx.; hplascen@ecosur.sclc.mx.
** Departamento de Irrigación, Sección de Meteorología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

jores estrategias de adaptación.

Objetivos

Establecer una base de información climática para la región Los Altos de Chiapas, útil para propósitos de planificación de la agricultura, y contribuir al conocimiento del recurso climático de dicha región a través de la identificación de algunas de sus amplitudes y limitantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y delimitación de Los Altos de Chiapas

Desde el punto de vista fisiográfico, Los Altos representan una de las siete zonas naturales del estado de Chiapas, conocida como Altiplanicie Central, macizo montañoso de 160 km de largo y 75 km de ancho, que corre en dirección noroeste-sureste, ubicado entre los paralelos 16° 30' y 17° de latitud norte, y entre los meridianos 92 y 93° de longitud oeste. A la región se le ha caracterizado comúnmente por el área comprendida por encima de los 1 500 msnm, que cubre cerca del 80% de su superficie. Sin embargo, al considerar la totalidad de los 15 municipios que la integran, cubre un intervalo altitudinal más amplio, desde 300 a cerca de 3 000 msnm, en virtud de una topografía accidentada y contrastante desde el punto de vista morfogenético.

Procedimiento

Para la realización de este estudio se cumplieron las etapas que a continuación se mencionan:

- Diagnóstico del funcionamiento de las estaciones meteorológicas regionales.

- Recopilación y captura de los registros diarios de temperatura máxima y mínima, precipitación, evaporación y presencia de heladas. Gran parte de los datos fue proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional, en forma de archivos magnéticos, que cubren hasta 1982, aproximadamente. El resto de los datos se capturó, a partir de las hojas convencionales de registro, en una hoja de cálculo electrónica, a fin de actualizar lo más posible el banco de datos.

- Análisis de la calidad de las series de tiempo en lo que respecta a la variable precipitación, utilizando la prueba de homogeneidad o de signo (Villalpando, 1985).

- Selección de estaciones meteorológicas.

- Obtención de valores de las variables e índices agroclimáticos siguientes:

A. Condiciones térmicas (° C)
   - Temperaturas promedio anual y mensuales: media, máxima y mínima.
   - Temperaturas máxima promedio del mes más cálido y mínima promedio del mes más frío.
   - Temperaturas máxima y mínima extremas.
   - Oscilación térmica.

   Índices derivados de la temperatura:
   - Unidades Calor. Obtenidas mediante el método Seno (por ser el que reportó datos con menor coeficiente de variación). Las temperaturas umbrales utilizadas fueron la de 7° C como mínima y la de 30° C como máxima (Medina y Ruiz, 1992).
   - Horas Frío. Estimadas por el método derivado de la ecuación senoidal propuesta por Snyder (*ibid.*).

B. Condiciones de humedad (mm)
   - Precipitación promedio anual y mensual.
   - Precipitación anual y mensual a diferentes niveles de probabilidad de excedencia utilizando la prueba de bondad de ajuste de Smirnov y Dinin-Barcowskij, y la función de distribución normal (*ibid.*).
   - Evaporación promedio anual y mensual.
   - Evapotranspiración potencial (ETP). Estimada mediante el modelo sugerido por Benavides (citado por Ortiz, 1984 y por Arteaga y Vázquez, 1996).

- Índice de Estacionalidad (Sumner, 1988).

C. Evaluación de la variabilidad anual de la precipitación

- Coeficiente de Variación (Doorenbos, 1976).
- Variación Intersecuencial (Vidal, 1980).
- Relación del año seco al año húmedo (Ortiz, 1984).

D. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad y temperaturas favorables (Ortiz, *op. cit.*; FAO, 1985; Pájaro y Ortiz, 1992; Arteaga y Vázquez, *op. cit.*).

- Tipos de Estación de Crecimiento.
- Balance hídrico mensual (precipitación a 80% de probabilidad de excedencia sobre la evapotranspiración potencial), mediante interpretación gráfica.
- Período libre de heladas (método de Thom, citado por Villalpando, *op. cit.*).
- Índice de Humedad mensual (Villalpando y Ruiz, 1993).

Para el procesamiento de los datos se emplearon diversos programas de cómputo: MicroSoft Excel versión 5, Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas SICA (Medina y Ruiz, *op. cit.*), y un paquete de programas agroclimáticos proporcionado por el Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo, Sección de Agrometeorología.

• Representación espacial. Se obtuvieron planos preliminares de las variables de interés utilizando el programa Surfer (versión 4.01), de acuerdo con el método de interpolación Kriging. La representación de las isotermas estuvo basada en las cartas topográficas 1:50 000 del INEGI, digitizadas en el Laboratorio de Información Geográfica y Estadística de ECOSUR, en tanto que las demás isolíneas (derivadas de la interpolación) se digitalizaron mediante el programa Arc-View 3.

• Confrontación de los requerimientos bioclimáticos del maíz, papa, café y frutales caducifolios (según diversas fuentes bibliográficas) con respecto a las características agroclimáticas detectadas en la región.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cantidad y calidad de datos y su selección

Para Los Altos de Chiapas se cuenta con los registros meteorológicos de 14 estaciones, aunque, actualmente, sólo diez de ellas están en funcionamiento. Uno de los primeros aspectos que salta a la vista es que su número es insuficiente, ya que por tratarse de un área montañosa con una extensión de 3 663 km^2, es recomendable un número mínimo de 15 estaciones o, en forma deseable, de 37 (Romo y Arteaga, 1989). Esta fue una de las razones para considerar, además, a estaciones periféricas que ayudaran a definir mejor las diferencias y límites climáticos; así, a partir de una revisión cartográfica, se seleccionaron 12 estaciones aledañas a la región en sus diferentes puntos cardinales.

El diagnóstico del funcionamiento de las estaciones regionales, apoyado en el levantamiento de información en campo, permite señalar que todas ellas reúnen el equipo mínimo de una estación climatológica auxiliar (Romo y Arteaga, *op. cit.*); su instrumental es de lectura directa[1] y, excepcionalmente, cuentan con algún aparato de registro (higrotermógrafo o pluviógrafo). Dentro del equipo que se maneja, fue común encontrar desperfectos, principalmente en el evaporómetro. Se sabe que para asegurar el registro confiable del estado del tiempo deben cumplirse condiciones mínimas en el emplazamiento de la estación; sin embargo, en pocos casos éstas se cumplían cabalmente.[2] El interés en el cuidado y toma de datos que se aprecia de las personas encargadas fue diferencial, y aprovecharon el propósito de la entrevista para expresar sus quejas respecto al "olvido" en que se les mantiene: no les llegan formas de registro, les pagan poco y a destiempo, y el instrumental no se repone con prontitud. Las irregularidades detectadas constituyeron una señal de alerta para proceder con cautela en el análisis de los datos.

Se trabajó con los registros de 23 estaciones, 11 localizadas en la región y 12 estaciones

periféricas. Ello significó descartar sólo tres de las regionales dado que el tiempo de registro era escaso (menos de 10 años). Si bien las series de tiempo con las que se cuenta rebasan en su mayoría los 20 años, su consistencia es deficiente, ya que, en mayor o menor medida, pierden continuidad en el registro de una o más variables, y en algunas incluso se interrumpe por varios años. Así, hubo necesidad de hacer recortes, a fin de asegurar lo más posible un período confiable que, por un lado, fuera continuo y, por el otro, contuviera datos que fuesen estadísticamente representativos. Para este último propósito, se consideraron los resultados de la prueba de homogeneidad aplicados para los datos de lluvia agrupados en pentenas, toda vez que la intención inicial era realizar un análisis para intervalos cortos de tiempo; no obstante, la misma calidad de las series de tiempo limitó esta posibilidad, de ahí que el estudio tuviera que restringirse, en su mayor parte, a agrupamientos mensuales.

En síntesis, las series de tiempo oscilan entre un mínimo de 13 años y un máximo de 33, aunque cabe aclarar que para las regionales (de mayor interés para este estudio), un 70% cubre, con más de 20 años, un volumen de datos deseable para análisis de tipo agroclimático (Cuadro 1).

Caracterización climática regional

Las variaciones más importantes de temperatura media anual en la región tienen una correlación elevada con la altitud, lo que permitió inferir para ella tres zonas térmicas, con base en los criterios de clasificación de García (1988) (Figura 1): *a)* una zona templada con temperaturas medias de 18° C o menores, que se sitúa arriba de los 1 600 msnm, representa la porción central de la región y abarca 72.6% de su superficie; *b)* una zona semicálida, con temperaturas medias entre 18 y 22° C, comprende una franja altitudinal entre 900 y 1 600 msnm, que representa 22% del total regional, siendo más importante en la parte norte; y *c)* una zona cálida, entre 300 y 900 msnm, donde la temperatura media anual es superior a 22° C, siendo mínima su representación por superficie (de 5.4%).

No obstante, los datos de temperatura de las 11 estaciones regionales indican su pertenencia a un clima templado, lográndose una mayor representación de sus condiciones (Cuadro 2). Destaca, en principio, cierta estabilidad térmica anual, al considerar las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas promedio, por lo que no puede hablarse de una estacionalidad marcada por temperatura. Esto, sin embargo, no significa una ausencia de variación tal que deje de percibirse, ya que en los meses de la mitad fría del año (noviembre-abril), los descensos de temperatura, vistos por los valores que adquieren las temperaturas mínimas son, sin duda, indicadores de la presencia probable de heladas, marcando así un cambio térmico estacional. Esta característica, de importancia indudable para la agricultura, se evaluará con mayor precisión en un apartado posterior.

Como se aprecia en el Cuadro 2, los montos totales de lluvia que se reciben en la región, mayores a los 1 000 mm y hasta cerca de los 2 000, evidencian diferencias zonales, en gran parte debidas a una posición desigual respecto a los vientos húmedos predominantes (alisios del NE), condicionada por los accidentes topográficos; en ese sentido, es notorio un gradiente suroeste-noreste de menor a mayor humedad (Figura 2). También destaca el carácter estacional de la lluvia, al tenerse que para el período mayo-octubre se concentra más de 70% del total anual; así, los meses más lluviosos son junio y septiembre. Sin embargo, siguiendo los criterios de García (*op. cit.*) para determinar los grados de humedad se tienen tres condiciones: bajo un régimen de lluvias en verano, una condición subhúmeda y otra húmeda, y un régimen de lluvias intermedio también húmedo, lo que significa que en algunos casos el monto recibido en los meses más secos es significativamente importante.

Cuadro 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas para la caracterización agroclimatológica de Los Altos de Chiapas, y período en años de registro considerado como consistente

ESTACIONES REGIONALES

Núm.	NOMBRE	MUNICIPIO	LONGITUD (W)	LATITUD (N)	ALTITUD (msnm)	PERÍODO	TOTAL años
1	Amatenango	Amatenango	92° 28' 48"	16° 33'	1750	65-91	27
4	Chamula	Chamula	92° 41' 24"	16° 47' 24"	2300	57-91	33
5	Chanal	Chanal	92° 15' 36"	16° 39' 36"	2030	70-90	21
6	Chenalhó	Chenalhó	92° 37' 48"	16° 53' 24"	1600	74-88	15
7	Chilil	Huixtán	92° 29' 24"	16° 40' 48"	2200	68-91	24
8	Huixtán	Huixtán	92° 27'	16° 42' 36"	1950	65-90	26
3	La Cabaña	San Cristóbal	92° 38' 24"	16° 45'	2113	63-92	30
9	Larraínzar	Larraínzar	92° 43' 12"	16° 53' 24"	2156	73-90	18
2	Los Arcos	San Cristóbal	92° 37' 48"	16° 43' 48"	2080	57-75	19
10	Oxchuc	Oxchuc	92° 20' 24"	16° 47' 24"	1987	70-91	22
11	San Pedro	Chenalhó	92° 37' 48"	16° 53' 24"	1480	67-92	26

ESTACIONES PERIFÉRICAS

Núm.	NOMBRE	MUNICIPIO	LONGITUD (W)	LATITUD (N)	ALTITUD (msnm)	PERÍODO	TOTAL años
1	Abelardo Rodríguez	Comitán	92° 14' 24"	16° 22' 48"	1775	77-91	15
2	Acala	Acala	92° 48' 36"	16° 33'	420	62-77	15
3	Almandro	Huitiupan	92° 40' 12"	17° 10' 12"	242	65-90	25
4	Altamirano1	Altamirano	92° 02' 24"	16° 43' 48"	1240	61-92	30
5	Altamirano2	Altamirano	92° 02' 24"	16° 43' 48"	1170	65-80	15
6	Bochil	Bochil	92° 53' 24"	16° 59' 24"	1200	61-91	30
8	Chiapilla	Chiapilla	92° 43' 12"	16° 33' 36"	555	70-83	13
7	El Burrero	Ixtapa	92° 49' 48"	16° 47' 24"	1280	62-92	30
9	Guaquitepec	Sitalá	92° 17' 24"	16° 58' 48"	1400	66-92	26
10	Ixtapa	Ixtapa	92° 54'	16° 48'	1085	61-90	28
11	Ocosingo	Ocosingo	92° 05' 24"	16° 54' 36"	900	64-83	19
12	Simojovel	Simojovel	92° 43' 12"	17° 07' 48"	700	66-92	26

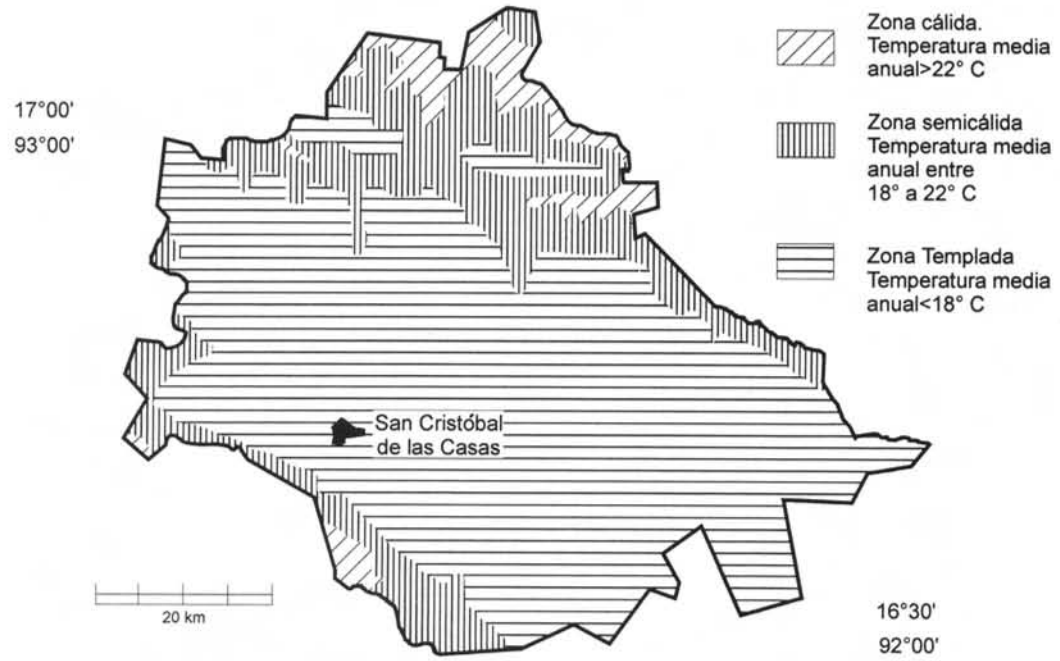


Figura 1. Región Los Altos de Chiapas. Zonas térmicas.

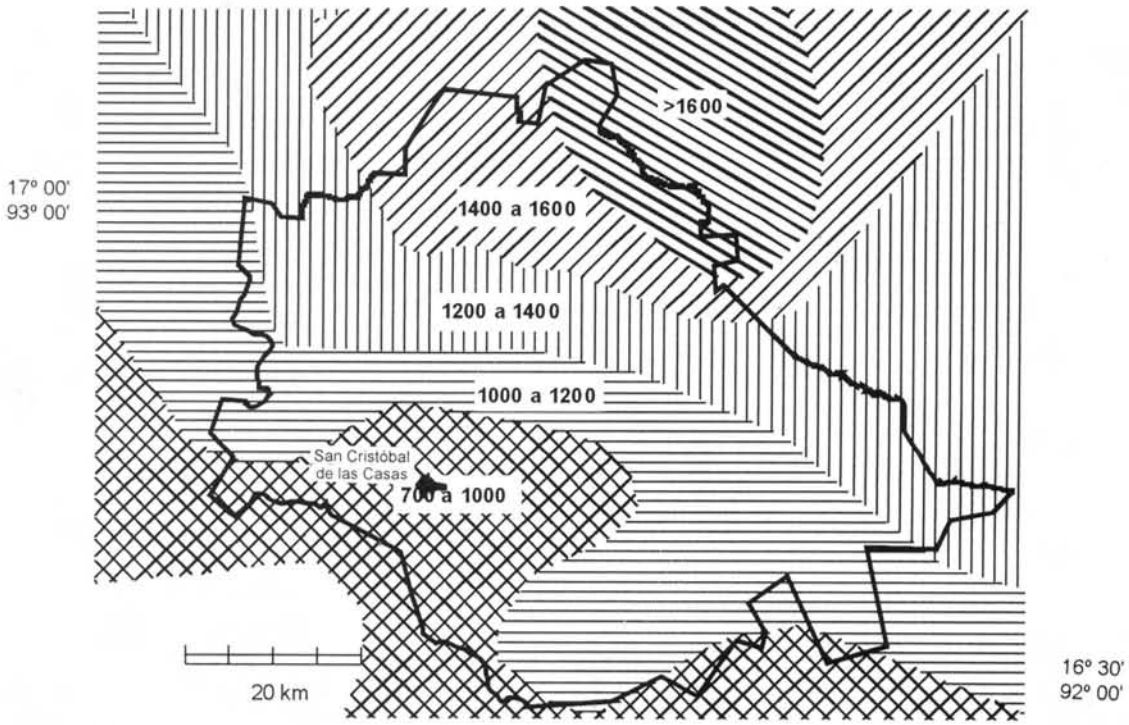


Figura 2. Región Los Altos de Chiapas. Precipitación anual en mm (80% de probabilidad de excedencia).

Cuadro 2. Condiciones de temperatura y de precipitación en la región Los Altos de Chiapas, según datos de estaciones meteorológicas

Condiciones de temperatura (° C)

ESTACIÓN	media	máxima	mínima	mes más cálido t χ		mes más frío t χ		oscilación térmica	máxima extrema mes		mínima extrema mes	
Amatenango	15.9	23.2	9.5	may	17.7	ene	13.3	4.4	35.0	mar	-5.0	feb
Chamula	14.1	21.0	7.5	jun	15.5	dic	12.1	3.4	30.5	may	-5.0	nov-feb
Chanal	15.1	21.1	9.1	may	17.2	ene	12.8	4.4	31.0	mar-may	0.0	ene-mar
Chenalhó	17.7	23.3	12.0	may	20.2	ene	14.5	5.7	42.5	may	0.0	dic-ene
Chilil	13.1	19.9	6.7	may	13.8	ene	12.4	1.5	43.0	mar	-3.5	feb
Huixtán	15.8	22.1	9.4	may	17.3	ene	13.2	4.2	31.5	abr	-6.0	ene
La Cabaña	14.8	21.4	8.1	jun	16.9	ene	12.1	4.8	37.0	may	-7.5	feb-mar
Larraínzar	16.0	22.2	9.8	may	18.1	ene	13.6	4.5	35.0	may	-5.0	feb
Los Arcos	15.1	22.4	7.7	jun	16.8	ene	12.4	4.4	34.5	may	-5.0	feb
Oxchuc	15.4	22.5	9.4	may	17.0	ene	12.7	4.3	36.0	may	-6.0	dic
San Pedro	17.5	23.5	11.5	may	20.0	ene	14.6	5.3	42.5	may	-5.0	ene

Condiciones de precipitación (mm) y algunos índices relacionados

ESTACIÓN	total anual	mes más lluvioso		mes más seco		% período		% lluvia invernal	Índice de Lang p/t*	Índice Estacionalidad**	Grado de humedad
		Pp***	Mes	Pp***	mes	may-oct.	nov-abr.				
Amatenango	1334.7	296.8	sep	3.9	ene	93.1	6.9	1.7	83.7	0.9	C(w2)(w)
Chamula	1245.2	227.4	sep	22.6	feb	81.4	18.6	7.0	88.6	0.6	C(m)
Chanal	1467.8	235.6	sep	47.9	feb	74.6	25.4	10.0	97.0	0.5	C(m)
Chenalhó	1973.2	359.5	sep	34.6	feb	82.4	17.6	6.2	111.8	0.7	C(m)
Chilil	1048.4	182.9	jun	19.9	mar	82.0	18.0	6.3	80.0	0.6	C(w2)
Huixtán	1155.4	212.9	jun	15.3	feb	83.7	16.3	5.2	73.4	0.7	C(w2)
La Cabaña	1058.5	223.1	jun	10.0	ene	87.2	12.8	4.0	71.6	0.7	C(w2)(w)
Larraínzar	1697.6	293.0	sep	44.3	mar	74.8	25.2	10.8	106.2	0.5	C(m)(f)
Los Arcos	1120.9	225.2	jun	15.3	mar	85.6	14.4	5.1	74.3	0.7	C(w2)
Oxchuc	1500.4	269.6	sep	40.9	mar	75.1	24.9	9.9	97.2	0.5	C(m)
San Pedro	1740.2	317.5	sep	31.6	mar	82.7	17.3	6.4	99.4	0.7	C(m)

* De acuerdo con este índice, valores comprendidos entre 60 y 100 corresponden a zonas húmedas de bosques claros y, entre 100 y 160, a zonas húmedas de grandes bosques (Maderey, 1982).
**Indice de Estacionalidad= <=0.19 muy equitativo; 0.6 a 0.8 estacional; >=1.2 extremo (Sumner, 1988).
*** Pp = precipitación.

En apoyo a la discriminación de diferencias en el régimen de lluvias, se manejó el Índice de Estacionalidad, que reafirma, en general, el gradiente antes apuntado, esto es, desde situaciones de una marcada estacionalidad, sobre todo en la parte sur de la región, a otras en las que se tiende a una distribución anual de la lluvia más equitativa, cuyo límite meridional parece perfilarse a partir de la línea que une los puntos de las estaciones de Larraínzar y Oxhuc, como los más claros.

Los elementos anteriores nos aproximan a conocer el potencial climático de la región. Bassols (1977), por ejemplo, indica que aquellas áreas en las que se reciben por lo menos 800 mm de lluvia al año pueden ser consideradas como apropiadas para la agricultura de temporal. Así entonces, la región rebasa, sin duda, este primer criterio. Por otro lado, un primer análisis de relación entre variables, como es la aplicación del Índice de Aridez de Lang (p/t), cuyos valores clasificados se asocian con tipos de vegetación, señalan para la región la prevalencia de una zona húmeda de bosques claros y también de grandes bosques (Maderey, 1982).

Duración de la Estación de Crecimiento (DEC) por disponibilidad de humedad

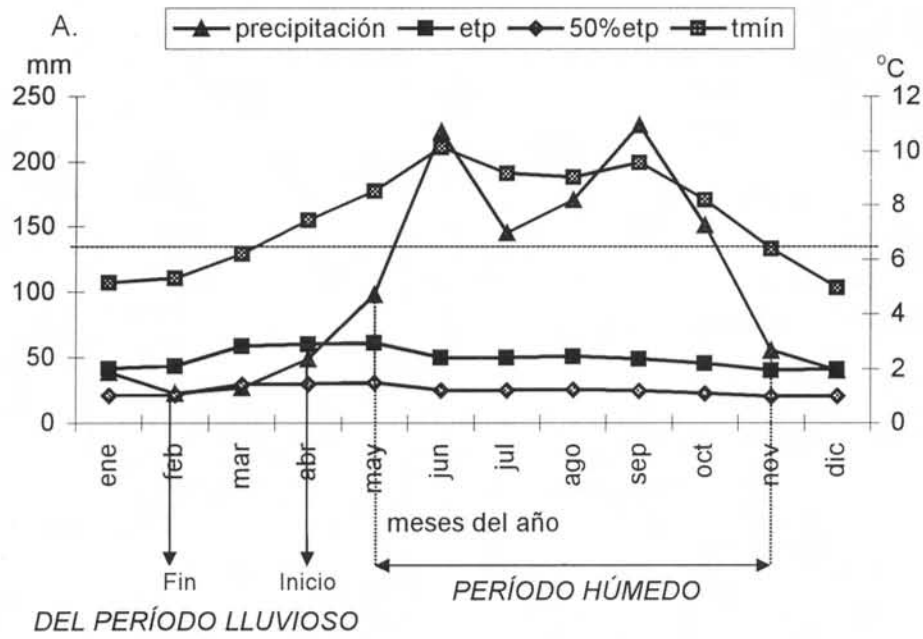
En toda la región, la Estación de Crecimiento es del tipo normal, lo que significa que se establece en el año un período húmedo en el que se satisfacen tanto las demandas de evapotranspiración de los cultivos a una completa o máxima cobertura, como el déficit de humedad en el perfil del suelo (Ortiz, *op. cit.*). Para la definición de sus componentes –inicio, terminación y duración–, en lugar de utilizar datos promedio de lluvia, como lo plantea la metodología de la FAO (*op. cit.*), se utilizaron datos de lluvia probabilística (al 80% de excedencia), como lo sugieren Arteaga y Vázquez (*op. cit.*; Figura 3). Este tipo de análisis se fundamenta al conocer que la lluvia tiene un carácter variable entre años, de ahí que para fines agronómicos se requieran los valores de lluvia que se esperarían bajo determinadas frecuencias (Cuadro 3).

A través de la interpretación gráfica de los datos mensuales, se aprecia una constante en la región: tanto el inicio de la estación lluviosa como el del período húmedo se establece en el mes de mayo (salvo el caso de la estación Oxchuc). Esta regularidad contrasta, notablemente, con el fin de la estación lluviosa (y del período de crecimiento) que es variable, encontrándose para un grupo de estaciones que el balance entre lluvia y evapotranspiración se mantiene positivo hasta octubre, denotando su estrecha relación con el temporal, mientras que en otro grupo la Estación de Crecimiento se prolonga a febrero, resaltando la importancia de las lluvias invernales, y, entre ambos, un tercer grupo transicional. Con base en lo anterior, y en concordancia con el intervalo de tiempo mensual, la duración de la Estación de Crecimiento por disponibilidad de humedad fluctúa entre un mínimo de seis meses (180 días) hasta un máximo de diez (300 días; Cuadro 4).

Ante la limitación metodológica de no poder diferenciar fechas de inicio de la Estación de Crecimiento, se probaron dos alternativas: *a)* el uso de los modelos propuestos por Pájaro y Ortiz (*op. cit.*) y *b)* el análisis de los datos diarios de los meses de abril y mayo.

Fechas de siembra

Las fechas de siembra estimadas según el procedimiento de Pájaro y Ortiz (*op. cit.*) están basadas en el dato de lluvia promedio y, para ello, primero se obtiene la duración de la Estación de Crecimiento. Al respecto, los resultados reportan para la región una duración definida por un mínimo de 179 días y un máximo de 297, datos que al compararlos con el método gráfico antes referido, son similares. Posteriormente, se conocen las fechas de siembra; así, se tiene como fecha más temprana la del 2 de abril (en la estación Chenalhó) y como fecha más tardía el 19 de mayo (en las estaciones La Cabaña y Chilil), en correspondencia con la duración de la Estación de Crecimiento: a una duración más larga corresponde una fecha de siembra más temprana (Cuadro 4).



La estación de crecimiento por humedad inicial en abril y termina en febrero; sin embargo, por la presencia de temperaturas mínimas menores a 6.5°C a partir de noviembre, la duración del período de crecimiento se acorta a octubre.

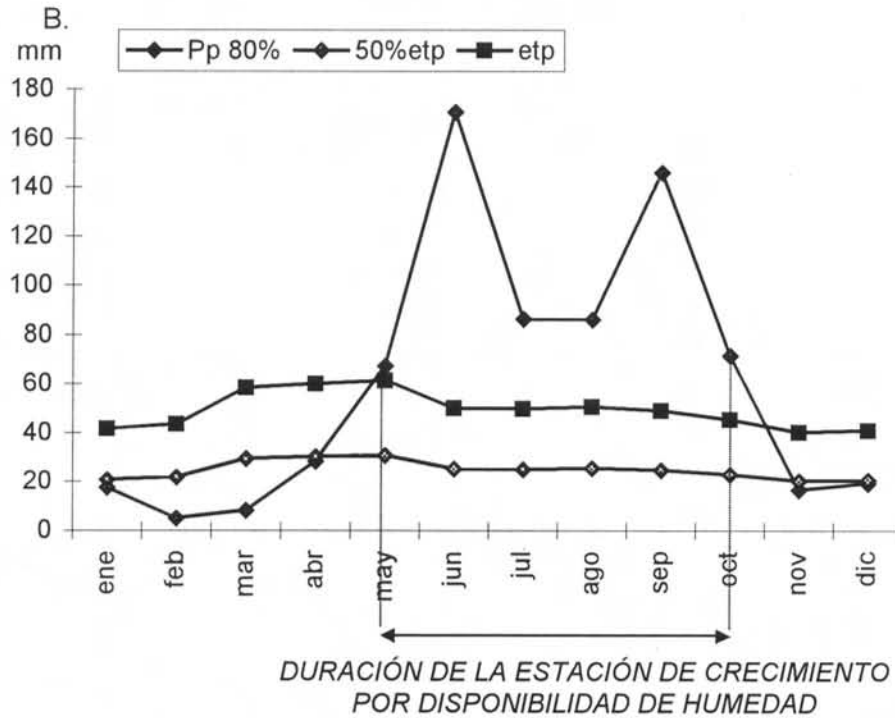


Figura 3. Ejemplo de Estación de Crecimiento Normal, con sus principales componentes. A. Con datos de lluvia promedio y B. Con datos de lluvia a 80% de probabilidad de excedencia. Datos de la estación meteorológica Chamula.

Cuadro 3. Parámetros de variación de la lluvia y valores de lluvia probabilística

ESTACIÓN	Pp total anual (mm)	Desviación estandar	Coeficiente de variación %	Variación interanual %	Relación año seco-año húmedo	Niveles de probabilidad de excedencia %			
						20	40	60	80
Amatenango	1334.7	252.9	18.9	22.4	1:2	1547.5	1398.8	1270.6	1121.9
Chamula	1245.2	261.5	21.0	19.8	1:2	1465.3	1311.5	1179.0	1025.2
Chanal	1467.8	232.5	15.8	15.3	1:2	1663.5	1526.8	1408.9	1272.1
Chenalhó	1973.2	443.5	22.5	16.7	1:3	2346.4	2085.5	1860.8	1599.9
Chilil	1048.4	337.1	32.2	34.9	1:5	1332.0	1133.8	963.0	764.7
Huixtán	1155.4	215.7	18.7	22.2	1:2	1341.9	1206.4	1089.6	954.0
La Cabaña	1058.5	182.3	17.2	16.1	1:2	1210.0	1102.0	1009.0	901.0
Larrainzar	1697.6	367.2	21.6	16.3	1:2	2006.6	1790.6	1604.6	1388.5
Los Arcos	1120.9	129.7	11.6	14.0	1:1	1230.1	1153.7	1088.0	1011.6
Oxchuc	1500.4	366.1	24.4	22.3	1:2	1808.6	1593.2	1407.7	1192.3
San Pedro	1740.2	246.9	14.2	15.2	1:2	1948.0	1802.7	1677.6	1532.4

Cuadro 4. Duración de la Estación de Crecimiento (DEC), por disponibilidad de humedad y temperaturas favorables, según diferentes métodos

ESTACIÓN	Interpretación gráfica								Método de Pájaro y Ortiz, 1992	
	Por humedad. Pp al 80% de prob. de exced./ETP_1		Por temperatura, con base en el Período Libre de Heladas$_2$			Por humedad y temperatura			Duración (días)	Fecha de siembra
	período	días	fechas de heladas		duración (días)	período	días	fecha inicio mayo$_3$		
			primaverales	otoñales						
Amatenango	may-oct	180	21-mar	7-nov	231	may-oct	180	20	222	2 mayo
Chamula	may-oct	180	25-abr	28-oct	186	may-oct	180	22	209	7 mayo
Chanal	may-feb	300	17-mar	6-dic	264	may-nov	210	25	240	25 abril
Chenalhó	may-ene	270	1-ene	23-nov	326	may-nov	210	15	297	2 abril
Chilil	may-oct	180	15-abr	15-oct	183	may-oct	180	18	179	19 mayo
Huixtán	may-nov	210	7-mar	15-nov	253	may-oct	180	20	196	13 mayo
La Cabaña	may-oct	180	24-abr	30-oct	189	may-oct	180	20	180	19 mayo
Larrainzar	may-feb	300	16-feb	21-nov	278	may-nov	210	20	269	14 abril
Los Arcos	may-nov	210	24-abr	28-oct	187	may-oct	180	12	190	15 mayo
Oxchuc	abr-ene	300	23-mar	1-nov	223	abr-oct	210	21	245	23 abril
San Pedro	may-dic	240	1-ene	23-nov	326	may-nov	210	15	273	12 abril

1. Siguiendo los criterios de la FAO, 1985; y de Arteaga y Vázquez, 1996.
2. Según Thom, citado por Villalpando, 1985.
3. Las fechas de siembra se obtuvieron utilizando los datos diarios de lluvia promedio y de evaporación del mes de abril y mayo.

Alternativamente también, se analizaron de manera gráfica los datos diarios de los meses de abril y mayo para obtener la fecha de siembra, o el inicio del período lluvioso. De esta lectura se deriva que la fecha de siembra se registra, exclusivamente, en el mes de mayo, entre los días 12 y 25. Dado que en este caso se recurre a un método directo y de mayor precisión, estos resultados se proponen como los de mayor aproximación a la región.

Clasificación de la humedad mensual mediante la relación precipitación (a 80% de probabilidad de excedencia sobre ETP)

El índice de humedad en el nivel mensual expresa una idea cualitativa de la disponibilidad de humedad a lo largo del año, y su uso ayuda a diferenciar patrones regionales, que complementan los resultados previos (Cuadro 5). De su aplicación se tiene que: *a)* En el mes de mayo, cuando tiene lugar el inicio de la Estación de Crecimiento en la región, los niveles de humedad oscilan entre ligeramente deficientes y adecuados. *b)* A continuación, en toda la región, se tienen por lo menos cuatro meses (de junio a septiembre) en los que la humedad varía entre ligeramente excesiva y excesiva. Esta diferencia está dada por el efecto de la canícula, que se aprecia de manera distinta. Existe un efecto notorio de dicho fenómeno (sin que esto signifique necesariamente una condición de deficiencia hídrica) en las estaciones de Chamula, Chilil, Huixtán y La Cabaña. *c)* Tras un período de humedad "abundante" de cuatro o cinco meses, los niveles de humedad descienden en la región y empiezan a ser deficientes a partir de noviembre, en las estaciones de Amatenango, Chilil, La Cabaña y Chamula, y a partir de diciembre en Huixtán y Los Arcos; esto es, en su parte más céntrica. En estas estaciones, la disponibilidad de humedad se apega a las lluvias de temporal, que inician en mayo y culminan en octubre (seis meses) o noviembre (siete meses).

Por otro lado, en las estaciones de Oxchuc, San Pedro y Chenalhó, se perfilan condiciones deficientes de humedad en febrero y hasta marzo, como en Larraínzar y Chanal. La posibilidad de prolongar el periodo disponible de humedad –a febrero o marzo–, se explica por el aporte de lluvias en los meses invernales y por una relación más equilibrada entre los niveles de lluvia y de evaporación. De acuerdo con estas condiciones la Duración de la Estación de Crecimiento (DEC) es de nueve y diez meses. Una diferencia sobresaliente respecto al primer grupo analizado.

Duración de la Estación de Crecimiento basada en el período libre de heladas

Como se observa en el Cuadro 4, las heladas son un fenómeno frecuente en la región desde finales de octubre (primeras heladas otoñales) hasta abril (últimas heladas primaverales). La duración regional del período libre de heladas (que fluctúa de 186 a 326 días) arroja una diferencia máxima notable a su interior (de 140 días), que, en principio, es atribuible a la variación altitudinal; así, las estaciones localizadas en las partes más altas (2 080 a 2 300 msnm) tienen la duración más corta (183 a 189 días), además, en ellas coinciden los meses de heladas otoñales y primaverales (octubre y abril, respectivamente). La duración del PLH es más larga (223 a 253 días) en estaciones ubicadas entre los 1 500 y 2 000 msnm, donde los meses de heladas se registran de noviembre a marzo. No obstante, la duración del PLH no es una función exclusiva de la altitud, por lo que cabe esperar el efecto de otras condiciones, como el nivel de humedad atmosférica que, en este caso, actúa como atenuante. Es ésta la situación que priva en los alrededores de Chanal y Larraínzar, donde aún y cuando ascienden por arriba de los 2 000 msnm, la mayor humedad que los caracteriza es, posiblemente, el factor que determina una mayor amplitud en el PLH (de 264 y 278 días, respectivamente). Finalmente, el PLH es el más alto en la región (de más de 300 días) cuando se desciende por debajo de los 1 500 msnm, y hay además una condición húmeda.

Cuadro 5. Grupos de estaciones similares por patrones de humedad disponible en el año

ESTACION	Pará-metro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Grupo A. Estaciones con periodo húmedo favorable de mayo a octubre													
Amatenango	Pp	0.0	0.0	0.0	11.2	64.5	210.7	124.2	151.8	221.1	62.4	0.0	0.0
	ETP	60.6	65.6	88.0	87.8	81.3	66.3	73.8	74.6	60.9	57.1	53.0	54.7
	Pp/etp	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	3.2	1.7	2.0	3.6	1.1	0.0	0.0
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*Hd*	*hld*	*he*	*he*	*he*	*he*	*ha*	*hd*	*hd*
Chamula	Pp	17.6	5.0	8.2	28.2	67.0	170.6	86.1	85.9	145.7	71.2	16.5	19.1
	ETP	41.5	43.3	58.4	59.9	61.1	49.9	49.6	50.5	48.9	45.3	40.0	40.8
	Pp/etp	0.4	0.1	0.1	0.5	1.1	3.4	1.7	1.7	3.0	1.6	0.4	0.5
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*hld*	*ha*	*he*	*hle*	*hle*	*he*	*hle*	*hd*	*hld*
Chilil	Pp	13.0	2.8	2.2	14.8	70.0	97.5	83.7	76.3	99.8	53.7	20.5	16.5
	ETP	48.0	43.0	56.3	60.6	61.7	54.2	60.1	61.2	63.4	56.1	47.4	46.5
	Pp/etp	0.3	0.1	0.0	0.2	1.1	1.8	1.4	1.2	1.6	1.0	0.4	0.4
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*hd*	*ha*	*he*	*hle*	*hle*	*he*	*ha*	*hd*	*hd*
La Cabaña	Pp	2.5	0.0	1.9	15.3	48.6	168.9	86.7	93.6	144.8	54.7	6.4	3.5
	ETP	51.5	53.9	72.6	73.4	68.6	59.4	64.7	64.7	54.8	49.8	47.4	47.5
	Pp/etp	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	2.8	1.3	1.4	2.6	1.1	0.1	0.1
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*hd*	*hld*	*he*	*hle*	*hle*	*he*	*ha*	*hd*	*hd*
Grupo B. Estaciones con periodo húmedo favorable de mayo a noviembre													
Huixtán	Pp	7.0	2.0	9.7	20.2	59.6	150.2	82.4	91.2	146.8	73.4	24.0	10.7
	ETP	49.0	51.1	72.8	71.0	66.3	51.8	57.5	57.0	46.8	44.2	40.6	42.1
	Pp/etp	0.1	0.0	0.1	0.3	0.9	2.9	1.4	1.6	3.1	1.7	0.6	0.3
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*Hd*	*ha*	*he*	*hle*	*hle*	*he*	*he*	*hld*	*hd*
Los Arcos	Pp	9.0	0.0	2.1	13.9	45.3	176.6	97.2	110.6	148.6	66.8	20.3	0.0
	ETP	43.6	45.5	58.3	57.2	57.0	46.2	51.8	53.0	42.3	39.7	40.2	40.0
	Pp/etp	0.2	0.0	0.0	0.2	0.8	3.8	1.9	2.1	3.5	1.7	0.5	0.0
	niv.hum.	*hd*	*hd*	*hd*	*hd*	*hld*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*hld*	*hd*
GrupoC. Estaciones con periodo húmedo favorable de mayo a enero													
Oxchuc	Pp	36.2	12.8	21.5	32.0	50.4	124.5	92.1	123.0	175.1	92.3	59.4	34.4
	ETP	44.5	45.4	54.9	52.0	61.5	56.0	54.5	57.1	54.7	53.8	51.7	47.8
	Pp/etp	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	2.2	1.7	2.2	3.2	1.7	1.1	0.7
	niv.hum.	*hld*	*hd*	*hd*	*hld*	*hld*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*ha*	*hld*
San Pedro	Pp	17.8	16.1	14.2	22.5	62.0	241.5	167.6	183.4	229.9	122.7	48.8	38.3
	ETP	36.8	41.7	68.9	74.3	73.0	53.0	61.2	61.3	49.3	45.7	36.7	34.9
	Pp/etp	0.5	0.4	0.2	0.3	0.8	4.6	2.7	3.0	4.7	2.7	1.3	1.1
	niv.hum.	*hld*	*hd*	*hd*	*hd*	*hld*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*hle*	*ha*
Chenalhó	Pp	19.8	16.9	19.1	23.9	73.1	251.5	179.8	208.2	236.0	132.2	40.9	31.6
	ETP	38.4	45.8	71.8	76.3	79.7	54.9	62.2	63.2	52.5	46.7	38.2	35.6
	Pp/etp	0.5	0.4	0.3	0.3	0.9	4.6	2.9	3.3	4.5	2.8	1.1	0.9
	niv.hum.	*hld*	*hd*	*hd*	*hd*	*ha*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*ha*	*ha*
Grupo D. Estaciones con periodo húmedo favorable de mayo a febrero													
Larrainzar	Pp	34.6	34.4	21.8	11.4	57.0	153.7	146.5	144.7	185.6	126.5	44.3	48.1
	ETP	42.6	44.7	58.0	57.4	60.9	49.1	55.1	53.4	53.3	48.6	44.6	40.5
	Pp/etp	0.8	0.8	0.4	0.2	0.9	3.1	2.7	2.7	3.5	2.6	1.0	1.2
	niv.hum.	*hld*	*hld*	*hd*	*hd*	*ha*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*ha*	*hle*
Chanal	Pp	33.4	26.7	24.3	29.6	74.3	160.2	114.7	112.6	173.8	95.4	61.9	47.7
	ETP	43.8	43.6	61.6	61.9	62.5	55.0	57.0	55.4	51.5	49.1	40.2	39.3
	Pp/etp	0.8	0.6	0.4	0.5	1.2	2.9	2.0	2.0	3.4	1.9	1.5	1.2
	niv.hum.	*ha*	*hld*	*hd*	*hld*	*hle*	*he*	*he*	*he*	*he*	*he*	*hle*	*hle*

Pp = Valores mensuales de precipitación al 80% de probabilidad de excedencia.
ETP = Evapotranspiración Potencial.
Niv. hum. = Niveles de humedad; hd= deficiente; hld=ligeramente deficiente; ha= adecuada; hle= ligeramente excesiva; he= excesiva (Villalpando y Ruiz, 1993).

Duración de la Estación de Crecimiento por disponibilidad de humedad y temperatura

En la región, el factor crítico que reduce en mayor o menor magnitud la DEC son las heladas otoñales. La aplicación de este criterio no significó una reducción en la DEC en aquellas estaciones con una disponibilidad de humedad delimitada en los meses de mayo a octubre (seis meses), porque en ellas las heladas otoñales tienen lugar hasta finales de este último mes, pero sí tuvo efecto en las restantes, acortándose la DEC en uno, dos o hasta tres meses. Así, la duración efectiva de la Estación de Crecimiento en la región abarca desde 150 hasta 300 días, una diferencia máxima de cinco meses (Figura 4).

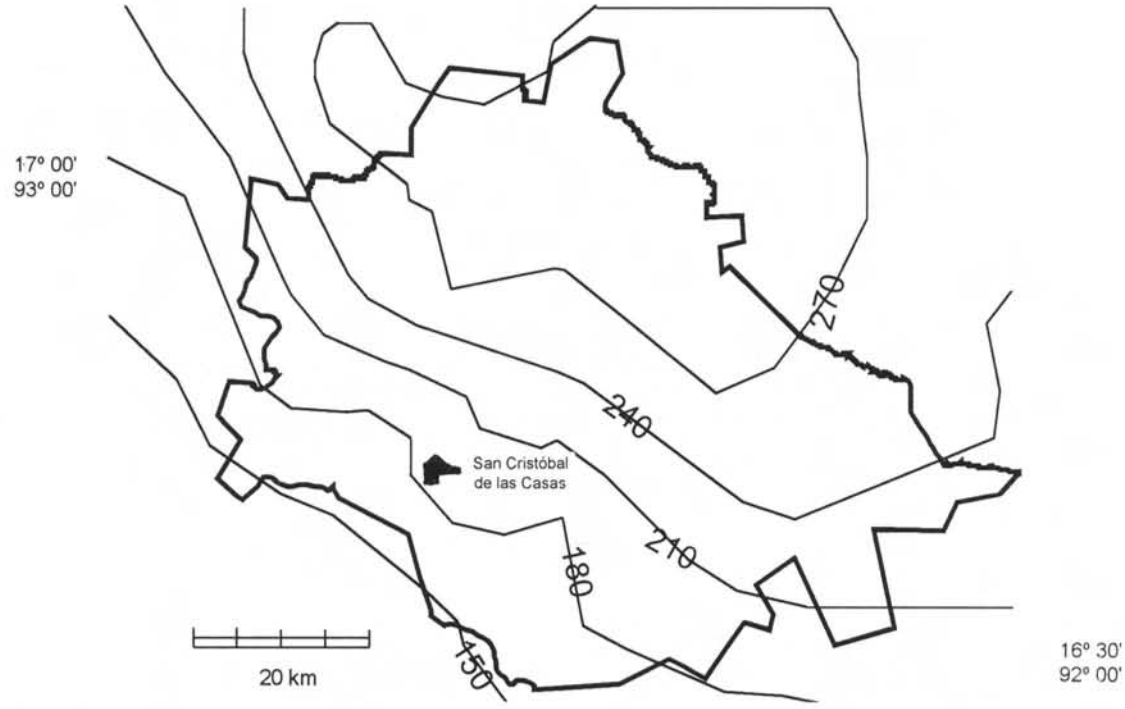


Figura 4. Región Los Altos de Chiapas. Duración de la Estación de Crecimiento (días) por disponibilidad de humedad y temperaturas favorables.

Adaptabilidad de cultivos a las condiciones agroclimáticas regionales

Con base en la información generada, en este apartado se intenta evaluar, a grandes rasgos, el recurso climático en función de algunos de los requerimientos biológicos de cultivos que tienen importancia en la región. Este enfoque puede posteriormente complementarse con otro en el que se prefieran cultivos o sistemas productivos alternativos a los existentes. En cualesquiera de los dos casos, el análisis de adaptabilidad de cultivos es insuficiente si no se consideran las características de otros recursos, el suelo como uno de los principales. Más aún, el problema se complica al planificar el reordenamiento en el uso del suelo, ya que además se exige un examen cuidadoso de las implicaciones tecnológicas y socioeconómicas que trae consigo.

Maíz (*Zea mays* L.)

La importancia del maíz en la región es indiscutible, no sólo porque constituye la base principal de la alimentación de la población, sino también por su significado sociocultural, téngase presente que Los Altos de Chiapas forma parte de la gran zona maya y que se compone, fundamentalmente, de grupos indígenas de las etnias tzotzil y tzeltal. Actualmente, el maíz representa cerca de 85% de la superficie total sembrada, siendo su principal propósito el autoabasto familiar; sin embargo, los rendimientos reportados son bajos. Aun cuando en la mayoría de los casos se emplea fertilizante para su cultivo, aquéllos no rebasan una tonelada por hectárea (INEGI, 1996). Destaca también el hecho de la variedad de sistemas de producción en que se cultiva, reconociéndose hasta siete formas diferentes, en las que comúnmente la siembra de maíz se realiza en asociación con otras especies (Alemán y López, 1989).

El maíz, por su gran trascendencia agrícola, ha sido adaptado a una gama amplia de condiciones climáticas, de ahí la pertinencia de referirse a los tipos que han sido caracterizadas como propias de determinados nichos ecológico-sociales. Así, el principal tipo de maíz para Los Altos de Chiapas, arriba de los 2 000 msnm, es el conocido como Olotón (Paczka, 1973). En un estudio específico realizado con maíz criollo de la región se determinó un ciclo biológico de 203 días bajo condiciones agronómicas óptimas, lográndose un rendimiento excepcional de 7 ton/ha, lo que señala el potencial que puede llegar a alcanzar este germoplasma (Márquez *et al.*, 1992). Este ciclo coincide con otras referencias en las que para temperaturas diurnas promedio de 15° C, el cultivo de maíz de grano tarda de 200 a 300 días en madurar (Doorenbos y Kassam, 1986).

Al considerar las temperaturas umbrales del maíz de Valles Altos (7 y 30° C), y de aquí derivar las unidades térmicas de la Estación de Crecimiento para las localidades de clima templado de Los Altos, se tiene una variación de 1 234.7 y 2 478.7 (Cuadro 6), lo que evidentemente sugiere ciclos fisiológicos de distinta duración. Este aspecto puede servir para definir ámbitos agronómicos equivalentes.

Por disponibilidad de humedad, se encuentra que las necesidades hídricas del maíz son cubiertas plenamente, incluso llegan a rebasarse si se consideran los montos de lluvia promedio que se reciben en la Estación de Crecimiento frente al nivel óptimo de alrededor de 800 mm, y a los umbrales de 500 a 1 500 mm, mínimo y máximo, respectivamente (Doorenbos y Kassam, *op. cit.*). Los valores a 80% de probabilidad de excedencia son, asimismo, adecuados, salvo la porción centro-sur de la región, en la que los montos de lluvia se ubican entre el mínimo necesario y el óptimo. Es aquí donde la duración de la Estación de Crecimiento es menor a 200 días, lo que sugiere la siembra de maíz de ciclo más breve.

El índice de humedad mensual durante la Estación de Crecimiento da cuenta de condiciones que van de ligeramente excesivas a excesivas, lo que supone que son bajas las probabilidades de estrés hídrico para la planta. Esto se refuerza al saber que los productores empiezan a doblar la mazorca de maíz desde septiembre (mes lluvioso) para evitar su

pudrición.

En síntesis, en la región se tienen condiciones climáticas adecuadas para el cultivo del maíz durante la Estación de Crecimiento; no obstante, son de esperarse diferencias en su desarrollo fisiológico debidas al efecto de una acumulación desigual de calor.

Cuadro 6. Características de temperatura y de humedad en la Estación de Crecimiento

Características de temperatura (° C)

ESTACIÓN	*período*	*media*	*máxima*	*mínima*	máxima promedio extrema ° C pentena*		mínima promedio extrema ° C pentena*		grados día	horas frío
Amatenango	may-oct	17.2	23.5	11.8	25.8	27	9.5	60	1894.6	549
Chamula	may-oct	15.0	21.1	9.1	22.6	29	7.3	59	1509.9	815
Chanal	may-nov	15.7	21.2	10.3	24.6	26	7.9	64	1871.2	326
Chenalhó	may-nov	17.9	22.6	13.2	25.5	27	10.6	65	2478.7	130
Chilil	may-oct	13.4	20.0	7.2	21.2	29	6.6	50	1234.7	786
Huixtán	may-oct	16.9	22.7	11.0	24.3	27	9.6	60	1826.1	404
La Cabaña	may-oct	16.2	21.9	10.5	23.1	27	8.5	60	1704.8	833
Larraínzar	may-nov	16.6	22.5	10.7	25.8	27	8.5	63	2054.3	247
Los Arcos	may-oct	16.4	22.7	10.0	24.6	25	8.3	60	1725.5	867
Oxchuc	abr-oct	16.5	23.3	10.8	25.1	23	9.7	21	2105.4	471
San Pedro	may-nov	18.4	23.8	12.9	27.2	26	10.2	63	2423.3	138

* Se refiere al número de pentena en el año, dividiéndose éste en 72 pentenas (periodo de cinco días).

Características de humedad (mm)

ESTACIÓN	período	lluvia			mes más lluvioso				mes más seco			
		pro-medio	80% prob. exced.	20% prob. exced.	mes	pro-medio	80% prob. exced.	20% prob. exced.	mes	pro-medio	80% probabi-lidad exced.	20% probabi-lidad exced.
Amatenango	may-oct	1242.8	834.8	1650.8	sep	296.8	221.1	372.6	oct	112.7	62.4	162.9
Los Arcos	may-oct	1013.7	626.6	1400.8	sep	227.4	145.7	309.1	may	97.7	67.0	128.3
La Cabaña	may-nov	1183.8	792.8	1574.3	sep	235.6	173.8	297.3	nov	89.1	61.9	116.2
Chamula	may-nov	1715.9	1121.7	1981.6	sep	359.5	236.0	417.3	nov	90.6	40.8	90.6
Chanal	may-oct	859.9	481.1	1238.6	jun	182.9	97.5	268.3	oct	93.5	53.7	133.4
Chenalhó	may-oct	966.8	603.7	1329.9	jun	212.9	150.2	276.0	may	115.4	59.6	171.1
Chilil	may-oct	922.7	597.3	1248.0	jun	223.1	168.9	277.2	may	94.8	48.5	141.0
Huixtán	may-nov	1374.6	858.4	1890.9	sep	293.0	185.6	400.4	nov	105.3	44.3	166.2
Larraínzar	may-oct	958.9	645.2	1272.7	jun	225.2	176.6	273.7	may	85.9	45.2	126.4
Oxchuc	abr-oct	1192.7	689.4	1696.0	sep	269.6	175.1	364.0	abr	65.2	32.0	98.5
San Pedro	may-nov	1523.7	1056.0	1991.5	sep	317.5	229.9	405.1	nov	84.2	48.8	119.6

Café (*Coffea arabica*)

Actualmente, el café forma parte del patrón de uso del suelo de una de las microrregiones agrícolas de Los Altos. Su importancia en la agricultura regional empieza en los años setenta-ochenta, cuando su cultivo fue impulsado por la presencia del Instituto Mexicano del Café (INMECAFE) en la zona (Martínez, 1994). Se estima una superficie cultivada de café de 19.5% con respecto a la total sembrada, cifra que se eleva a 35% si sólo se consideran los siete municipios, que por sus características climáticas, permiten el desarrollo del café en la totalidad o parte de su superficie (INEGI, *op. cit.*). La relevancia del café, sin embargo, no estriba exclusivamente en el área que ocupa, sino también en lo social, ya que su introducción ha fomentado cambios en la organización campesina que se traduce en una mayor capacidad de gestión por alcanzar mejores condiciones en la producción y comercialización del grano, y en el nivel de vida, en general (Martínez, *op. cit.*). Así, el diagnóstico agroclimático para el café aporta precisión cuantitativa respecto a las variables que caracterizan este ambiente, además de elementos que pueden conducir a la identificación de alternativas que ayuden a elevar los niveles de productividad que se tienen, aproximadamente 10 quintales por hectárea, mismos que, comparativamente, son de los más bajos del país (*ibid.*).

En esta revisión se tomaron en cuenta los requerimientos bioclimáticos que se reportan para la especie *Coffea arabica* (Coste, 1980), por ser la representativa de la zona. Esta especie presenta un período activo que comprende desde la floración hasta la maduración del grano que varía entre seis y ocho meses, seguido de un período de reposo. Las temperaturas óptimas para su desarrollo están entre los 20 y 25°C, siendo sensible a temperaturas bajas, de 4°C o menores, y a máximas de más de 30°C. Para el café es importante tanto el monto de lluvias como su régimen; en tal caso, prospera bien en situaciones en las que se tienen entre 1 500 y 1 800 mm anuales, con un régimen que comprende algunos pocos meses de relativa sequía, los cuales coinciden con el período de reposo vegetativo que precede a la floración. Luego, por debajo de los 800 o 1 000 mm de precipitación anual, incluso bien repartidos, el cultivo de café es aleatorio y la producción fluctuante.

Al comparar estos indicadores con los resultados encontrados para la región, se advierte que por la Duración de la Estación de Crecimiento podría cultivarse café prácticamente en toda ella. De hecho, el censo agropecuario reporta superficie con café, de relativa poca importancia, en los municipios del sur regional con DEC entre 150 y 180 días; no obstante, ello no significa que se tengan las condiciones (de temperatura y precipitación) óptimas que la planta requiere. En ese sentido, la zona que ofrece una DEC más amplia, además de las temperaturas óptimas señaladas, es aquélla que se ubica a partir de los 240 días en adelante, y más específicamente, la que se encuentra entre los 600 y 1 500 msnm, franja térmica en la que se esperan temperaturas promedio de entre 18 y 25° C, y temperaturas extremas que no traspasan el ámbito de tolerancia de la especie. Además, en esta zona los valores de precipitación (a 80% de probabilidad de excedencia)[3] cubren lo que se estima como lo adecuado para el café (se tienen más de 1 500 mm de lluvia al año), cantidad que se reparte en el año dejando un período de dos a tres meses de sequía relativa (entre diciembre y febrero), intervalo de tiempo necesario para propiciar el reposo vegetativo y la posterior inducción de la floración, la que puede ocurrir en mayo al recibirse, durante este mes, lo que se conoce como umbral pluviofloral (entre 10 y 35 mm).

Al observar la distribución actual de la zona cafetalera, comparada con la zona climática óptima de café (Figura 5), se tiene que aquélla se establece en un ámbito conveniente, pero también se detectan áreas en las que el cultivo no está presente, pese a que éste es factible. Sin duda, la microrregión cafetalera amerita un análisis más amplio y particular que nos aproxime a descubrir, por un lado, las diferencias agronómicas de los cafetales establecidos y su respuesta a condiciones microclimáticas

y, por el otro, a conocer los factores (incluidos otros de naturaleza ecológica) que obstaculizan su crecimiento en superficie (si esto fuera deseable) o su desarrollo como sistema

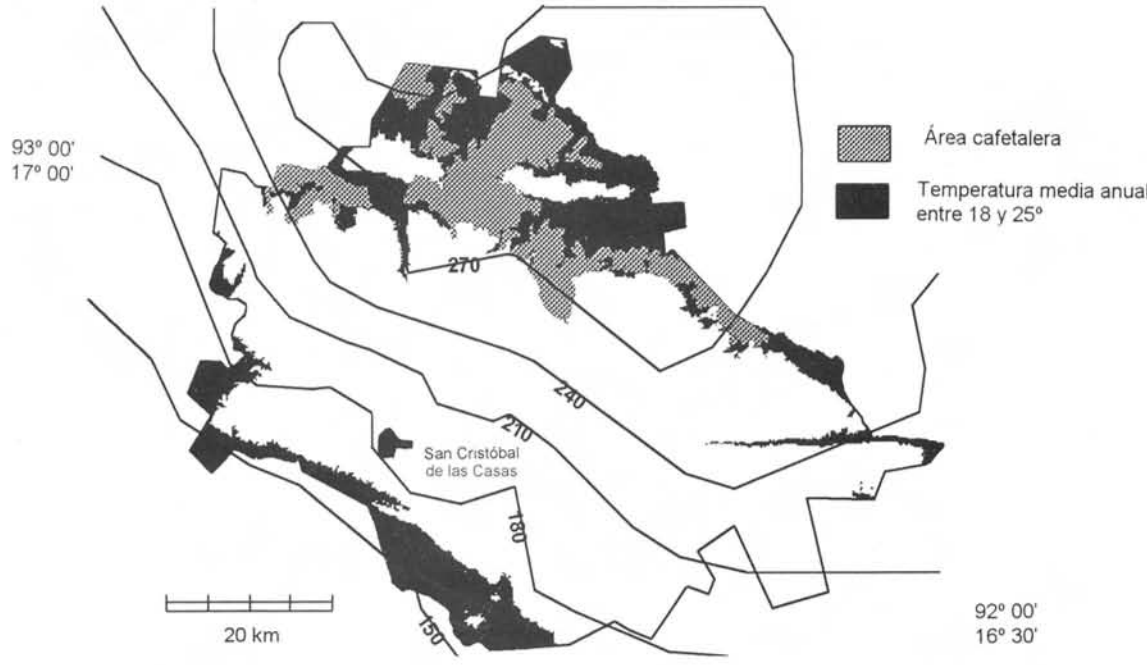


Figura 5. Región Los Altos de Chiapas. Zona cafetalera (definida por Cortina, 1997), temperatura media anual óptima para el café y duración de la Estación de Crecimiento.

Papa (*Solanum tuberosum*)

La papa forma parte del conjunto de especies hortícolas que se cultivan en la región (al lado del rábano, lechuga, repollo, coliflor, zanahoria, betabel, brócoli, entre otras), por lo que en forma particular, es poca la superficie que se siembra anualmente de papa, apenas 0.6% de la total regional (INEGI, *op. cit.*); no obstante, su importancia se concentra en áreas de mayor intensificación agrícola, ahí donde predominan sistemas de uso anual y de cosecha múltiple. Por otro lado, el cultivo de hortalizas identifica a productores que tienen una orientación comercial y, en consecuencia, son quienes se articulan en mayor medida al mercado de productos. Cabe decir entonces que la papa es un producto de gran demanda en el núcleo urbano principal de la región, la ciudad de San Cristóbal de Las Casas.

El cultivo de la papa en la región se conoce desde tiempo atrás. Existe incluso un germoplasma criollo, conocido como *batzil isaac* ("papa verdadera" o papa Chamula), muy apreciado por la población por su sabor, que representa una planta semidomesticada. Sin embargo, ha sido a partir de la introducción y promoción de variedades mejoradas, tales como la Rosita, Tollocan, Alfa y López, que el cultivo de la papa ha cobrado importancia comercial e incentiva a quienes la producen, porque les reporta algún beneficio económico, pese a los altos costos que implica su producción, principalmente, por lo que se invierte en la adquisición de fungicidas, dado que la papa es muy vulnerable al tizón tardío (Plascencia, 1993).

Por ser la papa un cultivo de ciclo corto –110 a 120 días– (Valadez, 1996), los productores la siembran en unicultivo o asociada, y en rotación con maíz u otra hortaliza. Además de la principal época de cultivo, de mayo a octubre, algunos productores se arriesgan a producirla ya entrado el ciclo otoño-invierno, aun cuando se trata de una especie sensible a las heladas. Los productores en ambientes montañosos tratan de evitar este riesgo, sembrándola en las partes medias de las laderas, donde es posible evadir el efecto de temperaturas congelantes. De esta forma, colocan la papa en el mercado en temporadas en las que a una menor oferta se alcanza un mayor precio.

Con base en las referencias consultadas respecto a los requerimientos bioclimáticos óptimos de la papa, particularmente en lo que toca a la duración del período de desarrollo, el total de la superficie regional tiene entonces aptitud para permitir su cultivo, incluso, en aquellas partes con Estación de Crecimiento de 240 días o más se tiene un margen de tiempo lo suficientemente amplio como para permitir hasta dos períodos de siembra al año sin la posibilidad de heladas. Empero, dada la variación climática regional, es conveniente considerar en lo posible otros indicadores. Por ejemplo, se acepta que la papa alcanza los máximos rendimientos cuando la temperatura ambiente oscila alrededor de los 15.5 a 18.5° C, esto es, requiere un ambiente fresco capaz de favorecer la formación de un exceso de carbohidratos y su acumulación ulterior para dar lugar al desarrollo de tubérculos (Tocagni, 1986; Valadez, *op. cit.*). Estas condiciones térmicas medias se cubren durante la Estación de Crecimiento entre las altitudes de los 1 600-2 200 msnm, área que puede calificarse como de la mejor aptitud (Figura 6). Adicionalmente a las temperaturas ideales, el suministro adecuado de agua es otro de los factores de los cuales depende el éxito del cultivo, estimándose como suficiente un rango de 500 a 750 mm (Valadez, *op. cit.*), estas cantidades son las mínimas que se reciben en la región, por lo que la disponibilidad de humedad para el desarrollo de la papa no parece ser un factor crítico, aunque sí habría que advertir la posibilidad de tener excesos de agua en el suelo, que de no drenar de manera eficiente y oportuna, puede llegar a ocasionar problemas, lo que repercutiría negativamente en la formación del tubérculo (Tocagni, *op. cit.* y Montaldo, 1984).

Queda pues todavía la tarea de evaluar la certeza de las diferencias zonales de aptitud climática para la papa sobre la base de la experiencia productiva de su manejo, e insistir, de nueva cuenta, en la necesidad de ampliar

este primer diagnóstico, dentro de lo cual sería conveniente considerar las condiciones de nubosidad y humedad ambiental, así como de manejo agronómico, para disminuir la incidencia de enfermedades, tales como el tizón tardío.

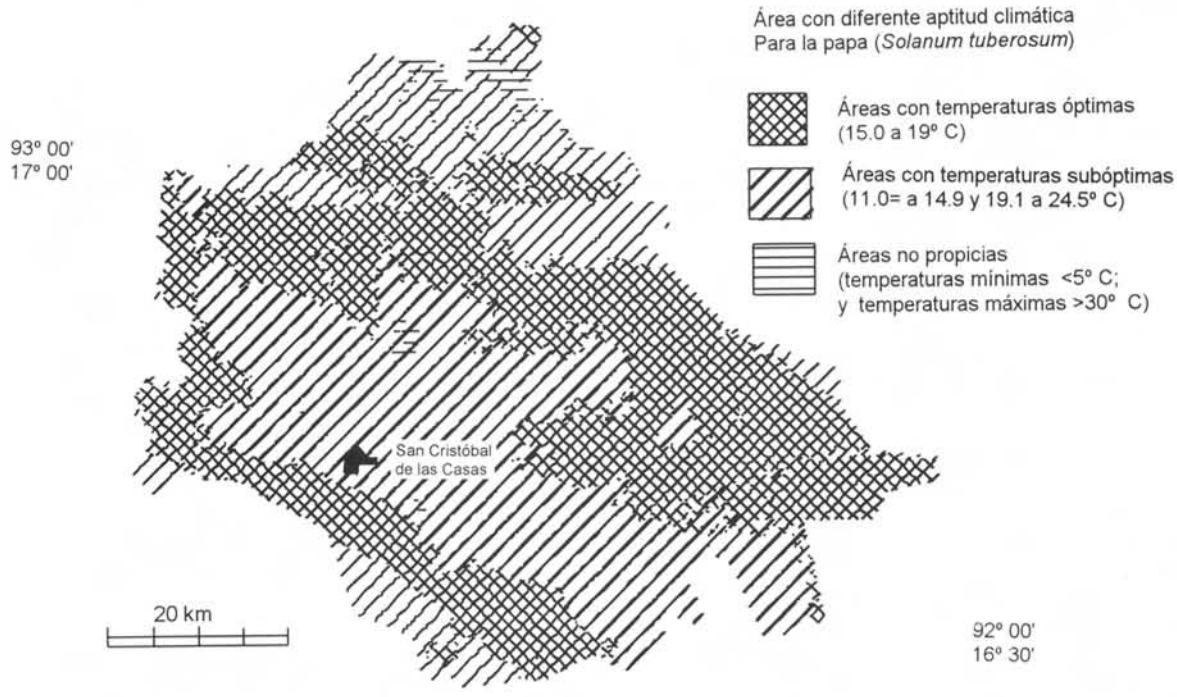


Figura 6. Región Los Altos de Chiapas. Áreas con diferente aptitud climática para la papa (*Solanum tuberosum*).

Frutales caducifolios

Dentro de las características agroclimáticas de la región, se tiene un número considerable de horas frío –entre 400 y 800–, principalmente en la parte central, arriba de los 2 000 msnm, lo que resulta importante subrayar como una de las otras tantas posibilidades con las que se cuenta para impulsar en la región una agricultura diversificada, basada no sólo en el cultivo de especies anuales sino también en las perennes, como son los frutales caducifolios, los cuales requieren de una temporada al año de bajas temperaturas para cubrir un período de dormancia, como fase previa al inicio de la floración.

El desarrollo de la fruticultura en la región ha tenido también ciertos empujes, pero se tiene como actividad secundaria, y, en términos generales y comparativos, la calidad de los productos no se equipara con la de los que llegan al mercado regional de otros estados del país; de tal suerte, se paga poco por ellos y su consumo es principalmente local (Pérezgrovas, 1988).

Al menos en teoría, dadas las horas frío acumuladas, son diversas las variedades de frutales –de manzano, de peral, de durazno, de chabacano, de ciruelo europeo–, que pudieran llegar a establecerse, las que se distribuirían convenientemente por zonas altimétricas, acotándose los sitios de plantación según las características de la pendiente y de la profundidad del suelo.

CONCLUSIONES

El potencial climático de la región de Los Altos de Chiapas está determinado por una Estación de Crecimiento con una duración variable de 150 a 300 días del año, que se presenta mediante un gradiente ascendente orientado de suroeste a noreste. El inicio de la Estación de Crecimiento tiene como constante el mes de mayo, y las fechas estimadas como convenientes están comprendidas entre el 12 y 25 de mayo. El conocimiento de las características agroclimáticas de la región permitió señalar algunas consideraciones básicas relacionadas con los ámbitos más favorables para el cultivo del maíz, café, papa y frutales caducifolios.

AGRADECIMIENTOS

Para la realización de este trabajo se contó con el financiamiento de la SEP (subsidios El Colegio de la Frontera Sur 1992-95) y del Sistema de Investigación Benito Juárez del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través del proyecto "Estrategias regionales para el desarrollo de la producción agrícola y la conservación de los recursos naturales en Los Altos de Chiapas",1996-1998 (clave RNMA-13).

NOTAS

[1] Consiste en: termómetro de máxima y mínima, pluviómetro, evaporómetro y veleta, a través de los cuales se registran diariamente las variables de temperatura máxima y mínima, precipitación, evaporación y dirección del viento, respectivamente.

[2] Diversos obstáculos en los alrededores inmediatos (bardas, árboles, paredes, etc.) alteran en grado variable la manifestación de los elementos climáticos.

[3] Al igual que para las temperaturas, los datos de lluvia que se están considerando son los anuales y no los de la Estación de Crecimiento, por ser el café una especie perenne.

REFERENCIAS

Alemán Santillán, T. y M. de la L. López Mejía (1989), "Los sistemas de producción hortícola", en Parra V., M. R. (coord.), *El subdesarrollo agrícola en Los Altos de Chipas*, Universidad Autónoma Chapingo-Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, Chapingo, México, pp. 153-237.

Arteaga Ramírez, R. y M. Vázquez Peña (1996), "Variabilidad temporal y espacial de la lluvia y de la Estación de Crecimiento en el sur de Sinaloa", en López H., A. y O. Palacios V. (eds.), *Desarrollo sos-tenible de los agroecosistemas del sur de Sinaloa*, Fundación Rockefeller, INIFAP, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, pp. 91-125.

Bassols Batalla, Á. (1977), *Recursos naturales de México*, Nuestro Tiempo, México.

Coste, R. (1980), *El café*, Ed. Blume, Costa Rica.

Doorenbos, J. (1976), "Agro-meteorological field stations", *Irrigation and drainage paper, 27*, FAO, Rome.

Doorenbos, J. y A. Kassam (1986), "Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos", *Riego y Drenaje,* 33, FAO, Roma.

FAO (1985), "Directivas: evaluación de tierras para la agricultura de secano", *Boletín de Suelos*, 52, FAO, Roma.

García, E. (1988), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

INEGI (1996), *AGROS. Información Censal Agropecuaria. VII Censo Agropecuario*, México.

Maderey Rascón, L. E. (1982), *Geografía de la atmósfera*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Márquez-Gómez, A., L. García-Barrios, y J. Kohashi-Shibata (1992), "Número de plantas por mata en la fenología, crecimiento y rendimiento de *Zea mays* L. var. Olotón", *Turrialba*, 4:443-450.

Martínez Quezada, Á. (1994), *Crisis del café y estrategias campesinas entre los productores de la Unión de Ejidos Majomut en Los Altos de Chiapas*, tesis de Maestría, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Medina García, G. y J. A. Ruiz Corral (1992), *SICA. Sistema de información para caracterizaciones agroclimáticas. Documentación y manual del usuario*, SARH, INIFAP, Campo experimental Zacatecas, Calera de V.R., Zacatecas.

Montaldo, Á. (1984), *Cultivo y mejoramiento de la papa*, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Costa Rica.

Ortiz Solorio, C. (1984), *Elementos de agrometeorología cuantitativa*, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Paczka Ortega, R. (1973), *Variación en maíz y cambios socioeconómicos en Chiapas, México. 1946-1971*, tesis de Maestría, Colegio de Post-graduados, Chapingo, México.

Pájaro Huertas, D. y C. Ortiz Solorio (1992), "Estimación del período de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana", *Revista de Geografía Agrícola*, 17:119-125.

Pérezgrovas Garza, V. (1988), *La producción agrícola en la región de Los Altos de Chiapas*, tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Plascencia Vargas, H. (1993), *Estudio del sistema de producción hortícola en Los Altos de Chiapas, Informe Académico*, Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México, Documento interno.

Romo González, J. y R. Arteaga R. (1989), *Meteorología agrícola*, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México.

Sumner, G. (1988), *Precipitation*, John Wiley & Sons, EUA.

Tocagni, H. (coord.; 1986), *Producción de papas*, Albatros, Argentina.

Valadez López, A. (1996), *Producción de hortalizas*, UTEHA, México.

Vidal Zepeda, R. (1980), *Algunas relaciones clima-cultivos en el estado de Morelos*, Instituto de Geografía, UNAM, México.

Villalpando I., J. F. (1985), *Metodología de investigación en agroclimatología*, SARH, Zapopan, Jalisco, México.

Villalpando I., J. F. y J. A. Ruiz C. (1993), *Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura*, UTEHA, México.