

Guías para la elaboración de estudios agroclimáticos de cultivos (propuesta normativa)

Daniel Francisco Campos Aranda

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Se propone un planteamiento que considera dos tipos de estudios agroclimáticos: preliminares y definitivos. Los primeros están orientados a dar una panorámica de los cultivos factibles en la zona y a definir una serie de parámetros de carácter agroclimático y cálculo sencillo, que ayudarán a comprender el proceder de la agricultura actual, o a planear su firme establecimiento y desarrollo. Tales parámetros son evaluados con base en la información promedio mensual y quedan concentrados para cada estación climatológica utilizada, en su ficha agroclimática propuesta. Los estudios agroclimáticos definitivos se basan en la información climatológica y meteorológica mensual y diaria, procesándose una parte decenal y otra mensualmente; su alcance llega a una definición más exacta del espectro de cultivos posibles, al manejo conjunto de la información histórica fenológica y climática para pronóstico de la producción, y a la formulación de recomendaciones precisas orientadas a optimizar los rendimientos actuales, o bien a garantizar la producción futura. Esta propuesta incluye conceptos importantes como la aplicación de clasificaciones e índices agroclimáticos y las estimaciones de rendimientos potenciales y reales, tanto en temporal como bajo riego.

Palabras clave: agroclimatología, estudios, cultivos, temporal, riego, rendimiento de cultivos, clima.

Introducción

Comentarios generales

El objetivo fundamental de esta propuesta radica en actualizar las normas (SARH, 1988), para contar con un documento normativo para el desarrollo uniforme y de mejor nivel técnico de los estudios agroclimáticos de cultivos, lo cual permitirá la difusión, comparación y uso de tales estudios de manera mucho más consistente.

Con respecto a la redacción de esta propuesta, se debe indicar que presenta un enfoque intermedio entre una guía de normas y un manual de procedimientos, ya que describe la parte correspondiente a los estudios preliminares en una forma más detallada que la porción relativa a los definitivos. Lo anterior obedeció a las siguientes tres razones:

- Los estudios definitivos deben ser elaborados por expertos en agroclimatología y por lo tanto, los cálculos y procedimientos en ellos especificados son ampliamente conocidos.

- Se consideró conveniente describir en detalle los procedimientos básicos no difundidos ampliamente.
- Es necesario que los técnicos de la dependencia oficial realicen los estudios preliminares, como una manera directa de comenzar a conocer el potencial agroclimático de la zona y poder guiar y sobre todo, evaluar, sancionar, o ambos, el estudio definitivo, cuando éste sea realizado fuera de la institución.

En la selección de los procedimientos propuestos se tomó en cuenta la confiabilidad que han demostrado por su planteamiento racional y por su sencillez de aplicación, así como a la experiencia que con ellos se ha tenido en México, de acuerdo a la literatura consultada. Sin embargo se considera sumamente importante verificar experimentalmente las conclusiones planteadas al final de los estudios definitivos.

Son características importantes de esta propuesta incluir una amplia bibliografía para apoyo y consulta y presentar un ejemplo numérico real de una ficha agroclimática (ilustraciones 1 y 3), desarrollada con base en los datos disponibles en las normales climatológicas (SMN, 1982), para la estación climatológica Santo

1. Ficha agroclimática del estudio preliminar

ESTACIÓN: _____ MPIO.: _____ EDO.: _____ FECHA: _____													
LATITUD: _____ N LONGITUD: _____ W.G. ALTITUD: _____ m.s.n.m.													
CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS													
	E	F	M	A	M'	J	J'	A'	S	O	N	D	ANUAL
P													
P ESTAC.													
DP													
DR													
DG													
ETP ¹													
P-ETP													
Σ (P-ETP)													
CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS													
	E	F	M	A	M'	J	J'	A'	S	O	N	D	ANUAL
T ⁿ													
T													
Tt													
Tt ESTAC.													
t													
t ⁿ													
FT													
Nt													
OTROS ELEMENTOS CLIMÁTICOS E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS													
	E ₃₁	F ₂₈	M ₃₁	A ₃₀	M' ₃₁	J ₃₀	J' ₃₁	A' ₃₁	S ₃₀	O ₃₁	N ₃₀	D ₃₁	
Ri													
R'i													
ETP ²													
E													
P'd													³
PM													
PC													
IDH													
H-F													
ESTACIÓN FRÍA (otoño-invierno)													
t	PERIODO	DÍAS	FECHAS EXTREMAS DE HELADAS		OSCIL. TÉRMICA ENE.	SUMA DE GRADOS-DÍA (Tt ≥ 4°C)							
			ÚLTIMA	PRIMERA									
≤ 0°C													
≤ 3°C													
≤ 7°C													
ESTACIÓN CÁLIDA (primavera-verano)													
Tt	PERIODO	DÍAS	SUMA DE GRADOS-DÍA (Tt ≥ 12 ó 15°C)	OSCIL. TÉRMICA JUL.	GOLPE DE CALOR (T ≥ 35°C)								
					PERIODO	DÍAS							
≥ 12°C													
≥ 15°C													
OBSERVACIONES _____													
¹ Valores adoptados _____													
² Métodos de Hargreaves _____													
³ P ₁₀ 24 _____													

3. Ficha agroclimática del estudio preliminar

ESTACIÓN: <u>SANTO DOMINGO</u>	MPIO.: <u>SANTO DOMINGO</u>	EDO.: <u>S.L.P.</u>	FECHA: <u>13 / 2 / 90</u>
LATITUD: <u>23° 19'</u> N	LONGITUD: <u>101° 45'</u>	W.G. ALTITUD: <u>1,415</u>	m.s.n.m.

CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS													
	E _I	F _I	M _I	A _P	M' _P	J _P	J' _V	A' _V	S _V	O _O	N _O	D _O	ANUAL
P	22.6	25.5	20.7	27.4	64.5	102.1	70.5	179.9	119.0	106.4	17.4	22.3	778.3
P ESTAC.		68.8			194.0			369.4			146.1		
DP	1.04	0.75	0.61	0.90	2.05	3.52	2.65	4.35	3.85	3.55	0.44	1.26	24.97
DR	1.40	1.50	0.71	1.71	1.10	1.70	1.23	1.40	2.10	1.84	2.38	2.25	19.32
DG	0.00	0.05	0.04	0.09	0.00	0.05	0.04	0.05	0.05	0.00	0.00	0.10	0.47
ETP ¹	83.2	82.3	107.7	136.6	137.5	137.0	140.7	130.1	112.5	93.5	77.9	70.0	1,309.0
P-ETP	-60.6	-56.8	-87.0	-109.2	-73.0	-34.9	-70.2	+40.8	+6.5	+12.9	-60.5	-47.7	60.2
Σ (P-ETP)	-168.8	-225.6	-312.6	-421.8	-494.8	-529.7	-599.9				-60.5	-108.2	

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS													
	E	F	M	A	M'	J	J'	A'	S	O	N	D	ANUAL
T''	40.0	38.0	37.0	42.0	43.0	44.0	44.0	41.0	45.0	44.0	39.0	39.0	45.0
T	26.2	27.6	30.6	34.5	34.2	35.3	33.1	33.8	30.9	29.5	27.6	25.9	30.7
Tt	14.8	15.7	17.0	19.7	20.0	21.1	20.0	20.6	18.3	16.6	15.4	13.8	17.7
Tt ESTAC.		15.8			20.3			19.6			15.3		
t	3.5	3.9	3.4	5.0	5.8	6.9	6.9	7.4	5.7	3.7	3.3	1.8	4.7
t''	-13.0	-5.0	-9.0	-3.0	0.0	0.0	1.0	1.0	-3.0	-4.0	-8.0	-10.0	-13.0
FT	20.5	21.7	23.8	27.1	27.1	28.2	26.6	27.2	24.6	23.1	21.5	19.9	24.2
Nt	9.2	9.8	10.2	12.4	12.9	14.0	13.5	14.0	12.0	10.2	9.4	7.8	11.2

OTROS ELEMENTOS CLIMÁTICOS E ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS													
	E ₃₁	F ₂₈	M ₃₁	A ₃₀	M' ₃₁	J ₃₀	J' ₃₁	A' ₃₁	S ₃₀	O ₃₁	N ₃₀	D ₃₁	
Ri	357	380	435	525	510	508	524	477	452	382	344	315	
R'i	6.1	6.5	7.4	9.0	8.7	8.7	8.9	8.1	7.7	6.5	5.8	5.3	
ETP ²	83.2	82.3	107.7	136.6	137.5	137.0	140.7	130.1	112.5	93.5	77.9	70.0	1,309.0
E	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P'd	69.6	88.4	92.4	130.0	92.0	98.0	149.0	190.8	122.0	148.3	84.0	98.4	140.0 ³
Pm	3.0	0.0	2.0	5.0	25.0	60.0	20.0	80.0	46.0	65.0	0.0	15.0	640.0
Pc	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	20.0	8.0	22.0	12.0	21.0	0.0	2.0	354.0
IDH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.15	0.06	0.17	0.11	0.22	0.0	0.03	
H-F	63.0	37.3	—	—	—	—	—	—	—	11.7	45.9	91.5	291.3

ESTACIÓN FRÍA (otoño-invierno)							
t	PERIODO	DÍAS	FECHAS EXTREMAS DE HELADAS		OSCIL. TÉRMICA ENE.	SUMA DE GRADOS-DÍA (Tt ≥ 35°C)	
			ÚLTIMA	PRIMERA			
≤ 0°C	—	0					
≤ 3°C	21 NOV. AL 6 ENE.	46	20 JUL.	22 AGO.	22.7	2,101.8	
≤ 7°C	1o. OCT. AL 31 MAR.	332					

ESTACIÓN CÁLIDA (primavera-verano)							
Tt	PERIODO	DÍAS	SUMA DE GRADOS-DÍA (Tt ≥ 12 ó 15°C)	OSCIL. TÉRMICA JUL.	GOLPE DE CALOR (T ≥ 4°C)		
					PERIODO	DÍAS	
≥ 12°C	1o. ABR. AL 30 SEP.	183	1,455.6	26.2	7 JUL AL 19 JUL.	12	
≥ 15°C	1o. ABR. AL 30 SEP.	183	906.6				

OBSERVACIONES

¹ Valores adoptados

² Métodos de Hargreaves

³ P 10 / 24

Domingo, del altiplano potosino donde la agricultura de temporal es de lo más floreciente de dicha región.

Agrometeorología y agroclimatología

El conocimiento de los recursos climáticos y de las condiciones ambientales esperadas, proporciona guías para las decisiones estratégicas en la planeación y operación de los sistemas agrícolas. Por ello, la agrometeorología estudia las interacciones entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte, y la agricultura por otra, incluyendo la ganadería y la silvicultura; su objetivo es descubrir y definir tales efectos y entonces aplicar el conocimiento de la atmósfera a la solución de problemas agrícolas de planeación y operación, de modificación del medio ambiente (riego, protección contra heladas, invernaderos, etc.) y de las condiciones climáticas durante el transporte y almacenamiento de las cosechas (WMO, 1981).

La **agroclimatología**, parte importante de la agrometeorología, tiene como objetivos definir la aptitud agrícola de una región con base en los efectos que tienen los factores y elementos del clima en los cultivos; ayudar en la estimación de los rendimientos y tender a optimizar la producción (OMM, 1984).

Etapas de un proyecto agrícola

Robertson (1980) ha definido seis etapas progresivas, pero que se traslapan en el desarrollo de un proyecto agrícola. En cada etapa las principales estimaciones agrometeorológicas son:

- **Planeación preliminar.**
Incluye decisiones sobre el uso del terreno, selección de tipos de cultivos y modelos de cosecha, manejo de tierra y cultivo, definición de medidas de protección ambientales y de control de enfermedades de los cultivos.
- **Planeación de inversiones.**
Implicando la estimación de la productividad sostenida, su variabilidad y riesgo de falla.
- **Establecimiento del proyecto.**
Abarca preparación del terreno, construcción de infraestructura y accesorios temporales.
- **Manejo del proyecto.**
Comprende formulación, de acuerdo al clima, de programas de fertilización y control de plagas, arreglos para créditos, ayudas y subsidios, transporte, almacenamiento y disposición de cosechas.
- **Operación del proyecto.**
Implica decisiones sobre las aplicaciones de pesticidas y fertilizantes, protección contra fenómenos

diversos (heladas, granizo, vientos), selección de tiempos de riego, cosecha, secado de frutos, etcétera.

- **Evaluación y revisión del proyecto.**
Comprende cambios o adiciones al proyecto después de varios años de operación, producto de nuevas tecnologías, experiencias y cambios de condiciones sociales, económicas y políticas.

Estudios agroclimáticos

Las acciones que abarcan las tres primeras etapas de los proyectos agrícolas corresponden al campo de la agroclimatología, las dos siguientes son del dominio de la agrometeorología y la última comprende ambas áreas, por lo tanto, para los estudios agroclimáticos se proponen tres niveles de resultados:

- **A. Panorama de cultivos.**
¿Qué cultivos son factibles en la zona o región?
- **B. Potencial agroclimático.**
Obtención de rendimientos potenciales probables en temporal y bajo riego.
- **C. Pronóstico de la producción.**
Utiliza combinadamente la información histórica del clima y los rendimientos observados.

Tomando en cuenta las descripciones y planteamientos anteriores, se ha considerado conveniente definir dos enfoques de exactitud de los estudios agroclimáticos de cultivos, en el primero denominado preliminar, se analizarán los datos climáticos mensuales disponibles, y en el segundo designado como definitivo, se utiliza información climatológica diaria. Los estudios preliminares abarcan los niveles A y B en forma somera y los definitivos llegan hasta el nivel C, cuya exactitud de resultados es función de la disponibilidad de información climática, fenológica y edafológica.

Se proponen los siguientes diez capítulos para los estudios agroclimáticos, tanto preliminares como definitivos:

- **Objetivos**
- **Descripción general de la zona**
- **Recopilación de información climatológica**
- **Clima de la zona y sus consecuencias agrícolas**
- **Análisis de las precipitaciones**
- **Análisis de la radiación solar y la temperatura**
- **Análisis de otros elementos climáticos**
- **Recopilación de información fenológica**
- **Modelos agroclimáticos de producción**
- **Resumen y recomendaciones**

Estudios agroclimáticos preliminares

Capítulo 1. Objetivos

Primeramente se precisarán los objetivos del estudio y se plantearán las estrategias de solución, desde el tipo de información por recabar en campo, la información climática y meteorológica, su presentación, análisis, etcétera.

El estudio agroclimático preliminar estará basado en la información climatológica disponible mensualmente, se apoyará en la cartografía del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, INEGI, y en la información agrícola publicada y recopilada durante la primera visita a la zona o sitio del proyecto, la cual se llevará a cabo al término del cuarto capítulo, así como en la información obtenida en la última visita que se realizará antes de formular las recomendaciones.

La finalidad básica de este estudio es obtener una perspectiva climática y de posibilidades de cultivo, evaluando en forma aproximada su potencial agrícola y los riesgos derivados de los fenómenos climáticos adversos, así como verificar o proponer modificaciones a las prácticas culturales actuales, con base en los análisis realizados y sus interpretaciones.

Capítulo 2. Descripción general de la zona

Con base en la cartografía del INEGI se describirán la ubicación geográfica (coordenadas, vías de comunicación, etc.) y política de la zona, sus límites, extensión y superficies agrícola (riego y temporal), pecuaria, forestal e improductiva. Si la región es extensa se utilizarán las cartas escala 1:250 000 y si no lo es, las cartas escala 1:50 000; en ambos casos se consultarán las *Síntesis Geográficas de los estados*, también del INEGI y los boletines hidrológicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (hoy día Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural) para describir la orografía, vegetación e hidrología general de la zona.

La información anterior será integrada en un plano o mapa general de la zona o región bajo estudio, así como en una ficha que contenga un resumen, cuya lectura aporte una descripción rápida de la zona del proyecto.

Capítulo 3. Recopilación de información climatológica

Se detectarán todas las estaciones meteorológicas y climatológicas de la zona, sin importar quién las opere, y de acuerdo a la extensión del área estudiada se definirá la o las estaciones base, cuyas características se-

rán representatividad y amplitud de registro. La representatividad será determinada en forma objetiva a través del criterio de los polígonos de Thiessen (Linsley *et al.*, 1977). En la o las estaciones base se actualizarán los registros mensuales y en las restantes se podrán utilizar las normales climatológicas (SMN, 1982), o bien los valores promedio publicados en los boletines climatológicos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

La simbología que se propone emplear para designar los diferentes datos climáticos y parámetros agroclimáticos se presenta en el cuadro 1. La información recopilada se deberá concentrar en la ficha agroclimática propuesta, presentada en la ilustración 1, una para cada estación climatológica o meteorológica utilizada. En realidad tal cuadro de datos y resultados se va completando durante el desarrollo del estudio.

Capítulo 4. Clima de la zona y sus consecuencias

Con base en las *Cartas de Climas* del INEGI y las que se tienen en el *Atlas del medio físico* (SPP, 1981) y *Atlas del agua* (SRH, 1976) se definirán y describirán los climas de la zona según sistema de Köppen modificado (García, 1981). Se aplicará la clasificación agroecológica de FAO (ONUAA, 1981; Ortiz, 1987a; CP, 1988; De la C. Santos *et al.*, 1988; Sánchez *et al.*, 1989) y por último a partir de la ilustración 2 se obtendrá el grupo climático, interpretándose su potencialidad agrícola por medio de las descripciones de Papadakis (1980) o Campos (1983).

Es conveniente anexar a los comentarios y conclusiones de este apartado, la información obtenida en campo sobre los cultivos actuales y aquéllos que fueron introducidos y fracasaron, sobre todo si tal situación no se debió al clima.

Capítulo 5. Análisis de las precipitaciones

A partir de los datos de precipitación promedio mensual (P) de las estaciones disponibles se elaboran histogramas para definir el régimen de lluvias y poder construir diagramas ombrotérmicos de Gaussen de acuerdo al criterio propuesto por García *et al.* (1983), para la correspondencia entre la escala de precipitación (P , mm) y la de temperaturas medias promedio mensual (T_t , °C), que es la siguiente:

Régimen de lluvias	correspondencia propuesta
de invierno: x	$P = 2 \cdot T_t$
de verano: w	$P = 2 \cdot T_t + 28$
de verano con % de lluvia invernal > 10.2: w(x)	$P = 2 \cdot T_t + 21$
abundantes todo el año y con efecto de monzón: f,m	$P = 2 \cdot T_t + 14$

1. Simbología propuesta y unidades de los elementos climáticos empleados en los estudios agroclimáticos

Símbolo:	Descripción:
P	Precipitación promedio mensual, en mm.
P_N	Precipitación Normal, media de un periodo de 30 o más años, en mm.
P_M	Precipitación Mediana (probabilidad de excedencia del 50%), en mm.
P_c	Precipitación confiable (probabilidad de excedencia del 75%), en mm.
P_d	Precipitación máxima diaria promedio mensual, en mm.
P_d'	Precipitación máxima diaria extrema (mensual), en mm.
$(P_{24})^{10}$	Precipitación máxima en 24 horas y periodo de retorno de 10 años, en mm.
DP	Días con precipitación promedio mensual
DR	Días con rocío promedio mensual
DG	Días con granizo promedio mensual
DN	Días con niebla o nevada promedio mensual
T''	Temperatura máxima extrema del registro (mensual), en °C.
T'	Temperatura promedio mensual de máximas extremas, en °C.
T	Temperatura promedio mensual de máximas, en °C.
T_t	Temperatura promedio mensual ambiente o media, en °C.
S	Desviación estándar mensual de la temperatura ambiente, en °C.
t	Temperatura promedio mensual de mínimas, en °C.
t'	Temperatura promedio mensual de mínimas extremas, en °C.
t''	Temperatura mínima extrema del registro (mensual), en °C.
t_j'	Temperatura promedio mensual de mínimas extremas a la intemperie, en °C.
t_j''	Temperatura mínima extrema a la intemperie del registro (mensual), en °C.
t^*	Temperatura de punto de rocío promedio mensual, en °C.
FT	Fototemperatura ¹ o temperatura media diurna promedio mensual, en °C.
Nt	Nictotemperatura ² o temperatura media nocturna promedio mensual, en °C.
n	Total de horas de insolación promedio mensual
N	Número máximo posible de horas de insolación promedio mensual
R_A	Radiación solar en el tope de la atmósfera media mensual, en langleys/día
R_i	Radiación solar incidente media mensual, en langleys/día
R_i'	Radiación solar incidente media mensual, en mm/día (lámina de agua evaporada)
E	Evaporación total promedio mensual, en mm.
ETP	Evapotranspiración potencial promedio mensual del pasto, según criterios de: Hargreaves-Samani, Thornthwaite, Turc, Papadakis o Penman, en mm.
HR	Humedad relativa media promedio mensual, en porcentaje.
e	Presión parcial del vapor de agua (tensión de vapor) promedio mensual, en mb.
T_{th}	Temperatura de bulbo húmedo promedio mensual, en °C.
AC	Acumulación de calor arriba de una temperatura umbral o base, en grados-día.
H-F	horas-frío promedio mensuales
U-F	Unidades-frío promedio mensuales

$$^1 FT = (T + T_t) / 2$$

$$^2 Nt = (T_t + t) / 2$$

Con base en los cuadernos de *Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación* (CETENAL, 1973 a 1978), disponibles en el INEGI, se determinará la precipitación mensual, cuya probabilidad de excedencia sea del 75% y se designará como precipitación confiable (P_c).

Con apoyo en el *Boletín de tormentas máximas observadas y probables en México en 24 horas* (SRH, 1976), se obtendrán los valores de precipitación máxima en ese mismo lapso y el periodo de retorno de diez años para la zona en estudio, dato básico en la estimación del gasto de diseño de los sistemas de drenaje agrícola superficial (Pizarro, 1978).

Por último, se realizarán comentarios respecto a la ocurrencia de rocío, granizo, nieblas y nevadas en la zona, lo anterior con base en la información recabada en campo y a los valores de DR , DG y DN cuadro 1 (SMN, 1982).

Capítulo 6. Análisis de la radiación solar y la temperatura

La radiación solar incidente promedio mensual (R_i), será estimada utilizando los mapas propuestos por Almanza y López (1978) para la República Mexicana, u otros similares más recientes.

El análisis de heladas se llevará a cabo por medio

del criterio de L. Emberger (MA, 1974) y aplicado por Elías y Ruiz (1981), el cual utiliza la temperatura promedio de mínimas (t), para definir los cuatro periodos siguientes:

- Cuando t es menor o igual a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas continuas (*HC*). Crecimiento vegetal nulo.
- Cuando t es mayor de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero menor o igual a $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas frecuentes (*HF*). Crecimiento vegetal lento.
- Cuando t es mayor de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ pero menor de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, se tienen heladas poco frecuentes (*HPF*).
- Cuando t es mayor de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, el riesgo de heladas es pequeño (de un 10 a un 20%) por ello se designa como periodo libre de heladas (*LH*).

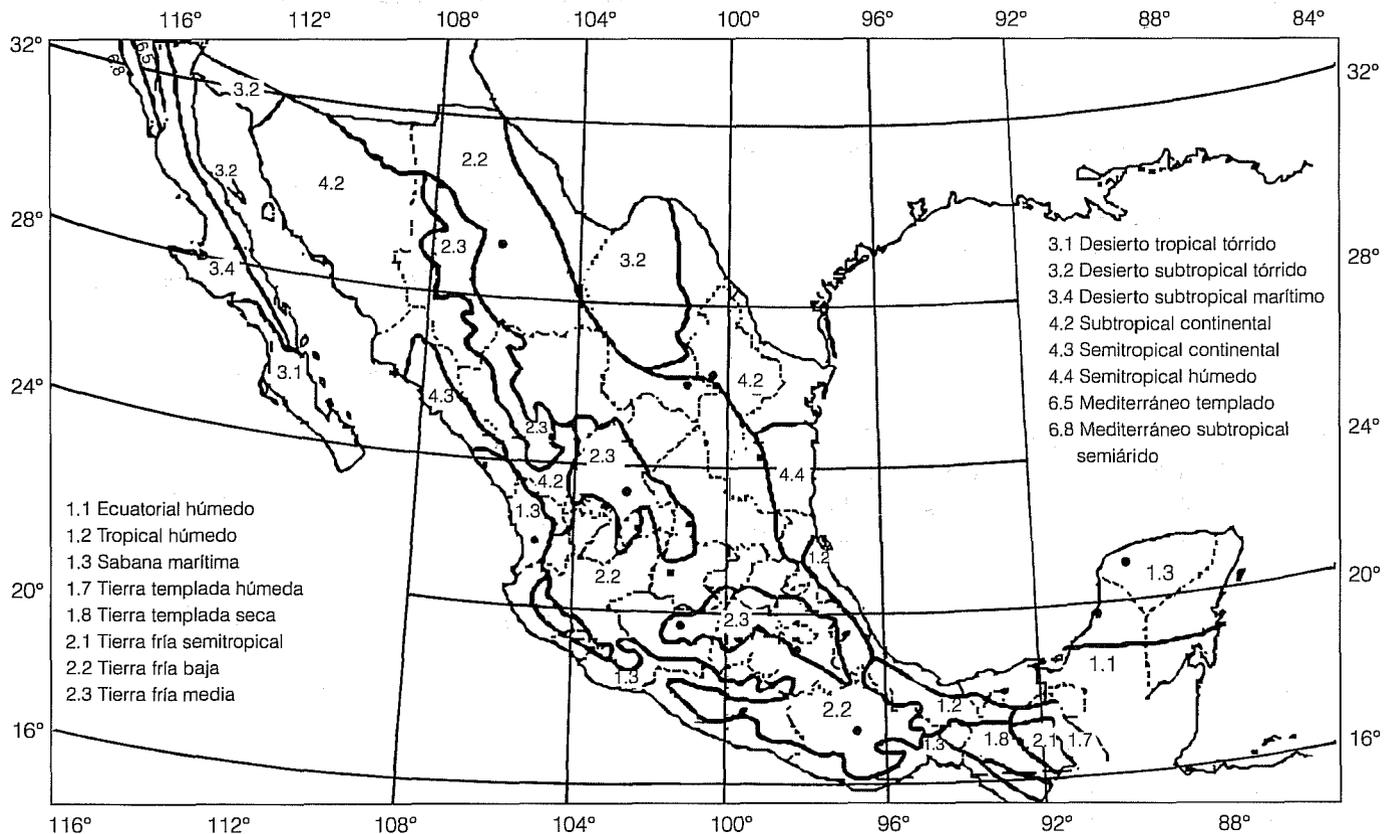
En la ficha agroclimática se incluyen las fechas extremas de la última helada de primavera y primera del otoño ($t >$ de $7\text{ }^{\circ}\text{C}$) y con esto se estima el periodo *LH*. Respecto a la intensidad de las heladas, las temperaturas mensuales t' y t'' (ó t_i' y t_i'' , cuando se dispongan), permitirán una valoración cuantitativa (Forteza del Rey, 1986).

Con respecto a la integral térmica o acumulación de calor, en el periodo otoño-invierno se deben evaluar los grados-día arriba de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (temperatura base de los cereales y otros cultivos de invierno), con la idea de estimar las fechas de recolección, partiendo de las fechas de siembra y suponiendo que se cumple la integral térmica (Elías y Ruiz, 1981). Las oscilaciones de temperatura (T menos t) de los meses de enero y julio, es un índice del grado de continentalidad y por ello debe ser determinada.

En el periodo primavera-verano se realizarán las siguientes tres evaluaciones:

- Intervalo medio con temperatura media o ambiente igual o mayor de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, permite definir el periodo de crecimiento de cultivos de verano no muy exigentes en calor como el maíz. Se evalúan además los grados-día arriba de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Intervalo medio con temperatura media o ambiente igual o mayor de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, ayuda a caracterizar el periodo de crecimiento de cultivos de verano exigentes en calor como el algodón. Se evalúan los grados-día arriba de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2. Climas de México según Papadakis (1980)



- Intervalo medio con temperatura promedio de máximas (T) iguales o superiores a 35 °C, lo cual representa la duración media de un *golpe de calor*. Estas temperaturas elevadas asociadas a vientos secos pueden ocasionar desequilibrios fisiológicos en los cultivos, con la consecuente reducción de los rendimientos, incluso con agua disponible en el suelo (sequía fisiológica).

Por último, se realizará una estimación de las horas-frío ($H-F$) a través de los métodos de Da Mota y Weinberger, cuyo promedio, de acuerdo a Calderon (1985) es un indicador bastante apegado a la realidad. El método de da Mota consiste en aplicar la formula:

$$H-F = 485.1 - 28.52 * Tt \quad (1)$$

en la cual, $H-F$ son las horas-frío mensuales y Tt es la temperatura media mensual (<17 °C) de los meses de noviembre a febrero. El método de Weinberger se basa en la temperatura ambiente promedio de diciembre y enero (T_{de}), según el siguiente polinomio de ajuste a la curva original:

$$H-F = 2645.915 - 257.2084 * T_{de} + 9.3065 * T_{de}^2 - 0.1839 * T_{de}^3 \quad (2)$$

$R^2 = 0.9999338$ error estándar de estimación = 4.25

Capítulo 7. Análisis de otros elementos climáticos

Se completará la ficha agroclimática con las información promedio mensual disponible de evaporación medida en el tanque clase A y en la humedad relativa. Se estimará la evapotranspiración potencial (ETP) promedio mensual por medio de la fórmula de Hargreaves-Samani (1982):

$$ETP = 0.0075 Ri' (Tt) \quad (3)$$

estando, ETP y Ri' expresadas en mm/d y Tt en grados Fahrenheit (°F). Entonces primeramente se transforma la radiación solar incidente (Ri) de langleys/día a mm/d, con base en la expresión siguiente, en la cual Tt está en °C:

$$Ri' = 10 * Ri / (597.3 - 0.564 * Tt) \quad (4)$$

Se calcula enseguida el déficit medio anual de precipitación, restando a la ETP la precipitación (P) en los meses secos ($ETP > P$) y sumando tales diferencias, comenzando en el otoño y terminando en primavera. Tal valor es un déficit climático, pues se ha ignorado el

efecto atenuador del suelo, conduce a un orden de magnitud de las necesidades de riego en cultivos de invierno o del temprano, sin tener en cuenta la eficiencia del riego (Elías y Ruiz, 1981).

El exceso medio anual de la precipitación es obtenido restando a ésta la ETP en los meses húmedos ($P > ETP$) y sumando los valores, es un valor límite superior pues no considera el agua almacenada y retenida por el suelo, pero da idea del orden de magnitud del agua de drenaje y del lavado de los suelos (Elías y Ruiz, 1981). Los cálculos y resultados descritos se concentran en la ficha agroclimática.

Capítulo 8. Recopilación de información fenológica

En este apartado se concentrarán, para los cultivos principales, la información recopilada en la primera y segunda visitas a la zona o sitio de estudio, incluyendo principalmente, variedades, fechas de siembra y cosecha, métodos de cultivo, rendimientos máximos, mínimos y promedio, siniestros o daños, enfermedades y plagas, transporte, almacenamiento y comercialización. Información que será obtenida con los productores, centros de investigación y cualquier organización que esté involucrada (Hinojosa, 1984).

La información recabada se concentrará en una ficha de producción, cuya lectura conduzca a una rápida panorámica de estos tópicos.

Capítulo 9. Modelos agroclimáticos de producción

Con base en el criterio desarrollado por Hargreaves (1975a) se estima la calidad y potencialidad del temporal de la zona, para lo cual inicialmente se evalúan los índices de disponibilidad de humedad (IDH) mensuales, como el cociente de la precipitación confiable (Pc) entre la ETP estimada, entonces si:

IDH	humedad del temporal:
variando de 0.00 a 0.33	muy deficiente
variando de 0.34 a 0.67	moderadamente deficiente
variando de 0.68 a 1.00	algo deficiente
variando de 1.01 a 1.33	adecuada
mayor que 1.34	excesiva

Para clasificar la productividad de la agricultura de temporal, se propone utilizar la clasificación de Hargreaves (1975b):

critério:	clima:	clasificación de la productividad:
todos los meses con IDH<0.33	muy árido	inadecuado para el temporal
uno o dos meses* con IDH>0.34	árido	limitada adecuabilidad
tres o cuatro meses* con IDH>0.34	semiárido	producción posible con cultivos de 3 a 4 meses de ciclo vegetativo
cinco o más meses* con IDH>0.34	húmedo-seco	producción posible con cultivos que requieren un buen nivel de humedad durante 5 o más meses.

* consecutivos

La llamada Función de Producción de Hargreaves (1975b) expresa en la variable Y el cociente entre el rendimiento real y el potencial y como variable X el cociente entre la humedad aprovechable real durante la estación de cultivo y la cantidad para la cual la producción es máxima. La función es la siguiente:

$$Y = 0.80 * X + 1.30 * X^2 - 1.10 * X^3 \quad (5)$$

Entonces al cuantificar para un cultivo, durante su estación de crecimiento, la precipitación confiable, sumarla y dividirla entre la suma de sus ETP se obtendrá una estimación del valor de X , el cual permitirá estimar el rendimiento real Y en %, o en t/ha si se conoce el máximo de la zona. Aplicaciones de este criterio se pueden consultar en Campos (1989a). El procedimiento descrito se debe aplicar a los principales cultivos establecidos o propuestos.

Se entiende por periodo de crecimiento el intervalo en días durante el cual las precipitaciones son superiores a la mitad de la evapotranspiración potencial, más el lapso necesario para evapotranspirar hasta 100 mm de agua almacenada en el suelo. Se excluye del periodo todo intervalo durante el cual, aunque haya agua disponible, las temperaturas ambiente o medias sean demasiado bajas para el crecimiento de los cultivos, es decir, menores de 5 °C (ONUAA, 1981). Lógicamente el periodo de crecimiento debe quedar dentro del intervalo del periodo libre de heladas o de heladas poco frecuentes. Para una estimación aproximada de la duración del periodo de crecimiento (DPC) y de su inicio (IPC) variando de 1 a 365, se pueden emplear las siguientes fórmulas empíricas (CP, 1988; Pájaro y Ortiz, 1989):

$$DPC = -33.1019 + 0.24089 * PMA - 0.0000372 * PMA^2 \quad (6)$$

$R^2 = 0.7984 \quad n = 288$

$$IPC = 210.3526 - 0.3976 * DPC \quad (7)$$

$r = -0.8776 \quad n = 95$

en las cuales, PMA es la precipitación media anual en mm y n es el número de parejas de datos utilizados.

Con base en los valores mensuales de la Pc , del IDH y del periodo de crecimiento (DPC y IPC) estimados se puede iniciar la regionalización de cada cultivo y sus variedades, incluyendo revisión y propuesta de sus fechas de siembra y de las otras labores culturales, así como un entendimiento cuantitativo de sus rendimientos observados a través de su comparación con los valores obtenidos para Y (ecuación 5).

Capítulo 10. Resumen y recomendaciones

Al realizar el resumen del estudio agroclimático, se hará referencia a los mapas que deberán dibujarse, de acuerdo a un guión similar al siguiente, el cual obedece a la estructura propuesta para las fichas agroclimáticas.

- Objetivos del estudio
- Información climatológica utilizada

Además de la descripción de la información empleada se presentará un mapa de ubicación, límites, vías de comunicación y estaciones climatológicas y meteorológicas de la zona estudiada; incluyendo zona o zonas climáticas según sistema de Köppen modificado.

- Factores climáticos hídricos
 - Precipitación. Se elaborarán dos mapas de precipitación anual (mm), uno promedio y otro de la precipitación confiable anual y en los semestres frío (otoño-invierno) y cálido (primavera-verano); se describirán éstos para la zona.
 - Precipitaciones máximas y tormentas. Mapa de precipitación máxima en 24 horas y periodo de retorno 10 años (mm), su descripción para la zona y de las tormentas y fenómenos meteorológicos asociados y adversos (granizo).
 - Déficit y exceso de precipitación. Se dibujarán y describirán para la zona dos mapas de isolíneas de déficit y exceso medios anuales (mm), respectivamente. Además se derivarán comentarios de los diagramas ombrotérmicos construidos e incluidos en este mapa.
- Factores climáticos térmicos
 - Temperaturas. Mapa de radiación solar incidente (langleys/día) y de temperatura ambiente media anual (°C) y su descripción.

- Fechas extremas de heladas. Descripción de acuerdo a la información obtenida en la zona y al método de Emberger.
 - Periodo libre de heladas. Mapa de isólinas de duración (días) del periodo libre de heladas, su descripción y comentarios para la zona.
 - Acumulación de calor y horas-frío. Resultados obtenidos, observaciones y consecuencias agrícolas.
- Evapotranspiración potencial

Mapa de isólinas de evapotranspiración potencial media anual (mm), estimada por medio del método de Hargreaves-Samani y verificada a través de los registros de evaporación del evaporímetro corregidos, incluyendo comentarios para la zona.

- Información de cultivos

Resumen.

- Fichas agroclimáticas

Relación y presentación.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los incisos relativos a estimación de rendimientos y pronóstico de la producción, así como a la información concentrada en los incisos de la guía del resumen, se formularán las recomendaciones del estudio agroclimático preliminar, estableciéndose perfectamente cómo los objetivos propuestos fueron alcanzados, o lo serán al profundizar en el estudio agroclimático definitivo, o bien, al generar mayor información climática, meteorológica y/o fenológica.

En las recomendaciones, se tiene que establecer la lista más completa de los cultivos que pueden ser promisorios, épocas de siembra y cosecha, así como otras prácticas culturales que deban cambiar o modificarse, aún ligeramente, etcétera.

Estudios agroclimáticos definitivos

Aspectos particulares

En estos estudios es necesaria la información climatológica a nivel mensual e incluso diaria y la de otros valores climáticos característicos, como por ejemplo: la temperatura promedio mensual de mínimas extremas (t^*), las fechas de heladas extremas definidas como la última y primera temperatura mínima diaria

(t ó t_i) menor o igual a cero °C de cada año, así como la precipitación, temperatura media y evaporación decenales, entre otros.

Con respecto a las características de los suelos, únicamente son requeridas la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente y las profundidades promedio disponibles, para estimar la capacidad de almacenamiento del suelo y de las láminas de riego a utilizar en los modelos agroclimáticos de producción (capítulo 9), por ejemplo en el desarrollo del índice de satisfacción de humedad y en la aplicación de modelos de balance hídrico, bajo temporal o con riegos parciales. Sin embargo, es muy conveniente conocer propiedades específicas como textura, pendiente, pH, salinidad y drenaje, para detectar limitantes a ciertos cultivos y poder entender los rendimientos reales observados.

Tomando en cuenta que este tipo de estudios abarcan grandes extensiones, es aceptable suponer una disponibilidad importante de información climática y por ello se sugiere, como estrategia mínima admisible, presentar los datos y sus resultados en tabulaciones por conceptos particulares, esto es, con un enfoque contrario a la ficha agroclimática. Lo anterior permitirá visualizar la variación de cada parámetro agroclimático en el conjunto de estaciones climatológicas y meteorológicas utilizadas; pudiéndose acomodar éstas por zonas o áreas climáticas homogéneas definidas dentro de la zona o región estudiada.

Lógicamente, se considera que la mejor estrategia de captura y presentación de toda la información recopilada será a través de los Sistemas de Información Geográfica, GIS, los cuales permiten además procesarla y presentarla de una manera sintética; haciendo muy fácil su transmisión y manejo.

Capítulo 1. Objetivos

Estos estudios pueden tener, lógicamente, objetivos y enfoques mucho más variados que aquéllos de los estudios preliminares, incluso pueden concretarse a proporcionar una panorámica general del clima y la producción agrícola actual o futura.

Por lo anterior, resulta conveniente en lugar de citar una larga lista de objetivos específicos, se indique como objetivo general de todo estudio agroclimático definitivo, la cuantificación de los parámetros climáticos de apoyo para planear y diseñar la estrategia agrícola, con todas las variantes y enfoques que se pueden presentar según disponibilidad de datos, problemas acontecidos, influencias económicas, políticas, sociales e incluso técnicas.

Capítulo 2. Descripción general de la zona

Los tópicos citados en el capítulo 2 de los estudios agroclimáticos preliminares deberán ser abordados y descritos con mayor acuciosidad, incluyendo ahora hidrografía, geología, suelos, fauna y algunos aspectos socioeconómicos. Se recomienda recurrir al uso de la teledetección para obtener información topográfica, hidrográfica y de carácter geográfico en general, más reciente.

Capítulo 3. Recopilación de información climatológica

- Red actual de estaciones. En un plano similar al elaborado para describir la zona, que incluya los climas según sistema de Köppen modificado, se ubicarán todas las estaciones meteorológicas y climatológicas disponibles, presentando una tabulación con los datos generales de cada estación, como son: nombre, municipio, estado, coordenadas, periodo(s) de registro y observaciones pertinentes (suspensión, reubicación, etc.). Toda la información disponible, actualizada hasta el mes anterior en que se inició el estudio agroclimático, debe ser recopilada y tabulada.

- Diagnóstico de la red actual. Con base en las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1990) se sancionará la densidad de la red actual, obteniendo sus áreas de influencia por medio de la técnica de los polígonos de Thiessen (Linsley *et al.*, 1977), proponiendo las estaciones necesarias para cumplir con dichas normas, o bien para tener una red más uniforme y estratégica, tomando en cuenta la información obtenida en el capítulo 2, para asegurar su operación y permanencia.

Se justificará la propuesta de nuevas estaciones agrometeorológicas (Doorenbos, 1976), así como de las estaciones fenológicas (SARH, 1985) que se consideren necesarias, contemplando la magnitud, alcance y desarrollo del proyecto agrícola propuesto para la zona.

- Estimación de datos faltantes. Para completar registros anuales de temperatura se aplicará el criterio descrito por De Fina y Ravelo (1979), conocido como método de la diferencia constante.

La estimación de valores anuales de precipitación se realizará por medio del método de la relación normalizada (Linsley *et al.*, 1977) y para el caso de lluvias diarias y magnitudes mensuales se sugiere el criterio del U.S. National Weather Service, expuesto por Viessman *et al.* (1977) y que consiste en ponde-

rar los valores observados en una cantidad (W), igual al recíproco del cuadrado de la distancia entre cada estación cercana (i) y la incompleta, entonces la lluvia buscada (P_x) será igual a: $P_x = \sum (P_i * W_i) / \sum W_i$. Para ejemplos ver Campos (1992a).

- Análisis de homogeneidad y consistencia. Previo al análisis estadístico de la información climatológica disponible se debe probar su homogeneidad, lo cual implica que cada registro provenga de una sola población, de manera que no haya ni tendencia u oscilación en la media, o algún tipo de salto en dicho valor.

A cada registro anual de temperatura ambiente se le prueba su homogeneidad por medio de la prueba de las secuencias (Thorn, 1971; Campos, 1992a) y cuando el registro es menor de 12 años se puede emplear la prueba de Helmert expuesta por Mather (1977) y aplicada por Campos (1989b). En caso de requerirse corrección se aplicará la técnica descrita y aplicada por Doorenbos (1976). La homogeneidad de un registro anual de precipitación se probará y corregirá a través de la técnica de la curva masa doble (Linsley *et al.*, 1977; Campos, 1992a). En la corrección de un registro inhomogéneo será de enorme ayuda el historial de dicha estación.

- Tablas agroclimáticas. La información climatológica disponible, previamente completada y verificada su homogeneidad, debe ser procesada estadísticamente para concentrarla en las tabulaciones diseñadas para este tipo de estudios. También se deben integrar tres registros decenales, uno de precipitación, otro de temperatura ambiente y uno de evaporación, en cada una de las estaciones representativas de la zona.

El registro de temperatura ambiente decenal será utilizado para estimar la evapotranspiración potencial decenal, por medio de los criterios de Hargreaves-Samani (ecuación 3) y de Turc (capítulo 7).

Capítulo 4. Clima de la zona y sus consecuencias

- Clima general de la zona. Para cada estación meteorológica y climatológica disponible en la zona de estudio, se obtendrán las fórmulas climáticas según los sistemas de Köppen modificado (García, 1981; Campos, 1986, 1988b) y de Thornthwaite (Jiménez, 1978), incluyendo climogramas. Se elaborará una carta de climas con cada sistema, en la que se anexarán las descripciones respectivas y algunas observaciones pertinentes (meses secos, húmedos, etcétera).

- Clasificación agroecológica de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Se aplicará este procedimiento (ONUAA, 1981; Ortiz, 1987a,b; CP, 1988; De la C. Santos *et al.*, 1988) y se comentarán sus resultados.
- Clasificación agroclimática de Papadakis. Este sistema (Papadakis, 1966; Elías y Ruiz, 1973; MA, 1974; Papadakis, 1980; Campos, 1983; Forteza del Rey, 1986) conduce a una descripción del potencial de cultivos de la zona y de sus limitaciones térmicas e hídricas mensuales, además se evalúan otros parámetros climáticos básicos como son: los periodos de heladas de diversos riesgos, el rigor del invierno, el calor del verano, etcétera.

Capítulo 5. Análisis de las precipitaciones

- Distribución anual, mensual y decenal de la lluvia. Se elaborarán mapas de isoyetas medias anuales, de precipitación más frecuente (moda) anual y de sus valores estacionales, además se dibujarán histogramas de precipitación mensual, destacando en éstos, las precipitaciones promedio mensual, mediana (probabilidad de excedencia del 50 %) y confiable (P_c).
Decenalmente se dibujarán curvas de precipitación confiable y moda. Los análisis probabilísticos se llevarán a cabo por medio de la función de distribución Gamma Mixta (Thom, 1971; INEGI, 1984; Campos, 1988a). La mayor parte de la información citada deberá de ser concentrada en las tablas agroclimáticas, conjuntamente con los datos promedio de días con lluvia, rocío y granizo.
- Análisis de sequías. Tomando en cuenta que en nuestro país no se ha difundido ningún método o criterio de estudio y de definición de las sequías, no se propone ninguno en lo específico, sino mas bien, se recomienda aplicar varios y justificar su empleo. Como guías se pueden consultar Palmer (1965), Herbst *et al.* (1966), WMO (1975), Campos (1991a, b; 1992b).
Los resultados de estos análisis permitirán entender la variabilidad de los rendimientos observados en temporal e incluso correlacionar sus valores con alguno de los índices de sequía evaluados para fines de pronóstico de la producción de los cultivos (da Mota e Oliveira, 1986).
- Análisis de la precipitación máxima diaria. Con base en los registros de lluvias máximas diarias mensuales, se integran series de excedentes anuales y se

procesan probabilísticamente con el criterio de interpolación (Campos, 1992a), para obtener los valores máximos diarios asociados a los periodos de retorno de cinco, diez y 15 años. Al multiplicar por 1.13 los valores anteriores (Weiss, 1964), se dispondrá de los valores de precipitación máxima en 24 horas y periodo de retorno de diez años para construir un mapa para la zona, y que corresponde al nivel de frecuencia más común en los estudios de drenaje agrícola (Pizarro, 1978).

Capítulo 6. Análisis de la radiación solar y la temperatura

- Radiación solar incidente. En caso de disponer de registros de insolación (n) se aplicará la ecuación de Angström para estimar la radiación solar incidente (Doorenbos & Pruitt, 1977; Jauregui, 1978) y corregir los valores obtenidos de los mapas de Almanza y López (1978), o de otros similares más recientes.
- Distribución anual, mensual y decenal de las temperaturas. Se dibujarán mapas de isotermas medias anuales y de los meses más frío y más cálido. Además se elaborarán gráficas de variación de las temperaturas promedio mensuales mínimas (t y t'), ambiente (Tt) y máxima (T). La mayor parte de la información utilizada para construir los mapas y gráficas citadas será concentrada en las tablas agroclimáticas.
- Integrales térmicas. Con base en los registros de temperatura media o ambiente mensual se calcularán las acumulaciones de calor (AC) promedio mensual arriba de las temperaturas umbral de 6, 10, 12 y 15 °C (Wilsie, 1966). Cuando existan registros del termógrafo se contrastarán los resultados muestrales, cuando menos para la temperatura umbral o base del cultivo más importante o promisorio.
- Horas-frío y unidades frío. Con base en los termogramas disponibles se cuantificarán las horas-frío, como aquéllos lapsos en que la temperatura ambiente es menor de 7 °C; al sumar los valores diarios medidos se obtienen las magnitudes mensuales y al promediar éstas, las horas-frío disponibles por meses, comúnmente de octubre a marzo.
También se aplicarán los métodos empíricos de da Mota, Weinberger y otros (Ortiz y Bustillos, 1989), con objeto de sancionar su aplicabilidad.
Como el número de horas-frío requerido por los frutales varía mucho en años extremosos (inviernos

tibios o muy fríos), se desarrolló el método de las unidades frío (UF), definidas como una temperatura de 6 °C con duración de 1 hora de duración.

Al subir o bajar la temperatura del punto óptimo su contribución en UF se reduce, de manera que en 1.4 °C y 12.4 °C son 0, y a partir de 16 °C su efecto es negativo. Villalpando (1985) presenta las tabulaciones de Real Laborde (1982) para estimar UF diarias en función de las temperaturas máxima y mínima diarias.

- Análisis de heladas. Los registros diarios de temperatura mínima en la garita meteorológica y a la intemperie, permiten obtener las fechas extremas de la última helada (enero-mayo) y primera helada (septiembre-diciembre) de cada año.

Las fechas citadas se transforman a número de día, teniendo cuidado en las heladas tardías de tomar en cuenta los años bisiestos y que un año sin helada equivale a un cero en la muestra que se está integrando por estación climatológica.

Haciendo uso de la función de distribución Gamma Mixta (Thom, 1971; INEGI, 1984, Campos, 1990) se procesan los registros formados, para obtener el número de día (fecha) correspondiente a probabilidades de no excedencia del 50, 75, 80, 90 y 95%. Con el primer resultado se define el periodo libre de heladas promedio. Se elaborarán tres mapas, uno indicando el periodo libre de heladas en días con un 75% de probabilidad de excedencia, y los otros de la fecha de la última y primera heladas con igual riesgo (25%). El contraste entre los resultados con lecturas al abrigo y a la intemperie, caracteriza la intensidad de las heladas de advección.

Capítulo 7. Análisis de otros elementos climáticos

Como resultado de los datos del psicrómetro se concentrarán en las tablas agroclimáticas los valores de humedad relativa media promedio mensual en % y la tensión media del vapor promedio mensual en mb; estos datos permiten la aplicación de los criterios de Turc, Papadakis y Penman de estimación de la evapotranspiración potencial.

- Evaporación y evapotranspiración potenciales. Además de los valores promedio mensual de evaporación medida en el tanque clase A, se obtendrán sus magnitudes decenales, las cuales al ser multiplicadas por el coeficiente del tanque (Doorenbos y Pruitt, 1977), conducen a la evapotranspiración potencial (ETo) del cultivo de referencia (pasto), a par-

tir de la cual se obtiene la del cultivo al multiplicarla por el coeficiente de cultivo (kc), definido éste por medio de la curva construida según lineamientos dados por Doorenbos y Pruitt (1977).

Adicionalmente se aplicarán mensual y decenalmente los criterios de Turc y Hargreaves-Samani, y de Thornthwaite, Papadakis y Penman mensualmente (Turc, 1961; Hargreaves-Samani, 1982; Jiménez, 1978; Papadakis, 1980; Frére y Popov, 1980;1986).

Se elaborarán gráficas mensuales y decenales de comparación de los resultados de acuerdo a las recomendaciones de aplicabilidad de cada criterio empírico y al clima de la zona. Se seleccionará el más conveniente. En caso de disponer de mediciones de evapotranspiración potencial de uno o varios cultivos, obtenidas por medio de lisímetros, se contrastarán los resultados de los métodos empíricos para detectar cual se aproxima más a la realidad. Cuando esto no sea posible se comparan contra el método de Penman (Eliás *et al.*, 1989). Finalmente se dibujará un mapa de evapotranspiración potencial media anual.

- Vientos. Se recopilará la información relativa a vientos, indicando claramente sus características de medición, para desarrollar las tabulaciones y gráficas que se consideren convenientes (Oliver, 1981).

Capítulo 8. Recopilación de información fenológica

Durante la segunda visita a la zona en estudio, se llevará a cabo una investigación exhaustiva relativa a la información sobre cultivos. Se deberán abordar los siguientes temas:

- Historia de las actividades agrícolas
- Cultivos introducidos y fracasados
- Cultivos actuales exitosos y deficientes
- Fechas fenológicas y coeficientes de cultivo
- Mediciones de la evapotranspiración potencial de los cultivos
- Resumen de prácticas culturales y adversidades meteorológicas
- Rendimientos observados (máximos, mínimos, evolución histórica, etc.)
- Problemas relativos a la producción

Se recomienda también recurrir al uso de la teledetección para obtener información en grandes áreas, acerca de la producción agrícola y otros de los tópicos anteriores (Rodríguez *et al.*, 1994).

Capítulo 9. Modelos agroclimáticos de producción

- Estimación del rendimiento máximo. Para estimar los rendimientos climáticos máximos de la alfalfa, maíz, sorgo y trigos de invierno y primavera, se debe aplicar el método del Instituto Internacional para la Recuperación y Mejoramiento de Suelos (IILRI, por sus siglas en inglés) descrito teórica y prácticamente por Feddes *et al.* 1978; adaptado por Doorenbos y Kassam (1979) y aplicado en México por Ortiz (1987a, b).
- Índice de potencialidad agrícola de Turc. Este índice conduce a una estimación de la producción total de materia seca vegetal en t/ha, por lo cual al aplicar los índices de cosecha del IILRI o de la FAO (Doorenbos y Kassam, 1979) se obtiene el rendimiento potencial de casi cualquier cultivo. Su teoría y procedimiento de aplicación fue expuesta por Turc (1972), aplicado en España por el MA, (1974) y Forteza del Rey (1986), y en México por Campos (1988c, 1989a, b). Se elaborarán dos mapas de valores anuales del índice, uno para temporal y el otro con riego.
- Estimación del rendimiento real. Después de clasificar el temporal de acuerdo al criterio de Hargreaves con base en el *IDH*, se aplicará a todos los cultivos actuales y futuros la función de producción de Hargreaves (ecuación 5), para obtener estimaciones de su rendimiento real, desde un punto de vista climático, es decir, sin limitaciones edafológicas o de algún otro tipo.
- Aplicación de índices climáticos. En general cualquier índice climático que esté basado en la precipitación, las temperaturas, la radiación solar, la insolación, etc. definirá algún tipo de relación con los rendimientos promedio observados en la zona, tal es el caso del índice climático de crecimiento vegetal (Papadakis, 1980; Campos, 1989a, 1993) y del índice de potencialidad agrícola de Turc, cuya aplicación de tal tipo ha sido expuesta por Campos (1989a, 1993).
- Índice de satisfacción de humedad, *ISH*. Este cálculo también conocido como índice agrometeorológico, ha sido instituido en México por la SARH (1988) y descrito por Torres (1983), y de una manera mucho más amplia por Frére y Popov (1980, 1986). Consiste básicamente en un balance hídrico-edafológico decenal de carácter anual, que permite ir disminuyendo el *ISH* conforme no se satisfagan las de-

mandas del cultivo. El índice tiene estrecha relación con la producción observada y por ello permite pronosticar cosechas (Campos, 1993) y obtener estimaciones de las mejores fechas de siembra.

Frére y Popov (1986) han aceptado como rendimiento máximo al promedio de los tres mejores rendimientos observados en diez o más años; además, han definido los siguientes porcentajes previsible del rendimiento máximo en cereales de temporal de acuerdo al valor del *ISH* y la experiencia mundial:

ISH	designación:	% del rendimiento máximo
100	muy bueno	> 100
95-99	bueno	90-100
80-94	promedio	50-90
60-79	mediocre	20-50
50-59	escaso	10-20
< 50	fracaso	< 10

- Aplicación de otros modelos. Los modelos tanto de simulación, como los de cultivo-ambiente y los estadístico-empíricos (Baier, 1977), han demostrado su enorme utilidad para predecir rendimientos o pronosticar la producción. Por ello se sugiere su aplicación, justificando su uso y demostrando su aplicabilidad como lo han realizado WMO (1981), Robertson (1983), Flores *et al.* (1985), Hanks (1985), da Mota e Oliveira (1986), Aceves (1988), Penning de Vries *et al.* (1989, 1993), entre muchos otros.

Capítulo 10. Resumen y recomendaciones

En este estudio, el resumen consistirá en describir brevemente la información disponible y los diversos cálculos y análisis realizados, en conjunción con la tablas de datos y resultados, así como los mapas, incluyendo la descripción de éstos para la zona estudiada. Por lo anterior el guión de tal resumen corresponde al de los capítulos e incisos desarrollados.

Por otra parte, aunque algunas de las conclusiones de los análisis ya fueron expuestas al término de cada inciso, conviene volver a citarlas abreviadamente, para concentrar en este capítulo las diversas conclusiones, y con base en ellas formular las recomendaciones, que deberán de ser bastante específicas en cuanto a nuevos cultivos, ratificaciones o cambios en las fechas de siembra y cosecha de cultivos actuales y futuros, igual que para otro tipo de prácticas culturales, etcétera.

Se destinará un apartado a las recomendaciones sobre los servicios meteorológicos necesarios y sobre la manera de alcanzar los rendimientos máximos estimados de carácter climático.

Tomando en cuenta que mucha de la información relativa a las exigencias climáticas de los cultivos está dispersa, e incluso inédita, es necesario que tanto las conclusiones que se formulen sobre la agricultura actual, como las recomendaciones respecto a nuevos cultivos, sean elaboradas por ingenieros agrónomos especializados en ecología de cultivos, principalmen-

te, ya que es necesario que el informe sea firmado y fechado.

Con el objeto de normalizar la presentación de datos y resultados en el cuadro 2 se presentan las designaciones de las tablas agroclimáticas que deberán incluirse, así como la relación de los mapas que se han citado en cada apartado.

2. Designaciones de las *tablas agroclimáticas* y relación de *mapas* de los estudios agroclimáticos definitivos

TABLAS AGROCLIMATICAS:

- T.1 Índice general de estaciones: ordenadas alfabéticamente e incluyendo: municipio, estado, coordenadas, períodos de registro de precipitación, temperatura, evaporación y otros.
- T.2 Precipitación promedio mensual
- T.3 Precipitación mediana mensual
- T.4 Precipitación confiable mensual
- T.5 Precipitación máxima diaria promedio mensual
- T.6 Precipitación máxima diaria extrema
- T.7 Precipitación máxima en 24 horas y periodo de retorno 10 años
- T.8 Número promedio mensual de días con precipitación
- T.9 Número promedio mensual de días con rocío
- T.10 Número promedio mensual de días con granizo
- T.11 Número promedio mensual de días con niebla o nevada
- T.12 Temperatura máxima extrema (mensual)
- T.13 Temperatura promedio mensual de máximas extremas
- T.14 Temperatura promedio mensual de máximas
- T.15 Temperatura promedio mensual media o ambiente
- T.16 Temperatura promedio mensual de mínimas
- T.17 Temperatura promedio mensual de mínimas extremas
- T.18 Temperatura mínima extrema (mensual)
- T.19 Temperatura promedio mensual de mínimas extremas a la intemperie
- T.20 Temperatura mínima extrema mensual a la intemperie
- T.21 Temperatura promedio mensual de punto de rocío
- T.22 Fototemperatura o temperatura media diurna promedio mensual
- T.23 Nictotemperatura o temperatura media nocturna promedio mensual
- T.24 Desviación estándar de la temperatura media o ambiente
- T.25 Total de horas de insolación promedio mensual
- T.26 Número máximo posible de horas de insolación promedio mensual
- T.27 Radiación solar en el tope de la atmósfera promedio mensual
- T.28 Radiación solar incidente promedio mensual
- T.29 Evaporación total promedio mensual
- T.30 Evapotranspiración potencial promedio mensual según Thornthwaite
- T.31 Evapotranspiración potencial promedio mensual según Hargreaves-Samani
- T.32 Evapotranspiración potencial promedio mensual según Papadakis
- T.33 Evapotranspiración potencial promedio mensual según Turc
- T.34 Evapotranspiración potencial promedio mensual según Penman
- T.35 Humedad relativa promedio mensual
- T.36 Tensión media del vapor promedio mensual
- T.37 Temperatura de bulbo húmedo promedio mensual

- T.38 Fórmulas climáticas según sistemas de Köppen y Thornthwaite
- T.39 Clima mensual térmico según sistema de Papadakis
- T.40 Clima mensual hídrico según sistema de Papadakis
- T.41 Parámetros de la fórmula climática de Papadakis
- T.42 Acumulación de calor promedio mensual arriba de 6 °C
- T.43 Acumulación de calor promedio mensual arriba de 10 °C
- T.44 Acumulación de calor promedio mensual arriba de 12 °C
- T.45 Acumulación de calor promedio mensual arriba de 15 °C
- T.46 Horas-frío promedio mensuales según datos del termógrafo
- T.47 Horas-frío promedio mensuales según método de da Mota
- T.48 Horas-frío promedio mensuales según método de Weinberger
- T.49 Unidades frío promedio mensuales
- T.50 Índice de potencialidad agrícola de Turc promedio mensual en temporal
- T.51 Índice de potencialidad agrícola de Turc promedio mensual con riego

MAPAS:

- M.1 Plano general de la zona
- M.2 Red actual y futura de estaciones meteorológicas, climatológicas y fenológicas
- M.3 Carta de climas según sistema Köppen modificado
- M.4 Carta de climas según sistema Thornthwaite
- M.5 Carta de agroclimas según sistemas de FAO y Papadakis
- M.6 Isoyetas medias anuales
- M.7 Isoyetas de precipitación anual más frecuente (moda)
- M.8 Isoyetas medias en la primavera (abril, mayo y junio)
- M.9 Isoyetas medias en el verano (julio, agosto y septiembre)
- M.10 Isoyetas medias en el otoño (octubre, noviembre y diciembre)
- M.11 Isoyetas medias en el invierno (enero, febrero y marzo)
- M.12 isomáximas de precipitación en 24 horas y periodo de retorno 10 años
- M.13 Radiación solar incidente e isotermas medias anuales
- M.14 Isotermas medias de los meses más frío y más cálido
- M.15 Periodo libre de heladas en días
- M.16 Fecha de la última helada con riesgo del 25%
- M.17 Fecha de la primera helada con riesgo del 25%
- M.18 Evapotranspiración potencial media anual adoptada
- M.19 Isovalores del índice de Turc anual en temporal
- M.20 Isovalores del índice de Turc anual con riego
- M.21 Déficit medio anual de la precipitación (ISH promedio)

Recibido: mayo, 1994
Aprobado: diciembre, 1994

Agradecimientos

Agradezco al personal que laboró durante 1988 y 1989 en el entonces Departamento de Hidrología y Agroclimatología de la Gerencia Regional Noreste de la Comisión Nacional del Agua, su apoyo, discusiones y críticas a las primeras versiones de esta propuesta normativa, así como a los ingenieros Arturo Cabral Berumen y Daniel Villalobos Peña; a los doctores Lorenzo A. Aceves N. y Leonardo Tijerina Chávez, y al maestro en ciencias Ricardo D. Valdez Cepeda. Me disculpo por las omisiones involuntarias.

Referencias

- Aceves N., L. *Procedimiento para determinar el periodo óptimo de siembra en temporal, utilizando modelos fenológicos*. IV Congreso Nacional de Irrigación (ANEI), páginas 138-142. Reynosa, Tam. 1988.
- Almanza, R. y López, S. *Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de Insolación*. Series del Instituto de Ingeniería No. 357. Ciudad Universitaria,

- UNAM, México, DF. 2a. edición corregida y aumentada. 1978.
- Baier, W. *Crop-Weather Models and Their Use in Yield Assessments*. Technical Note No. 151. WMO-No. 458. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 1977.
- Calderón A., E. *Fruticultura general*. Tema: Medida y cuantificación de las horas frío, páginas 229-237. Editorial Limusa, México, DF 3a. edición. 1985.
- Campos A., D.F. *Clasificación agroclimática de J. Papadakis. normas y metodología de aplicación*. Escuela de Agronomía de la UASLP, San Luis Potosí, SLP. 1983.
- Campos A., D.F. *Procedimiento para el cálculo del clima de acuerdo al Sistema Köppen modificado*. 9º Congreso Nacional de Hidráulica, Tomo I, Subtema 1, páginas 80-91. Querétaro, Qro. 1986.
- Campos A., D.F. *Función de distribución de probabilidades Gamma Mixta: soluciones y aplicaciones*. 10º Congreso Nacional de Hidráulica, Tomo II, Subtema 6, páginas 318-322. Morelia, Mich. 1988a.
- Campos A., D.F. *Programa en Basic para determinar la fórmula climática según Sistema de Köppen Modificado*. IV Congreso Nacional de Irrigación (ANEI), páginas 127-132. Reynosa, Tam. 1988b.
- Campos A., D.F. *El Índice de Potencialidad Agrícola de Turc: descripción y aplicaciones*. IV Congreso Nacional de Irrigación (ANEI), páginas 133-137. Reynosa, Tam. 1988c.
- Campos A., D.F. *Primera estimación del potencial agrícola del estado de San Luis Potosí por medio de índices climáticos. 2: análisis de datos y resultados*. 2a. Reunión Nacional de Agroclimatología, páginas 80-91. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 1989a.
- Campos A., D.F. *Análisis agroclimático de la información meteorológica disponible en la Escuela de Agronomía de la UASLP*. IV Congreso Nacional de Meteorología, páginas 62-66. Chihuahua, Chih. 1989b.
- Campos A., D.F. *Análisis probabilístico de heladas con base en la Función de Distribución Gamma Mixta*. 11º Congreso Nacional de Hidráulica, Tomo II, Tema 7, páginas 250-261. Zacatecas, Zac. 1990.
- Campos A., D.F. *Análisis de sequías en la estación climática La Piedad, Tam. 1: cálculos preliminares y enfoque probabilístico*. II Simposio Regional: Avances y Perspectivas de la investigación del Clima y del Agua en el Noroeste de México. Linares, Nuevo León. 1991a.
- Campos A., D.F. *Análisis de sequías en la estación climática La Piedad, Tam. 2: Método de Herbst, Bredenkamp & Barker*. II Simposio Regional: Avances y Perspectivas de la Investigación del Clima y del Agua en el Noroeste de México. Linares, Nuevo León. 1991b.
- Campos A., D.F. *Procesos del ciclo hidrológico*. Capítulo 4: Precipitación, páginas 4-1 a 4-100. Editorial Universitaria Potosina de la UASL, San Luis Potosí, SLP, 2a. reimpresión. 1992a.
- Campos A., D.F. *Droughts Study in the Potosino Plateau of the Mexican Republic*. Third Pan-American Regional Conference of the ICID. Mazatlán, Sinaloa, México. 1992b.
- Campos A., D.F. *Monitoreo del Sorgo en el Norte de Tamaulipas*. Revista Ingeniería Hidráulica en México, Vol. VIII, Núm. 1, Pág. 54-67. IMTA, SARH. Morelos, México. 1993.
- Colegio de Posgraduados (CP). *Zonificación agroecológica de cultivos*. Curso Taller 23-27 de Mayo. CRECIDATH, Tepetates, Veracruz, México. 1988.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). *Precipitación y probabilidad de la lluvia en la República Mexicana y su evaluación*. Secretaría de la Presidencia. México, D.F. 1973-1978.
- da Mota, F.S. e Oliveira de Oliveira A., M. *Clima e agricultura no Brasil*. Capítulo II: Probabilidade de secas e excessos hídricos prejudiciais aos cereais verão. SAGRA Editora e Distribuidora Ltda. Porto Alegre, RS, Brasil. 1986.
- De la C. Santos, J.M., Tijerina Ch., L. y Ortiz S., C.A. *Metodología para evaluar la aptitud de las tierras de la República Mexicana para producción en condiciones de temporal de ocho cultivos básicos*. IV Congreso Nacional de Irrigación (ANEI), páginas 150-154. Reynosa, Tam. 1988.
- De Fina, A.L. y Ravelo, A.C. *Climatología y fenologías agrícolas*. Capítulo VI: El problema de las estadísticas climatológicas incompletas y de las estadísticas inexistentes. 3a. edición. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina. 1979.
- Doorenbos, J. *Agro-meteorological Field Stations*. Irrigation and Drainage. Paper 27. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 1976.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W.O. *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements*. Irrigation and Drainage paper 24. Food and Agriculture Organization. Rome, Italy. Revised edition. 1977.
- Doorenbos, J. y Kassam, A.H. *Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: riego y drenaje No. 33. Roma, Italia. 1979.
- Elías C., F. y B. L., Ruiz. *Clasificación agroclimática de España, basada en la clasificación ecológica de Papadakis*. Publicación A-53 del Servicio Meteorológico Nacional. Madrid, España. 1973.
- Elías C., F. y B.L., Ruiz. *Estudio agroclimático de la región Castilla-La Mancha*. Departamento de Agricultura de la Junta de Comunidades Castilla-La Mancha. Toledo, España. 1981.
- Elías L., J., Ch., Tijerina y N., Aceves. *Determinación de la evapotranspiración potencial en el área de influencia de Montecillo, haciendo uso de variables climáticas*. 2a. Reunión Nacional de Agroclimatología, páginas 345-354. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 1989.
- Feddes, R.A., P.J., Kowalik. & H., Zaradny. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*. Simulation Monographs of the Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen, The Netherlands. 1978.
- Flores M.; F.J., Chan y L., Bravo. *Fenología del maíz y frijol en el altiplano de Zacatecas. II. Unidades calor (UC) y desarrollo fenológico*. Fitotecnia, Vol. 7, páginas 66-81. Zacatecas, México. 1985.
- Forteza del Rey M. *Caracterización agroclimática de la provincia de Badajoz*. Dirección General de Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 1986.

- Fróre, M. y G.F., Popov. *Pronóstico de cosechas basado en datos agrometeorológicos*. Estudio FAO: Producción y protección vegetal No. 17. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1980.
- Fróre, M. y G.F., Popov. *Pronóstico agrometeorológico del rendimiento de los cultivos*. Estudio FAO: producción y protección vegetal No. 73. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 1986.
- García, E. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía, UNAM. Ciudad Universitaria, México, D.F. 3a. edición. 1981.
- García, E., M.E., Hernández y M.D., Cardoso. *Las gráficas ombrotérmicas y los regímenes pluviométricos en la República Mexicana*. IX Congreso Nacional de Geografía, páginas 140-149. Guadalajara, Jal. México. 1983.
- Hanks, R.J. *Soil Water Modelling*. Chapter 2 in Hydrological Forecasting, edited by M.G. Anderson & T.P. Burt. John Wiley & Sons Ltd. Wiltshire, England. 1985.
- Hargreaves, G.H. *Manual de requerimientos de agua para cultivos bajo riego y para agricultura de secano*. Documento preparado bajo financiamiento de la AID. tah State University. Logan, Utah, USA. 1975a.
- Hargreaves, G.H. *Moisture Availability and Crop Production*. Transactions of the American Society of Agricultural engineers, pp. 980-984. St. Joseph, Michigan, USA. 1975b.
- Hargreaves, G.H. & Z.A., Samani. *Estimating Potential Evapotranspiration*. Technical Note in the Journal of Irrigation and Drainage Division, Vol. 108, No. IR3, pp. 225-230. 1982.
- Herbst, P.H.; D.B., Bredenkamp & H.M.G., Barker. *A Technique for the Evaluation of Drought from Rainfall Data*. Journal of Hydrology, Vol. 4, pp. 264-272. USA. 1966.
- Hinojosa C., G.A. *Fenología*. Boletín Técnico Núm. 3. Departamento de Irrigación de la Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 1984.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). *Cantidad de lluvia más frecuente (moda) en la República Mexicana*. México, D.F. 1984.
- Jáuregui O., E. *Una primera estimación de la distribución de la radiación global y neta en México*. Revista Recursos Hidráulicos, Vol. VII, No. 2, pág. 96-105. S.A.R.H. México, D.F. 1978.
- Jiménez L., J. *Cálculo del clima de acuerdo al Segundo Sistema de Thornthwaite*. Publicación No. 7. Dirección General de Estudios, S.A.R.H. México, D.F. 2a. edición. 1978.
- Linsley, R.K.; M.A., Kohler. y J.L.H., Paulhus. *Hidrología para ingenieros*. Capítulo 3: Precipitación, páginas 45-88. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S. A. 2a. edición. Bogotá, Colombia. 1977.
- Mather, J.R. *Workbook in Applied Climatology*. Exercise II: Skewness, Homogeneity and Correlation. Publications in Climatology, Vol. XXX, No. 1. C.W. Thornthwaite Associates. Elmer, New Jersey, USA. 1977.
- Ministerio de Agricultura (MA). *Caracterización agroclimática de España*. Metodología y normas. Madrid, España. 1974.
- Oliver, J.E. *Climatology: Selected Applications*. Chapter 6: Air in motion (the use and effects of the wind). Edward Arnold Publishers, Ltd. London, England. 1981.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). *La meteorología ayuda a producir alimentos*. OMM-No. 624. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. 1974.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). *Guía de Prácticas Climatológicas*. OMM-No. 100. Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. 1990.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Informe del proyecto de zonas agroecológicas*. Vol. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 48/3. Roma, Italia. 1981.
- Ortiz S., C.A. *Elementos de agroclimatología cuantitativa con aplicaciones en la República Mexicana*. Capítulo VI: Estimación de rendimientos, páginas 268-305. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 3a. edición. Chapingo, Estado de México. 1987a.
- Ortiz S., C.A. *Evaluación de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal*. Serie Cuadernos de Edafología 8. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Chapingo, Estado de México. 1987b.
- Ortiz V., M. y J.F., Bustillos V. *Determinación de horas frío en el estado de Zacatecas*. 2a. Reunión Nacional de Agroclimatología, páginas 32-42. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 1989.
- Pájaro H., D. y C.A., Ortiz S. *Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana*. 2a. Reunión Nacional de Agroclimatología, páginas 145-163. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. 1989.
- Palmer, W. *Meteorological Drought*. Research Paper No. 45, Weather Bureau. USA. Department of Commerce. Washington, DC. 1965.
- Papadakis, J. *Climate of the World and Their Agricultural Potentialities*. Edición del propio autor. Buenos Aires, Argentina. 1966.
- Papadakis, J. *EL CLIMA con especial referencia a los climas de América Latina, península Ibérica, excolonias ibéricas y sus potencialidades agropecuarias*. Editorial Albatros. Buenos Aires, Argentina. 1980.
- Penning de Vries, F.W.T.; D.M., Jansen; H.F.M., Berge & A., Bakema. *Simulation of Ecophysiological Processes of Growth in Several Annual Crops*. IRRRI, Los Baños Philippines and PUDOC, Wageningen, The Netherlands. 1989.
- Penning de Vries, F.W.T.; P. Teng & K., Metselaar. *Systems Approaches for Agricultural Development*. Proceedings of the International Symposium. 2-6 December 1991, Bangkok, Thailand. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 1993.
- Pizarro, F. *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*. Capítulo 9: Drenaje superficial, páginas 341-377. Editorial Agrícola Española, S.A., Madrid, España. 1978.
- Real Laborde, J.I. Del. *El descanso de los árboles frutales caducifolios y su evaluación bajo condiciones de invierno*

- benigno*. 1971-72 a 1979-80". Tesis UAA. Antonio Narro. Arteaga, Coah. 1982.
- Robertson, G.W. *The Role of Agrometeorology in Agricultural Development and Investment Projects*. Technical note No. 168, WMO-No. 536. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 1980.
- Robertson, G.W. *Weather-Based Mathematical Models for Estimating Development and Ripening of Crops*. Technical note No. 180, WMO-No. 620. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 1983.
- Rodríguez Z., C.; L., Pulido M. y H., Sanvicente S. *Diagnóstico de suelos ensalitrados con imágenes de satélite*. Informe final del proyecto RD-9418, CNA/IMTA. México. 1994.
- Sánchez G., M.; C.A., Ortiz S. y F., Márquez R. *Clasificaciones agroclimáticas de cultivos*. 2a. Reunión Nacional de Agroclimatología, páginas 212-222. Universidad de Chapingo, Estado de México, México, 1989.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). *Compendio de apuntes de agrometeorología para personal Clase IV*. Dirección General del Servicio Meteorológico Nacional-OMM No. 593. México, DF. 1985.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). *Términos de referencia para estudios agroclimatológicos*. Dirección General de Irrigación y Drenaje, Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. México, D.F. 1988.
- Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP). *Atlas nacional del medio físico*. Unidad 5: Carta de climas, páginas 80-97. México, D.F. 1981.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). *Atlas del agua de la República Mexicana*. Capítulo 13: Climas, páginas 158-159. México, DF. 1976.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH). *Boletín de tormentas máximas observadas y probables en México en 24 horas (hasta 1974)*. Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Estudios. México, DF. 1976.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). *Normales Climatológicas. Periodo 1941-1970*. Dirección General del SMN, SARH. México, DF. 1982.
- Thom, H.C.S. *Some Methods of Climatological Analysis*. Theme 3.1.2: The Gamma Distribution, pp. 20-22. Technical note No. 81, WMO-No. 199. TP. 103. Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 1971.
- Torres R., E. *Agrometeorología*. Capítulo 9: Programaciones Agrícolas, páginas 137-147. Editorial Diana, S.A. México, D.F. 1983.
- Turc, L. *Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle*. Formule Climatique simplifiée et mise a jour. Ann. Agron., 12(1), page 13-49. 1961.
- Turc, L. *Índice climatique de potentialité agricole*. Supplément au Bulletin de L'Association Française pour L'Etude du Sol. Número 2, page 81-102. 1972.
- Viessman, W.; J.W., Knapp; G.L., Lewis & T.E., Harbaugh. *Introduction to Hydrology*. Chapter 2: Precipitation, pp. 15-42. Harper & Row, Publishers. New York, USA. 1977.
- Villalpando I., J.F. *Metodología de investigación en agroclimatología*. Notas del curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIP, INIF e INIA. SARH, Zapotlán, Jal., México. 1985.
- Weiss, L.L. *Ratio of True Fixed-Interval Maximum Rainfall*. Journal of Hydraulics Division, Vol. 90, No. HY1, pp. 77-82. 1964.
- Wilsie, C.P. *Cultivos: Aclimatación y distribución*. Capítulo 8: Factor Temperatura, páginas 194-241. Editorial Acibria. Zaragoza, España. 1966.
- World Meteorological Organization (WMO). *Drought and Agriculture*. Technical Note No. 138, WMO-No. 392. Secretariat of the WMO. Geneva Switzerland, 1975.
- World Meteorological Organization (WMO). *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. WMO-No. 134. Secretariat of the WMO. Geneva, Switzerland. 2a. edition. 1981.

Abstract

Campos, D.F., "Guides to Elaborate Crop Agroclimatic Studies (Normative Proposal)". *Hydraulic Engineering in Mexico (in Spanish)* Vol. X, Núm. 1, pages 15-33, january-april, 1995.

In this proposal a statement that considers two types of agroclimatological studies: preliminary and definitive is made. The first ones are focused to give a panoramic of the feasible crops in the zone and to define a number of parameters of agroclimatological character and easy calculation, that they are going to help to understand the behaviour of the present agriculture, or to plan their solid establishment and development. Such parameters are evaluated with base on the average monthly information and they are concentrated for each climatologic station used in their proposal "agroclimatologic file". The definitive agroclimatological studies are based on the daily and monthly climatologic and meteorologic information, they are being processed decennial one part and the other in monthly ways; the scope of these studies let a more precise definition of the spectre of feasible crops, the combined handling of phenological and climatological historical information to forecast the production, and the formulation of accurate recommendations oriented to optimize the present yield, or to guarantee the future production. This proposal includes important concepts as the application of agroclimatological classifications and indexes and the estimations of the potential and real yields, such in rainfed as under irrigation.

Key Words: agroclimatology studies, crops, rainfed, irrigation, crop yields, climate.