

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



**CARACTERIZACION CLIMATOLOGICA EN EL AREA
DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO EL BARRIO DE
LA SOLEDAD, OAX.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA**

GABRIEL VALDEZ VAZQUEZ

MARIN, N. L.

ABRIL DE 1991

T

S600

V3

C.1



1080062986

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



CARACTERIZACION CLIMATOLOGICA EN EL AREA
DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO EL BARRIO DE
LA SOLEDAD, OAX.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA
PRESENTA

GABRIEL VALDEZ VAZQUEZ

MARIN, N. L.

ABRIL DE 1991

10557^m

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



CARACTERIZACION CLIMATOLOGICA EN EL AREA
DE INFLUENCIA DEL MUNICIPIO EL BARRIO DE
LA SOLEDAD, OAX.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO
AGRONOMO FITOTECNISTA

P R E S E N T A

GABRIEL VALDEZ VAZQUEZ

MARIN, N.L.

ABRIL DE 1991.

T
5600
V3

040.551

FA1

1991

C-5



Biblioteca Central
Magna Solidaridad



UANL
FONDO
TESIS LICENCIATURA

Handwritten signature

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

TESIS ELABORADA POR GABRIEL VALDEZ VAZQUEZ, ACEPTADA
Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TI
TULO DE INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA.

COMITE SUPERVISOR DE TESIS

ING.M.Sc. JOSE DE JESUS OCEJO GZZ.
Asesor Principal

ING. M.Sc. MAURO RODRIGUEZ CABRERA
Asesor Auxiliar

ING.M.Sc. ELIAS TREVINO RMZ.
Asesor Auxiliar

ING.M.Sc. RAUL P. SALAZAR SAENZ
Asesor Auxiliar

MARIN, N.L.

ABRIL DE 1991.

AGRADECIMIENTOS

A D I O S:

¡ Señor, tú has sido nuestra morada de
generación en generación!

¡ Antes que naciesen las montañas, o tú
produjeras la tierra y el mundo, y
desde la eternidad hasta la eternidad,
tú eres Dios !

Salmos 90:1-2

GRACIAS DIOS

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES:

Sr. Ramiro Valdéz Valdéz

Sra. Ma. Elena Vázquez Pañeda

Que son las personas que más quiero en el mundo.

Por darme la vida, mantenerme y educarme hasta hacer de mí un profesionista.

Por sus consejos, enseñanzas, desvelos, preocupaciones y tantas otras atenciones que serían imposible señalar en unas cuantas líneas.

Gracias por ser mis padres. Que Dios los bendiga.

A MIS HERMANOS:

Javier

Rosa Elena

Ma. del Rosario

Por el apoyo que me brindaron en el transcurso de mi vida.

Siempre estaré agradecido con ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A MIS SOBRINOS:

Martha Elizabeth, Andrea Marisol Hernández Valdéz.

Javier Alejandro Valdéz Echavarría.

Por la alegría que llevaron a nuestro hogar
y esperando que este trabajo les sirva de
estímulo para seguir adelante en la vida.

A LA MEMORIA DE MIS ABUELITOS:

Juan Valdéz +

Andrea Villarreal +

Alejandro Vázquez +

Joaquina Paneda +

A MI NOVIA:

Margarita Vázquez Carrasco

Con todo mi cariño.

AGRADECIMIENTOS

A MI ESCUELA

Por haberme preparado para mi vida profesional.

A mis maestros, compañeros y amigos con los cuales compartí momentos alegres y tristes pero siempre con la vista hacia adelante y la frente en alto.

Nunca los olvidaré.

A los Ingenieros:

M.Sc. J. JESUS OCEJO, GONZALEZ

M.Sc. MAURO RODRIGUEZ CABRERA

M.Sc. J. ELIAS TREVIÑO RODRIGUEZ

M.Sc. RAUL P. SALAZAR SAENZ

Por la enseñanza, amistad, consejos y apoyo para la realización de este trabajo.

Al ING. ANTONIO DURON ALONSO.

Por su valiosísimo apoyo en el manejo de los datos.

A la Sra. ROSA ELIA PEREZ RENDON.

Por su participación en el escrito del presente trabajo.

A todo el personal que participó directa o indirectamente en la realización del presente trabajo.

AGRADECIMIENTO

Al Club Deportivo Social y Cultural Cruz Azul, A.C.,
Lagunas, Oax. por el gran apoyo que me brindaron al
realizar mi servicio social y sacar adelante el pre
sente trabajo.

A el ING. ENRIQUE ZAVALETA

Gerente de Planta

A el LIC. MANUEL CASTILLO M.

Gerente Regional

A el LIC. IGNACIO MUÑOZ R.

Dirección Jurídica

Por las facilidades y apoyo incondicional que me pro
porcionaron en todo momento.

A el ING. MARIO CANO A. Coordinador del Departamento Agropecua-
rio y a su familia, por las atenciones y amistad que me brinda-
ron durante mi estancia.

Al personal del Departamento Agropecuario que siempre me brindó
su amistad y me tendió la mano.

A todas las personas con las cuales conviví en el Istmo de Te-
huantepec en actividades sociales, de trabajo y deportivas.

A el SR. JOAQUIN SALINAS V. y a el ING. ALEJANDRO FLORES R. --
por su amistad y apoyo en el recorrido y toma de fotografías -
de los lugares de estudio.

"La observación de los fenómenos meteorológicos y su relación con las actividades agrícolas nos impulsan a la búsqueda del entendimiento entre ambos, a través de la capacitación y la experimentación agrometeorológica"

Francisco Mendoza Von Borstel.

INDICE

Pág.

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	REVISION LITERARIA.....	3
	2.1. Radiación solar.....	3
	2.1.1. Características.....	3
	2.1.2. Estimación.....	9
	2.1.2.1. Radiación global y duración - de la insolación.....	10
	2.1.2.2. Radiación solar a partir de - la nubosidad.....	12
	2.1.3. Radiación solar en México.....	13
	2.2. Temperatura.....	14
	2.2.1. Efectos de altitud.....	15
	2.2.2. Relación temperatura-cultivos.....	17
	2.2.2.1. La temperatura y la adaptabi- lidad de los cultivos.....	17
	2.2.2.2. Índice auxégeno e índice tana toclimático.....	23
	2.2.2.3. Horas frío.....	23
	2.2.2.4. Constantes térmicas.....	24
	2.2.2.4.1. Método directo....	25
	2.2.2.4.2. Método residual...	26
	2.2.2.4.3. Método exponencial	26
	2.2.2.4.4. Índice de Geslin - (Heliotérmico)....	27
	2.2.3. Estimación de la temperatura.....	27

2.2.3.1. Análisis estándar.....	27
2.2.3.2. Método simple o empírico.....	28
2.2.3.3. Método del gradiente mediano o de las cruces.....	29
2.3. Precipitación.....	34
2.3.1. Distribución de las lluvias.....	34
2.3.2. Evaluación de los datos de precipita- ción.....	37
2.3.3. La precipitación y la erosión hídrica..	38
2.3.3.1. Índice de Fournier.....	40
2.3.3.2. Metodología de la FAO.....	41
2.3.4. Probabilidad de lluvia.....	42
2.3.4.1. Calidad de datos.....	42
2.3.4.2. Distribución acumulativa.....	43
2.3.4.3. Distribución normal.....	44
2.3.4.4. Distribución de Galton.....	45
2.3.4.5. Distribución Gamma-incompleta.	45
2.3.4.6. Prueba de bondad de ajuste....	46
2.3.4.6.1. Prueba de Kolmogo- rov-Smirnov.....	46
2.3.4.6.2. Prueba de Smirnov..	48
2.4. Evapotranspiración.....	48
2.4.1. Terminología.....	48
2.4.2. Estimación de la evaporación (ev).....	49
2.4.3. Aplicaciones del cálculo de ETP.....	50
2.4.4. Métodos de estimación de ETP.....	51

2.4.4.1.	Método de Penman.....	51
2.4.4.2.	Método de Thornhwaite.....	54
2.4.4.3.	Fórmula de Turc.....	58
2.4.4.4.	Fórmula de Hargreaves.....	58
2.4.4.5.	Comparación de métodos.....	59
2.4.5.	Evapotranspiración real o actual (ETR).	
2.4.5.1.	Coeficiente Kc.....	60
2.4.5.2.	Coeficiente R.....	61
2.4.6.	Déficit climático.....	61
2.4.7.	Períodos de crecimiento.....	62
2.4.7.1.	Períodos de crecimiento deter- minados por la disponibilidad- de agua.....	63
2.4.7.2.	Períodos de crecimiento deter- minados por la disponibilidad- de agua y temperatura.....	64
2.4.7.3.	Diferentes períodos de creci- miento determinados por la dis- ponibilidad de agua.....	64
III.	UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	65
IV.	MATERIALES Y METODOS.....	66
4.1.	Materiales.....	66
4.2.	Métodos.....	67
4.2.1.	Estimación de la radiación solar.....	67
4.2.2.	Estimación de la temperatura.....	70
4.2.3.	Estimación de la precipitación.....	77

	Pág.
4.2.4. Estimación de la evapotranspiración po tencial.....	78
4.2.5. Estimación de los períodos de creci- miento.....	79
V. RESULTADOS.....	89
5.1. Radiación solar.....	89
5.2. Temperatura.....	101
5.3. Precipitación.....	102
5.4. Evapotranspiración potencial.....	114
5.5. Períodos de crecimiento.....	119
VI. DISCUSION.....	131
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	135
VIII. RESUMEN.....	137
IX. BIBLIOGRAFIA.....	139

INDICE DE CUADROS

Pág.

CUADRO

1	Duración astronómica de la insolación (N) promedio mensual, en horas y décimas.....	8
2	Radiación solar (Ra) sobre una superficie horizontal, en el límite de la atmósfera, expresada como mm de agua evaporable, con una constante solar $r=2.00 \text{ cal. cm}^2 \text{ min}^{-1}$	11
3	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. (Doorenbos y Pruitt, 1977).....	13
4	Temperaturas cardinales de cultivos comunes (°C) . (Rahn, 1939).....	19
5	Temperaturas fundamentales para la germinación de las semillas de ciertas plantas cultivadas.....	20
6	Valores de la constante térmica por el método directo para algunas gramíneas.....	25
7	Clasificación de Holdrige para las formaciones vegetales (García Benavides, 1979).....	32
8	Intervalo de confianza para registros homogéneos..	43

CUADRO

Pág.

9	Tabla de valores críticos de D en la prueba de --- Kolmogorov-Smirnov (Siegel, 1976).....	47
10	Cuadro que expresa r. p./p en función de la T°C y la altura en metros.....	53
11	Radiación de un cuerpo negro (TK^4) expresada en - mm de agua en función de la T°C.....	55
12	Presión saturante del vapor sobre el agua, ea, en- milibares como función de T°C (Smithsonian table,- 1966).....	56
13	Modelos matemáticos para obtener el valor de Kc, - por diferentes métodos (García , 1979).....	60
14	Nubosidad media (C) décimos. Guivicía.....	92
15	Nubosidad media (C) décimos. Santiago Chivela.....	92
16	Nubosidad media (C) décimos. Lázaro Cárdenas.....	93
17	Nubosidad media (C) décimos. Congregación Almoloya	93
18	Nubosidad media (C) décimos. San Juan Guichicovi..	94

CUADRO

Pág.

19	Nubosidad media (C) décimos. El Barrio de la Soledad.....	94
20	Nubosidad media (C) décimos. Guevea de Humboldt...	95
21	Nubosidad media (C) décimos. La Cumbre.....	95
22	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Guivicía	96
23	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Santiago Chivela.....	96
24	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Lázaro - Cárdenas.....	97
25	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Congregación Almoloya.....	97
26	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. San Juan Guichicovi.....	98
27	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. El Barrio.....	98
28	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Guevea de Humboldt.....	99

CUADRO

Pág.

29	Equivalencia aproximada en nubosidad n/N . La Cumbre.....	99
30	Promedio mensual de equivalencia aproximada en nubosidad (n/N) y radiación solar (mm de H_2O evaporable/día) para las estaciones de estudio.....	100
31	Temperatura mensual y anual para las estaciones de estudio.....	103
32	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para Guivicía por el método de Galton.....	106
33	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para Santiago Chivela por el método de Galton.....	107
34	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para Lázaro Cárdenas por el método de Galton.....	108
35	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para Congregación Almoloya por el método de Galton.	109
36	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para San Juan Guichicovi por el método de Galton...	110
37	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para El Barrio por el método de Galton.....	111

38	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para Guevea de Humboldt por el método de Galton....	112
39	Precipitación y probabilidad de lluvia por mes para La Cumbre por el método de Galton.....	113
40	Evapotranspiración potencial mensual (mm) para -- San Juan Guichicovi por el método de Galton.....	115
41	Evapotranspiración potencial mensual (mm) para -- Guivicía por el método de Galton.....	115
42	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para -- Guevea de Humboldt por el método de Galton.....	116
43	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para -- Lázaro Cárdenas por el método de Galton.....:.....	116
44	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para -- Santiago Chivela por el método de Galton.....	117
45	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para -- Congregación Almoloya por el método de Galton....	117
46	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para -- El Barrío por el método de Galton.....	118

CUADRO

Pág.

47	Evapotranspiración potencial por mes (mm) para La Cumbre por el método de Thornthwaite.....	118
----	---	-----

INDICE DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>		Pág.
1	Balance térmico de radiación solar.....	5
2	Relación latitud-altura.....	16
3	Dirección de los vientos dominantes.....	35
4	Distribución de la precipitación y evapotranspiración potencial a través del ciclo del cultivo de maíz en el área de influencia de Chapingo (Ortíz, 1974).....	62
5	Estación Guivicía. Período de crecimiento.....	123
6	Estación Santiago Chivela. Período de Crecimiento.	124
7	Estación Lázaro Cárdenas. Período de Crecimiento..	125
8	Estación Congregación Almoloya. Período de crecimiento.....	126
9	Estación San Juan Guichicovi. Período de crecimiento.....	127
10	Estación El Barrio. Período de crecimiento.....	128
11	Estación Guevea de Humboldt. Período de crecimiento.....	129

FIGURA

Pág.

12	Estación La Cumbre. Período de crecimiento.....	130
----	---	-----

INDICE DE TABLAS

<u>TABLA</u>	Pág.
1 Tasa de fotosíntesis, temperatura óptima, radiación óptima, tasa de crecimiento, eficiencia en el uso del agua de cuatro grupos de cultivos ---- (FAO, 1978).....	22
2 Valores mensuales del índice de calor de acuerdo a la temperatura media mensual (Fuente: Thornthwaite y Mather, 1957).....	80
3 Evaporación media diaria sin ajustar (mm) mensual.	81
4 Duración mensual probable del día en el hemisferio norte en unidades de 12 horas (Fuente: Thornthwaite y Mather, 1957).....	88

I. INTRODUCCION

La agricultura es quizá la profesión más antigua que existe en este planeta. Igualmente antigua es la observación de los fenómenos meteorológicos, los cuales cuando menos en este estado tienen poca atención, e incluso poca investigación comparandola con regiones como la zona de influencia de Chapingo y otros gobiernos con más recursos como los Estados Unidos de América, entre otros.

De la misma manera, el estudio de la relación agricultura-meteorología esta muy atrasado en la mayor parte del país, es decir, que se tienen estudios muy generales de la relación de ambos faltando con ello una conjunción más estricta.

Tomando en cuenta que la agricultura trata de resolver el problema de la alimentación bajo el conocimiento profundo y la manera más idónea de manejo de plantas y animales, y que estos necesitan para realizar su ciclo ciertas condiciones de luminosidad, humedad, temperatura y otros factores climáticos, que al sobrepasar los límites tolerables producen una disminución en el desarrollo del organismo, llegando en muchos casos a ser fatal. Por lo tanto, considero que debe hacerse una estimación de los requerimientos térmicos, hídricos y otros que influyen directa o indirectamente en la producción agropecuaria.

Por tal motivo, me auxilio de la herramienta de la meteorología agrícola o agrometeorología que es la disciplina que se encarga de estudiar las leyes y principios que relacionan los fenómenos meteorológicos, con el desarrollo y rendimiento de las ---

plantas y animales en producción.

Los objetivos principales del presente trabajo son:

1. Establecer las características climáticas de la zona de estudio en la medida de la disponibilidad de datos climáticos y sus posibilidades de interpretación.
2. Interpretar la relación agricultura-metereología en el área de estudio basándose en modelos de regresión meteorológica.
3. De los modelos seleccionados ver cuales son los más adecuados para la zona de estudio, de acuerdo a las condiciones ambientales existentes.
4. Poner a disposición los datos y metodologías de obtención a los agrónomos y profesionistas afines a la carrera de agronomía como aquellas que necesitan de estos conocimientos a la elaboración de más trabajos, proyectos o el establecimiento de líneas de investigación que nos den el conocimiento de la relación de los fenómenos meteorológicos con los organismos productivos agropecuarios.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1. Radiación solar

2.1.1. Características.

La radiación solar recibida en la superficie de la tierra, es el origen de casi todos los fenómenos meteorológicos y de sus variaciones en el curso de sus días y años (25).

La radiación solar que llega al límite superior de la atmósfera está formada por rayos de distinta longitud de onda encontrándose principalmente:

- a) Rayos ultravioletas o químicos: su longitud de onda es muy pequeña, menor de 0.36 micrones (1 mm. equivale a 1000 micrones).
- b) Rayos luminosos: es la radiación visible al ojo humano y su longitud de onda varía entre 0.36 y 0.76 micrones. Estas longitudes de onda corresponden al violeta y al rojo respectivamente.
- c) Rayos térmicos o caloríficos: su longitud de onda es mayor a 0.76 micrones.
- d) Rayos gama, rayos X, rayos alfa, infrarrojos, etc.

Respecto al valor calorífico de la radiación:

1. Las tres radiaciones citadas (químicas, lumínicas y térmicas) cuando son recibidas sobre una superficie ennegrecida con negro de humo, se transforman casi enteramente en calor.
2. La intensidad calorífica de la radiación solar, medida en el-

límite superior de la atmósfera, es generalmente constante en el transcurso del tiempo.

3. Su valor para un centímetro cuadrado expuesto perpendicularmente a los rayos solares en el límite superior de la atmósfera se llama constante solar.

La constante solar se define como la cantidad de energía recibida fuera de la atmósfera terrestre a una distancia media de la tierra al sol (25,26).

Generalmente se expresa en calorías por centímetro cuadrado por minuto, o bien en langley por minuto, que es exactamente lo mismo (41). Otras unidades que se utilizan para expresar la radiación son $\text{watts/cm}^2 = 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min.} = 698 \text{ w/m}^2$. $1 \text{ w/m}^2 = 0.0014327 \text{ cal/cm}^2/\text{min.}$ (18).

Durante mucho tiempo el valor de la constante solar fué estimado como 1.94 langleys/min. basándose en las mediciones del Instituto Smithsonian. Johnson (1954) estableció el valor de 2.0 langleys/min.; este fué por considerarse la parte ultravioleta del espectro (25).

Casi toda la radiación que recibimos ocupa el espectro desde 0.25 hasta tres micrometros de longitud de onda. Aproximadamente el 9% se encuentra en la región violeta del espectro y es muy corta e invisible; el 40% corresponde a la energía visible, y el 51% se encuentra en las ondas infrarrojas o largas, que son las que nos producen la sensación de calor (11).

La energía irradiada por un cuerpo aumenta con la temperatura de éste, mientras que la longitud de onda es tanto más pequeña cuanto mayor sea su temperatura. Por ésta razón los cuerpos calientes irradian más calor que los cuerpos fríos y lo hacen -- con rayos cuya longitud de onda es más pequeña (15).

Los especialistas en radiación solar admiten en general que alrededor de 1/3 parte de la energía incidente interceptada por la tierra es devuelta inmediatamente al espacio exterior por toda la superficie de la tierra bajo una forma degradada de energía: la radiación infrarroja, estableciéndose un equilibrio térmico a nivel de todo el globo, como lo muestra la figura 1 ----- (15, 22).

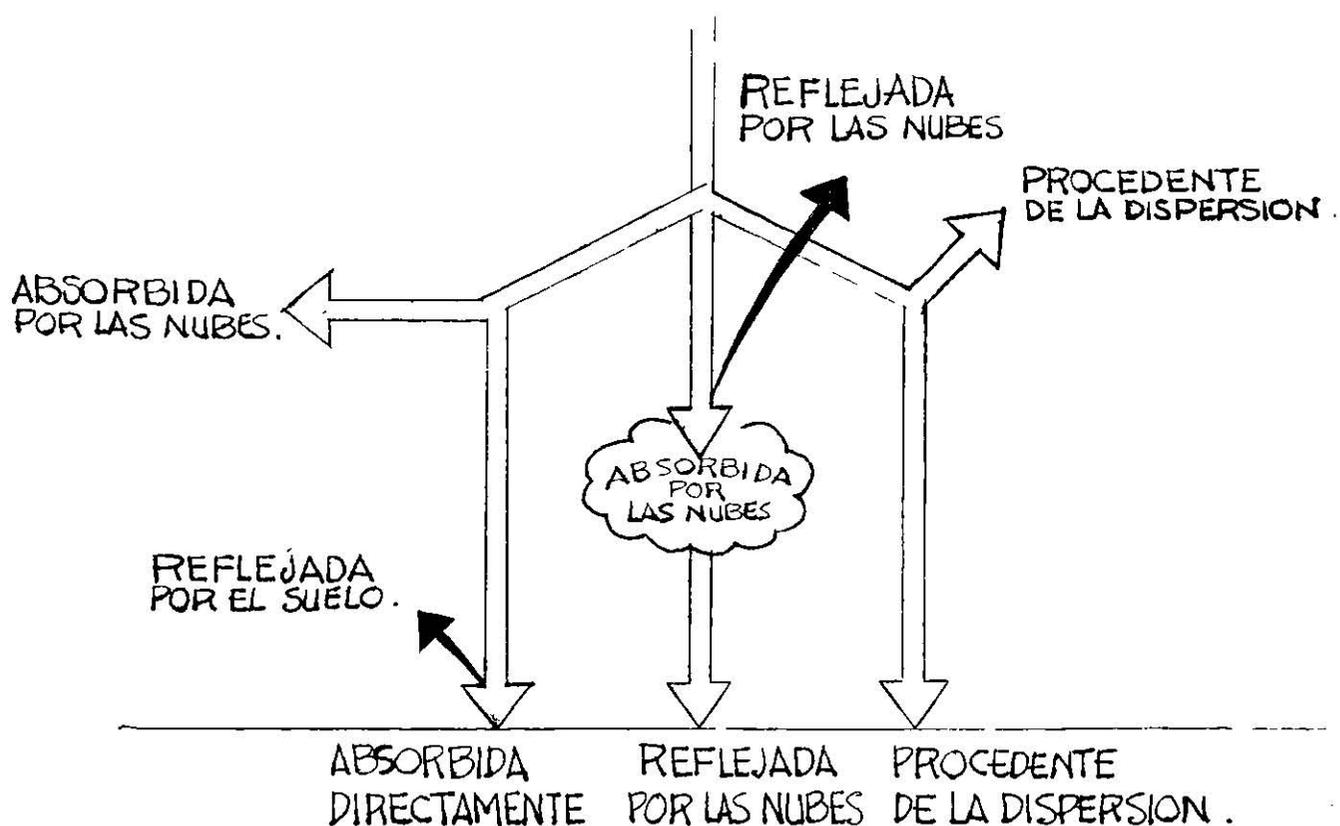


Figura 1. Balance térmico de la radiación solar (15).

El ozono existente en las altas capas de la atmósfera absorbe casi en su totalidad los rayos ultravioleta. El vapor de --- agua de la atmósfera absorbe bastante radiación correspondiente a la banda infrarroja de mayor longitud de onda.

Las nubes interceptan una buena parte de radiación solar y la reflejan al espacio y la otra mitad hacia la tierra. En la superficie terrestre, el hielo y la nieve de los polos, el agua de los océanos y la arena de los desiertos reflejan una parte de la radiación y la devuelven al espacio.

Además de las moléculas de gas (de la atmósfera) existen numerosas partículas en suspensión, tales como polvo, humos, gotas de agua, etc. Los rayos solares que se propagan en línea recta, chocan contra éstas moléculas y partículas, que actúan como verdaderos obstáculos y se desvían en todas las direcciones. Este fenómeno recibe el nombre de dispersión.

Resumiendo, el balance de la radiación solar es el siguiente:

1. Absorbido por la tierra (47%)
 - absorbido directamente,
 - reflejado por las nubes,
 - procedente de dispersión.
2. Absorbido por la atmósfera (18%)
 - absorbido por el ozono,
 - absorbido por el vapor de agua,
 - absorbido por las nubes.

3. Perdido en el espacio (35%)

- reflejado por las nubes,
- reflejado por la tierra,
- procedente de la dispersión.

La radiación que se devuelve al espacio constituye el albedo o blancura de la tierra, que es de 35% de la radiación total. La luna tiene un albedo de 7% de la radiación total, lo que significa que es mucho menos brillante que la tierra (13,15,42).

Algunos de los albedos más comunes se citan a continuación- (42):

<u>Area cubierta</u>	<u>Absorción</u>	<u>Albedo</u>
Vegetación densa	90%	10%
Desiertos	75%	25%
Nieve o hielos	25%	75%
Mares, océanos	60-90%	40-10%

Ya que los rayos solares que llegan desde muy lejos son paralelos entre sí, la tierra es esférica y gran parte del año el eje de la tierra es casi perpendicular a los rayos solares; a medida que aumenta la distancia al ecuador los rayos solares llegan al suelo más inclinados y debilitados. Esto trae como consecuencia que la cantidad de calor recibida por año por centímetro cuadrado del suelo horizontal, disminuye con el aumento de la latitud (12,22).

En el cuadro 1 se reporta la duración astronómica de la insolación (N) promedio mensual, que es una función de la latitud.

CUADRO 1. Duración astronómica de la insolación (N) promedio mensual, en horas y décimas (25).

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.3
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5

La magnitud de la radiación media se emplea comúnmente para definir el clima de una población siendo además un dato de máxima importancia con vistas a la utilización de energía solar (8).

2.1.2. Estimación.

La radiación solar está muy mal definida y el investigador se ve obligado a aceptar que el instrumento que ha utilizado, -- principalmente el heliógrafo, está realmente midiendo este elemento (19).

Muchos instrumentos están disponibles para medir los componentes del balance de radiación y se agrupan de la siguiente manera:

- a) Pirheliómetros: miden la radiación directa que incide en forma normal a una superficie.
- b) Piranómetros: miden la radiación solar (radiación global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre.
Estos también reciben el nombre de solarímetros o actinógrafos.
- c) Heliógrafos: este mide únicamente la duración de la insola--ción (horas de brillo solar). Se tienen de dos categorías: -- Los que aprovechan el calor del sol (intensidad de la radia--ción) y los que aprovechan la longitud de onda más corta.
- d) Pirgeómetros: miden la radiación infrarroja o de onda larga.
- e) Pirradiómetros: miden la radiación solar y la infrarroja des--de un solo hemisferio.

f) Radiómetros netos: estos determinan la radiación neta (balance de energía) (18).

Desafortunadamente, tales instrumentos no son comunes y es necesario usar métodos indirectos (24).

Aunque existen algunas variables las cuales se podran utilizar para la estimación de radiación solar; las más comunes y las más usadas han sido la nubosidad y la insolación (25).

2.1.2.1. Radiación global y duración de la insolación.

Angstrom (1924) propuso la siguiente ecuación:

$$\frac{RG}{RA} = a + b \left(\frac{n}{N} \right)$$

RG = Radiación global (cal/cm²/min. o mm de agua evaporable)

RA = Valores de radiación teórica que recibirá la superficie terrestre en ausencia de atmósfera. Cuadro 2.

n = Número real de horas de insolación.

N = Duración astronómica de la insolación (duración máxima posible de la insolación). Cuadro 1.

a,b = Coeficientes de regresión.

Esta ecuación ha sido utilizada, sin embargo, es necesario conocer los coeficientes de regresión (a y b) (25).

Frere y Popov (1980) a partir de muchas mediciones realizadas en el curso de proyectos FAO, indican que tres conjuntos de coeficientes permiten obtener buenos resultados en las diversas zonas del mundo.

CUADRO 2. Radiación solar (Ra) sobre una superficie horizontal, en el límite de la atmósfera, expresada como mm de agua evaporable, con una constante solar=2.00 cal. - cm², min.-1 (26).

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40°	6.14	8.56	11.40	14.32	16.36	17.29	16.70	15.17	12.54	9.58	7.03	5.68
38°	6.91	8.98	11.75	14.50	16.39	17.22	16.72	15.27	12.81	9.98	7.52	6.10
36°	7.38	9.39	12.10	14.67	16.43	17.16	16.73	15.37	13.08	10.59	8.00	6.62
34°	7.85	9.82	12.44	14.84	16.46	17.09	16.75	15.48	13.35	10.79	8.50	7.18
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.02	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	7.76
30°	8.81	10.68	13.14	15.27	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59	16.47	15.78	14.45	12.64	10.71	9.73
22°	10.70	11.30	14.16	15.51	16.32	16.47	16.37	15.81	14.64	12.98	11.11	10.20
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.72
16°	12.00	13.32	14.69	15.64	15.99	15.92	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02
12°	12.82	13.93	15.08	15.66	15.67	15.48	15.53	15.58	15.24	14.38	13.25	12.47
10°	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88
8°	13.58	14.50	15.34	15.59	15.29	14.99	15.09	15.39	15.34	14.81	13.86	13.27
6°	13.94	14.76	15.42	15.42	15.07	14.71	14.85	15.23	15.34	14.96	14.17	13.66
4°	14.30	15.01	15.50	15.50	14.85	14.44	14.59	15.07	15.34	15.11	14.48	14.05
2°	14.65	15.26	15.59	15.34	14.63	14.17	14.33	14.91	15.34	15.27	14.79	14.44
0°	15.00	15.51	15.68	15.26	14.41	13.90	14.07	14.75	15.34	15.42	15.09	14.83
17°	11.8	13.17	14.645	15.63	16.05	16.03	16.0	15.755	14.99	13.715	12.225	11.645

Estos conjuntos de coeficientes son:

<u>a</u>	<u>b</u>	
0.18	0.55	para zonas frías o templadas
0.25	0.45	para zonas tropicales secas
0.29	0.42	para zonas tropicales húmedas (25,26).

2.1.2.2. Radiación solar a partir de la humedad.

En algunos países se utiliza codificar la nubosidad en octavos o en décimos. En México solo se toma en cuenta tres categorías (nublado cerrado, medio nublado y despejado). Para transformar estas categorías a octavos o décimos se ha propuesto lo siguiente:

	Codificación en octavos	Codificación en décimos
Días nublados/cerrados	7	9
Días medio nublados	3	5
Días despejados	1	1

De esta manera tenemos dos ecuaciones para obtener la nubosidad = (C).

a) Para octavos:

$$C = \frac{(\text{días despejados} \times 1) + (\text{días medio nublado} \times 3) + (\text{días nublado/cerrado} \times 7)}{\text{número total de días}}$$

b) Para décimos:

$$C = \frac{(\text{días despejados} \times 1) + (\text{días medio nublado} \times 5) + (\text{días nublado/cerrado} \times 9)}{\text{número total de días}}$$

Una vez obtenido el valor de C, éste deberá ser expresado a su equivalente n/N que se presenta en el Cuadro 3.

CUADRO 3. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N (Doorenbos y Pruitt, 1977) (25).

Nubosidad (octavos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
equivalencia n/N	.95	.85	.75	.65	.55	.45	.30	.15	---		
Nubosidad(décimos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
equivalencia n/N	.95	.85	.8	.75	.65	.55	.5	.4	.3	.15	---

Para los días donde no se dispone de registros de insolación la radiación solar puede ser estimada por la nubosidad (25).

2.1.3. Radiación solar en México.

En México, como en muchos países subdesarrollados no existen suficientes estaciones agrometeorológicas en las cuales la radiación solar se mide directamente, de tal manera que se tiene que recurrir a la estimación de este parámetro a partir de otras variables (26).

En nuestro país se cuenta con 55 observatorios meteorológicos y alrededor de 4000 estaciones meteorológicas, (730 son estaciones normales climatológicas, hasta 1976). De los observatorios solo 40 registran horas de insolación (25).

La diferencia entre observatorios y estaciones meteorológicas es solo en la cantidad de datos tomados, siendo más en los primeros ya que cuentan con mayor cantidad de aparatos de fabricación actualizada.

2.2. Temperatura

La temperatura es considerada como la esencia del clima. Por la facilidad de obtener datos de este factor en la mayoría de las estaciones climáticas, es tal vez el elemento que más ha sido estudiado y que mejor se conocen sus relaciones con el desarrollo de las plantas.

La mayoría de los procesos fisiológicos que se realizan para el crecimiento y desarrollo de las plantas están fuertemente influenciados por la temperatura.

De manera general, la temperatura influye principalmente controlando la proporción de reacciones químicas involucradas en varios procesos de crecimiento dentro de la planta.

A pesar de esto, la temperatura no puede ser muy importante como factor de predicción de rendimiento, pero sí para establecer la distribución y adaptación de las plantas.

Las temperaturas se pueden medir con:

- a) Termómetros: son satisfactorios para la determinación de la temperatura del aire.
- b) Termopares (termocuples) y termisores: se basan en medidas de potencial y resistencia eléctrica respectivamente. Son muy útiles para la determinación de temperaturas en espacios limitados.
- c) Termógrafos: registran las variaciones de temperatura en un tambor giratorio y son muy útiles cuando se necesitan registros térmicos continuos.

d) Termómetros de máxima y mínima: son muy útiles para la determinación de temperaturas extremas y es muy indispensable que formen parte de una estación climatológica ordinaria.

La distribución geográfica de la temperatura del aire es de gran importancia ecológica y está influenciada por la latitud, altitud, proximidad de grandes masas de agua y dirección de los vientos.

La fluctuación anual de las temperaturas medias varían en primer lugar con la latitud. En la proximidad del ecuador la fluctuación de la temperatura media diaria del invierno al verano puede ser menor a la diurna normal (25).

2.2.1. Efectos de altitud.

La temperatura disminuye cuando aumenta la altura, esto se le conoce como gradiente altotérmico (23,45) y se debe principalmente a tres causas:

- a) El aire absorbe muy poco la energía solar;
- b) La temperatura del aire aumenta o disminuye por su contacto con el suelo;
- c) El aire tiene menor presión a medida que aumenta la altura.

A pesar de ello, esta disminución no es constante para un lugar determinado ya que es mayor poco después de mediodía y en verano (12).

Puesto que la temperatura varía con la elevación, los cambios de altitud son equiparables a los de latitud (22,45).

Generalmente se distinguen dos tipos de gradientes altotérmicos, el libre y el relieve.

El primero varía de 0.5 a $0.55^{\circ}\text{C}/100$ m, es decir que por cada 100 m de elevación en el aire la temperatura media disminuye 0.5°C ; mientras que el gradiente altotérmico en relieve varía de 0.6 a $0.65^{\circ}\text{C}/100$ m.

Davis (1948), citado por Wilsie (1966), ejemplifica al gradiente térmico con Quito, Ecuador, situado a una altitud de 3850 m, que a pesar de encontrarse solamente a 19 km del Ecuador, su temperatura media es de 12.8°C . Por el contrario en Belém, Brasil a una latitud similar pero a una elevación de 10 m, la temperatura media es de 30°C .

Si la tierra fuera completamente plana la temperatura estaría gobernada solamente por la latitud, pero como el gradiente altotérmico también influye es por eso que encontramos las mismas especies vegetales en diferentes lugares y también hay lugares que tienen la misma temperatura a pesar de ubicarse en diferentes latitudes y alturas (25), tal como lo muestra la figura 2.

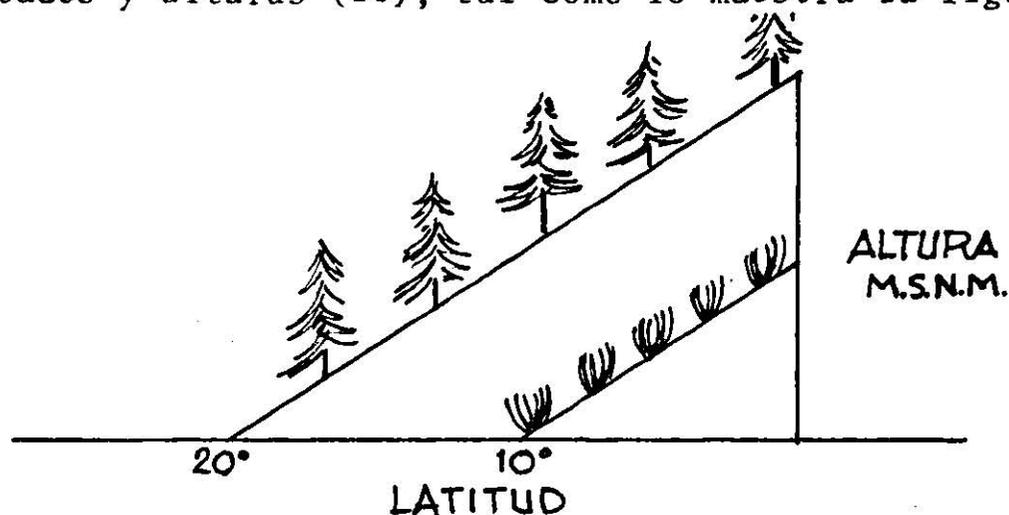


FIGURA 2. Relación latitud-altura con respecto a la temperatura (25).

La altitud produce una verdadera zonificación de temperatura, muy importante para la distribución de especies vegetales naturales, así como la posibilidad de producir cosechas. Danserau (1957), Braun-Blanquet (1932) y Raunkiaer (1934) indicaron que el aumento de altitud produce una fuerte reducción del número de especies (45).

2.2.2. Relación temperatura-cultivos.

2.2.2.1. La temperatura y la adaptabilidad de los cultivos.

Todos los procesos fisiológicos y funciones de las plantas se llevan a cabo dentro de ciertos límites de temperatura relativamente estrechos. En general, la vida de las plantas superiores se localiza entre 0°C y 50°C (19). La producción de los cultivos ocurre cuando las temperaturas medias durante el período de desarrollo varían entre 10°C y 41°C (25). Los procesos fisiológicos que se efectúan dentro de una planta, tales como fotosíntesis, respiración y crecimiento responden con frecuencia en forma diferente a la temperatura (13,40).

Cada especie vegetal tiene ciertas temperaturas críticas, algunas veces llamadas temperaturas cardinales; las cuales generalmente incluyen la máxima (temperatura más alta a la cual la planta crece), óptima (temperatura a la cual el crecimiento y desarrollo son más grandes) y la mínima (temperatura más baja a la cual la planta aún puede crecer) (13,25).

Las temperaturas críticas varían notablemente para los dife

rentes cultivos y para las distintas etapas de crecimiento (9).

Además de las temperaturas cardinales existen las temperaturas letales que son las que provocan la muerte al cultivo y son más extremas que los valores máximos y mínimos.

Más^{son} (1936), señala que los límites extremos son más efectivos que los medios en la distribución de las plantas (45).

Una de las dificultades en la determinación del óptimo intervalo de temperaturas para un cultivo dado es que cada etapa de desarrollo frecuentemente tiene sus requerimientos propios de temperatura que son únicos.

La temperatura óptima para germinación de la semilla es por lo regular más bajo que para el desarrollo vegetativo, cuyo valor es diferente al de la floración y fructificación. Así, la planta, puede tener dos o tres conjuntos de intervalos críticos de temperatura en el transcurso de su vida.

También en algunas especies las temperaturas de las noches son más importantes que los valores diurnos, al menos durante ciertas etapas de desarrollo como la fructificación del tomate (ver cuadro 4) (25), y la característica quebradiza de las hojas de la lechuga.

Grafe (1914) confeccionó una tabla de los puntos cardinales de temperatura para germinación de semillas de plantas cultivadas (basada en los datos reunidos por F. Heberlandt) (cuadro 5) (45).

CUADRO 4. Temperaturas cardinales de cultivos comunes (°C) (Rahn, 1939] (25).

Cultivo	Mínima	Optima	Máxima
Granos de estaciones frías	0 - 4	24 - 29	32 - 38
Maíz	10	29 - 35	43 - 46
Pepino	9' - 10	24 - 27	34 - 41
Melón	15 - 18	30 - 37	43 - 48
Guisante	3 - 6	10 - 16	21 - 28
Papa (Tubérculos)	6 - 7	10 - 16	27 - 32
Tomate	10 - 13	16 - 27	29 - 35
(Temperatura nocturna para la formación de frutos)	13 - 14	15 - 20	22

CUADRO 5. Temperaturas fundamentales par la germinación de las semillas de ciertas plantas cultivadas* (45).

Planta	Temperatura en grados centígrados		Días requeridos para la germinación a las temperaturas indicadas				
	Mínimas	Óptimas	Máximas	4'4°	12'2°	15'5°	18'9°
Trébol rojo	1'1	80'0	37'2	7'5	3'0	1'75	1'0
Alfalfa	1'1	30'0	37'2	6'0	3'75	2'75	2'0
Cáñamo	1'1-2'2	35'0	45'0	3'0	2'0	1'0	1'0
Guisante	1'1-2'2	30'0	35'0	5'0	3'0	1'75	1'75
Centeno	1'1-2'2	25'0	30'0	4'0	2'5	1'0	1'0
Algarrobo	1'1-2'2	30'0	35'0	6'0	5'0	2'0	2'0
Lino	1'7-2'8	25'0	30'0	8'0	4'5	2'0	2'0
Fleó de los prados	2'8-3'9	26'1	30'0	---	6'5	3'25	3'0
Trigo	3'9-4'4	25'0	30'0-32'2	6'0	3'0	2'0	1'75
Cebada	3'9-4'4	20'0	27'8-30'0	6'0	3'0	2'0	1'75
Avena	3'9-5'0	25'0	30'0	7'0	3'75	2'75	2'0
Zanahoria	3'9-5'0	25'0	30'0	---	6'75	4'25	3'25
Remolacha azucarera	3'9-5'0	25'0	27'8-80'0	22'0	9'0	3'75	3'75
Lenteja	3'9-5'0	30'0	36'1	6'0	4'0	2'0	1'75
Maíz	7'8-10'0	31'7-35'0	40'0-13'9	---	11'25	8'25	3'0
Sorgo	7'8-10'0	31'7-35'0	40'0	---	11'25	4'75	4'0
Arroz	10'0-11'7	30'0-32'2	36'1-38'1	---	---	---	---
Tabaco	12'8-13'9	27'7	35'0	---	---	9'0	6'25
Calabaza	12'2	31'7-33'9	40'0	---	---	10'75	4'0
Melón	12'2-13'0	35'5	40'0	---	---	15'0	17'0

* Adaptado de los datos representados por F. Haberlandt en Grafe Ernährungsphysiologisches Practicum höherer Pflazen Berlin, Paul Parey, 1914.

La FAO (1978) realizó una clasificación de cultivos basándose en la diferencia entre las especies en su forma de fotosíntesis y su respuesta de la misma a la temperatura y la radiación. Es decir, realizó la división en plantas C_3 y C_4 . En general -- las plantas C_3 requieren de temperaturas e intensidades de luz moderadas para su desarrollo óptimo, mientras que las plantas C_4 requieren de temperaturas e intensidades luminosas más altas. La eficiencia del uso del agua es mayor en las plantas C_4 que en -- las plantas C_3 .

También subdividió las plantas C_3 en dos grupos (I y II) y las C_4 en otros dos grupos (III y IV). Los requerimientos de -- temperatura y radiación solar para estos grupos se presentan en la Tabla 1. También al fondo de ésta tabla se presentan algunos de los cultivos más importantes (25,26).

La oscilación térmica mensual (diferencia entre temperatura máxima mensual y temperatura mínima mensual) afecta también la -- fenología y fisiología de los cultivos.

Si dicha oscilación es pequeña, indica que existe poca va-- rriación entre las temperaturas del día y la noche acelerando el desarrollo de los cultivos e incrementando las pérdidas por foto-- respiración. Por otra parte, largas oscilaciones térmicas pue-- den resultar en desórdenes fisiológicos para cultivos que no to-- leran frío. De acuerdo con Tai (1977), en plátano, temperaturas de 12°C causan la coagulación del latex en los frutos. La pre-- sencia prolongada de temperaturas bajas causan también anorma-- lías en el desarrollo del fruto y la planta en este cultivo (23).

TABLA 1. Tasa de fotosíntesis, temperatura óptima, radiación óptima, tasa de crecimiento, eficiencia en el uso del agua de cuatro grupos de cultivos (FAO, 1978) (25,26).

	Grupos de cultivos			
	I	II	III	IV
Tipo de fotosíntesis	C ₃	C ₃	C ₄	C ₄
Tasa de fotosíntesis a sat. de luz y temp. óptima (mg CO ₂ /dm ² /h)	20-30	40-50	70-100	70-100
Temperatura óptima (°C) para fotosíntesis máxima.	15-20	25-30	30-35	20-30
Intensidad de radiación solar para fotosíntesis máxima (cal/cm ² /min.)	0.2-0.6	0.3-0.8	1.0	1.0
Tasa máxima de crecimiento (g/m ² /día)	20-30	30-40	30-60	40-60
Eficiencia en el uso del agua (g agua/g)	400-800	300-700	150-300	150-350
Régimen de temperatura media en 24 horas durante el período de crecimiento	< 20	> 20	> 20	< 20
	Trigo	Frijol*	Sorgo*	Sorgo
	Frijol	Soya	Maíz*	Maíz
	Papa	Arroz	Caña	Mijo
Cultivos importantes:	Café	Algodón	Mijo*	Pastos
	Garbanzo	Naranja	Pastos*	
	Girasol	Limón		
		Camote		
		Yuca		

*Adaptados a zonas tropicales bajas.

2.2.2.2. Índice auxégeno e índice tanatoclimático.

El índice de auxégeno es el valor de temperatura que propicia el desarrollo vegetal, y el índice tanatoclimático es el que causa la muerte al cultivo.

Una forma para investigar el índice auxégeno es relacionando la temperatura y el comportamiento del cultivo (fenología). Entre mayor información y detalle se tenga de esta relación más precisos son los resultados.

La FAO (1978) considera al valor de 6.5°C como el índice de auxégeno para los cuatro grupos de cultivos anteriormente citados.

Respecto al índice tanatoclimático, la información más importante es la fecha de heladas, sobre todo la primera y la última ya que a partir de ellas podremos obtener el período libre de heladas y de acuerdo a la disponibilidad de agua se establece el período de crecimiento para algún cultivo de interés.

Es importante conocer la discordancia entre un índice auxégeno y un tanatoclimático para caracterizar un período de crecimiento, y graficarlo en el espacio a través de isolíneas; con ambos índices es posible establecer la zona de desarrollo de los cultivos (25).

2.2.2.3. Horas frío.

Una condición fisiológica que permite a los árboles caducifolios suspender el crecimiento en invierno aún cuando las condiciones de temperatura y el suelo sean favorables es el estado de

reposo y puede ser interrumpido por bajas temperaturas (14,23). La acumulación de horas frío favorece los cambios fisiológicos - responsables de la floración y fructificación normal del cultivo y su efecto positivo depende de los siguientes factores:

- a) Mínima imbibición del agua,
- b) Aireación,
- c) Rango óptimo de frío (de 1 a 7°C); el efecto desaparece abajo de -6°C y arriba de 12°C.

Generalmente en la determinación de la cantidad de horas -- frío lo que se hace es contar en el termograma las horas en las que la temperatura ambiente fué de 7°C ó menos.

En el caso de que se presenten problemas en la falta de acumulación de frío, esta se puede contrarestar empleando técnicas culturales o químicas que permitan un crecimiento y cosecha adecuada.

Para lograr una mejor adaptación y productividad de las especies frutales que se deseen cultivar, es necesario introducir las y evaluarlas metódicamente, así como investigar más sobre el fenómeno de reposo (26).

2.2.2.4. Constantes térmicas.

La "constante térmica" para un determinado cultivo, es la - cantidad determinada de unidades calor desde la emergencia hasta la madurez fisiológica (40), cuando los demás factores climáti--cos y edáficos se presentan en condiciones óptimas. Las constantates térmicas más comúnmente utilizadas son las siguientes:

2.2.2.4.1. Método directo.

En este método se suman las temperaturas diarias desde la siembra hasta la madurez de un cultivo, cuando la temperatura de un día es menor a 0°C no se considera dentro del cálculo.

$$CT_{md} = \sum_{i=1}^n t_i \quad (25)$$

donde:

CT = constante térmica

t = temperatura diaria > 0°C

i = 1, 2, 3, ..., n

Estos valores nos ayudan a explicarnos porqué en diferentes áreas tenemos diferente duración de períodos de crecimiento.

Estas constantes tienen un valor a nivel regional, porque la velocidad de crecimiento puede variar a una misma temperatura diaria (25). Ver cuadro 6.

CUADRO 6. Valores de la constante térmica por el método directo para algunas gramíneas (25).

Cultivo	C.T. método directo
Cebada	1700°C
Trigo	2000°C
Mafz	2500°C

2.2.2.4.2. Método residual.

Este método es similar al anterior con la diferencia de que a la temperatura media diaria se le resta una constante llamado-cero biológico que varía para diferentes cultivos; generalmente se considera como 4.5°C.

$$CT_{mr} = \sum_{i=1}^n (t_i - C) \quad (25)$$

donde:

CT_{mr} = constante térmica

$\sum_{i=1}^n$ = sumatoria de residuales

t = temperatura media diaria

C = cero biológico

2.2.2.4.3. Método exponencial.

Este método se basa en la ley de Van't Hoff, o del O_{10} , que indica que la velocidad de reacción de un organismo se duplica - por cada 10°C de aumento de temperatura. A su vez, el valor de-temperatura se considera como en el método residual.

$$CT_{me} = \sum_{i=1}^n 2 \left(\frac{t_i - 4.5}{10} \right) \quad (25)$$

donde:

CT_{me} = constante térmica método exponencial

t_i = temperatura media diaria

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Estos datos se han empleado para caracterizar diferencias a nivel de variedad dentro de la misma especie.

2.2.2.4.4. Índice de Geslin (Heliotérmico).

Es un índice bioclimático, es decir que para su cálculo se involucran 2 ó más variables. Se basa en la temperatura y en la duración media del día (\bar{d}) por fases de desarrollo del cultivo.

$$IG = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \times \bar{d}}{100} \quad (25)$$

donde:

IG = Índice de Geslin

t_i = temperatura media diaria

\bar{d} = duración media diaria

$i = 1, 2, 3, \dots, n$

Ya que la duración del día depende de la latitud y la temperatura es una función de la altura, por medio del índice de Geslin es posible con un mapa topográfico elaborar mapas de isófanas, es decir, unir puntos con un mismo valor para una fase de una variedad de un cultivo (25).

2.2.3. Estimación de la temperatura.

El problema de estimación surge en un área con pocas estaciones meteorológicas y deseamos conocer un dato en cualquier punto.

En relación a temperatura, se conocen tres métodos de estimación: el análisis estándar, método simple y gradiente mediano.

2.2.3.1. Análisis estandar.

Este método de estimación requiere de personas muy expertas

y conocimientos de la circulación general de los vientos, lo cual es muy subjetivo y no está a nuestro alcance.

2.2.3.2. Método simple o empírico.

La temperatura se obtiene a partir de la altura; el procedimiento que se sigue consiste en obtener la ecuación de regresión simple entre estas dos variables, que geométricamente es la ecuación de una línea recta, es decir:

$$T = b_0 + b_1 h$$

donde:

T = Temperatura

b_0 = temperatura a nivel del mar

h = altura ~~msnm~~,

b_1 = gradiente altotérmico geográfico.

Estadísticamente:

$$b_1 = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \cdot \sum y}{n}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}} \quad \text{y} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

Por lo tanto para nuestros fines:

$$\frac{\sum hT - \frac{\sum h \cdot \sum T}{n}}{\sum h^2 - \frac{(\sum h)^2}{n}}$$

$$\text{y } b_0 = T - b_1 \bar{h} ; \bar{T} = \frac{\sum T}{n} \quad \text{y} \quad \bar{h} = \frac{\sum h}{n} \quad (25)$$

Si la ecuación se adecuía podemos, con la ayuda de un mapa topográfico, conocer la temperatura de cualquier punto ya que -- las isohipsas (puntos de igual altura) las convertimos en isotérmas (puntos de igual temperaturas).

Para saber si la ecuación se adecuá se consideran satisfactorios los siguientes valores:

Coefficiente de determinación (R^2) > 0.75

Probabiñidad de $F \leq 0.05$ y

Error absoluto, el cuál se calcula como:

$$/e/ = / \frac{\text{observado} - \text{calculado}}{\text{observado}} / \times 100$$

En algunos trabajos, en otros como:

$$/e/ = \frac{\sum d_i^2}{n-1} \quad (25)$$

Donde d_i es la diferencia entre el valor observado y calculado, su utilidad es mayor cuando se emplea este dato para comparar métodos.

Este método es aplicable en las estimaciones de temperaturas medias, máximas y mínimas, tanto en forma mensual, como ---- anual para períodos de desarrollo de cultivos (25).

2.2.3.3. Método del gradiente mediano o de las cruces.

Este método ha demostrado ser efectivo en regiones montañosas. Las técnicas involucran los siguientes pasos:

1. Cálculo del gradiente vertical mediano, de temperatura;
2. Triangulación termométrica de la región bajo estudio.
3. Trazado de isotérmas rectilíneas reducidas a nivel del mar.

4. Cálculo de las temperaturas reales de las localidades caren-- tes de observaciones termométricas.

1. Cálculo del gradiente vertical medio.

Conocidos los valores de temperatura de las estaciones se efectúan todas las combinaciones posibles, tomando de 2 en 2 y en cada una se calcula el gradiente altotérmico con la fórmula $(\Delta T / \Delta h) \cdot 100$. Siempre se escoje como primer valor a la estación de mayor altura. Por ejemplo:

<u>Estación</u>	<u>h(m)</u>	<u>T(°C)</u>	<u>Combinación $\Delta T / \Delta h$</u>
A			AB
B			AC
C			BC

El gradiente que nos interesa es el mediano, es decir la mediana de la serie de datos ordenadas de mayor a menor. Con este valor podríamos generar la ecuación $T = T_0 + b_1 h$.

Donde:

T = temperatura

T_0 = temperatura a nivel del mar

b_1 = gradiente mediano en metros (grad.med./100)

h = altura.

El problema de la ecuación anterior es encontrar T_0 para lo cual es necesario realizar los siguientes pasos del método.

2. Triangulación termométrica.

Primero se ubican las estaciones en un mapa a escala, posteriormente se unen los puntos extremos formando un polígono y por último se divide el polígono en triángulos de tal forma que los lados queden lo más equilátero posible.

3. Trazado de isotermas reducidas a nivel del mar.

Para cada estación ubicada en el mapa se calcula la temperatura reducida al nivel del mar por medio de la suma de la temperatura real aumentada con el producto del gradiente mediano por la altura.

Sobre los lados de los triángulos y a partir de los valores de los vértices se efectúa una interpolación, marcando los puntos que corresponden a grados, enteros y medios grados.

4. Cálculo de las temperaturas reales de localidades carentes de observaciones.

Para obtener la temperatura real de una localidad, primero ubicamos la localidad de interés sobre el mapa de isotermas rectilíneas y mediante un proceso de interpolación determinamos su temperatura a nivel del mar (T_0) y aplicamos la fórmula generada en el paso 1: $T = T_0 + b_1 h$ y determinamos la temperatura del lugar de interés. Note que para cada lugar de interés es necesario conocer su temperatura.

García, et. al. (1978), indican que para la aplicación de este método uno debe trabajar con regiones homogéneas climáticamente, es decir, lo más probable para una zona grande es que se-

comienza por regionalizar antes de aplicar este procedimiento.

También se mencionan que la variación de cálculos es menor cuando se trabaja con temperaturas medias anuales, que con mensuales y es mayor con temperaturas máximas y mínimas.

García (1979) propone que para lograr una homogeneidad climática puede seguirse la clasificación de Holdrige (1967) referente a la formación de vegetales del mundo (cuadro 7)

CUADRO 7. Clasificación de Holdrige para las formaciones vegetales (García Benavides, 1979) (25).

Formación vegetal	Precipitación (mm)	Temperatura (°C)
Bosque seco tropical	1000-2000	24°
Bosque húmedo premontano	1000-2000	24°-17°
Bosque húmedo montano bajo	1000-2000	17°-12°
Bosque muy seco tropical	500-1000	24°
Bosque seco premontano	500-1000	24°-17°
Bosque seco montano bajo	500-1000	17°-12°
Bosque húmedo montano	500-1000	12°-6°
Monte espinoso tropical	250-500	24°
Estepa espinosa montano bajo	250-500	17°-12°
Maleza desértica	125-250	cualquiera
Desierto	125	cualquiera

Así para cualquier conjunto de estaciones primero se formarían grupos tomando como criterio a la clasificación anterior y después para cada grupo se estimarían modelos para distintas variables.

Una consideración final sobre la estimación de la temperatura, es que en ocasiones se conoce el dato de temperatura para la adaptabilidad de un cultivo. En estos casos podemos proceder a la inversa.

Por ejemplo, tomamos las temperaturas medias en las cuales se adapta un cultivo (pueden ser máximas, mínimas o períodos de crecimiento específicos); de la ecuación $T = T_0 + b_1 h$ se despeja la altura para ambas temperaturas promedio y redondeando los valores podemos concluir bajo que rangos de altura el cultivo se adapta. Con esta información y con un mapa topográfico puede elaborarse un mapa.

Sin embargo, lo más común es que tengamos que recurrir a dos o a veces a más ecuaciones como $T_{max} = f(h)$, $T_{min} = f(h)$.

Es decir referir la adaptación de un cultivo a temperaturas máximas y mínimas o alguna de las anteriores con la media. Por ejemplo, el cacao requiere temperaturas medias anuales entre 24 y 27°C y una temperatura media para el mes más frío no menor de 15.5°C.

Otra variable también importante que se asocia con la altura es el número de días con heladas, es decir:

$$D.H. = f(h)$$

Pudiéndose estimar en forma mensual, para establecer un período libre de heladas.

Todas las variables que se asocian con la altura pueden convertirse en mapas de esas variables a través del uso de cartas topográficas (25).

2.3. Precipitación

La precipitación es un hidrometeoro que se origina en las nubes y alcanza la superficie terrestre al pasar por la atmósfera (23). La cantidad de lluvia se expresa como la altura de una capa de agua que se forma sobre un suelo completamente horizontal e impermeable, suponiendo que sobre dicha capa no se produce ninguna evaporación (17,25).

La mayor parte de las actividades del hombre dependen en gran medida de este fenómeno. La cantidad de lluvia acumulada en cierto período influye en la erosión, enfermedades, calendarios de riego y en concreto los sistemas de producción agropecuarios (23,27).

La lluvia se mide con pluviómetros y pluviógrafos y su cantidad varía en el espacio y en el tiempo (25).

2.3.1. Distribución de las lluvias.

Sobre toda la superficie de la tierra cae una media de 1000 mm anuales, pero su distribución es muy irregular (4). Los extremos absolutos de las cantidades de lluvia sobre nuestro plane

ta son:

0.6 mm en Africa (Chile) y

12990.4 mm en el Monte Waialeale (Hawaii).

Sin embargo esta aparente complejidad desaparece cuando se analizan los 4 factores siguientes:

1. Latitud
2. Dirección de los vientos dominantes
3. Distancia al mar y
- r. Relieve del suelo (25).

Trewartha (1954) definió tres factores primarios que afectan la distribución de la precipitación:

- 1) Las grandes zonas latitudinales de convergencia y divergencia horizontal atmosférica;
- 2) La distribución de la tierra y
- 3) Las montañas (45).

Por ejemplo la dirección de los vientos dominantes es como sigue:

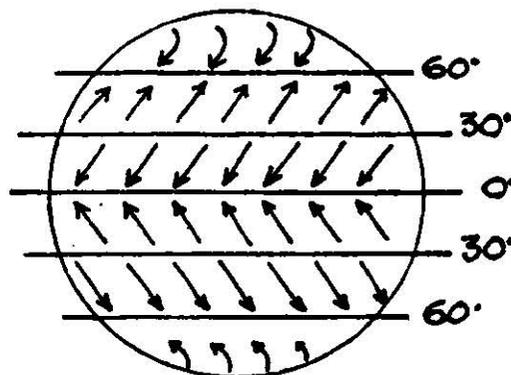


FIGURA 3. Dirección de los vientos dominantes (3,16,25,45).

En el Ecuador existe una serie de choques de los vientos dominantes, lo que genera una zona de baja presión alrededor de él, ayudando al ascenso de vapor de agua que provoca una alta nubosidad y precipitación.

Una condición similar ocurre a los 60° de latitud; pero a los 30° existe lo contrario, la circulación no es hacia abajo, impidiendo la formación de nubes y por lo tanto de precipitación. Esta zona es considerada de alta presión y es donde se ubican la mayoría de los desiertos.

La distancia al mar, influye debido a que la mayor parte de las aguas de lluvia procede de los mares donde los vientos marinos van descargando humedad a medida que se interan en los continentes.

El relieve influye en la precipitación debido a que al chocar los vientos dominantes sobre una cadena montañosa, éstos se elevan provocando con ello que se disminuya su temperatura, se formen nubes y ocurra lluvia (16,25).

La distribución de la lluvia durante el año es un elemento de fundamental importancia para apreciar correctamente el valor agronómico de las precipitaciones. La lluvia que cae durante la época vegetativa es más importante que en el período de reposo (4,27,38).

Las lluvias en México estan dadas por diversas causas, entre las más importantes destacan:

- 1) Precipitaciones convectivas: son el resultado del enfriamiento del aire.

- 2) Precipitaciones ciclónicas: son originadas por la presencia - de ciclones tropicales y extratropicales.
- 3) Precipitaciones frontales o nortes: son resultado de la masa- de aire continental y marítimo polar.

El régimen de lluvia o períodos húmedos ocurre en verano y a principios de otoño en casi toda la República, con la excep- - ción de una parte norte de la Península de Baja California cuya etapa lluviosa se concentra en invierno (20,27).

En nuestro País, la mayoría de las estaciones meteorológi- cas tienen pluviómetros, pero no cuentan con pluviógrafo; es decir, conocemos cantidad y distribución de la lluvia y desconocemos su intensidad (mm/hr.).

Otra característica que desconocemos es la velocidad de caí da de las gotas de lluvia y su diámetro. De tal forma que estamos restringidos en el uso de metodologías sofisticadas que invo lucren este tipo de datos, lo que nos obliga a adoptar aquellas que tomen en cuenta exclusivamente cantidad y distribución (25,- 38).

2.3.2. Evaluación de los datos de precipitación.

Cuando se cuenta con datos de precipitación de una serie de años, es importante conocer la relación año seco al año húmedo y el coeficiente de variación de la precipitación.

La relación del año seco al año húmedo se calcula de la siguiente forma:

$$\frac{\text{Precipitación del año más seco}}{\text{Precipitación del año más húmedo}} = \frac{1}{X}$$

La relación será 1:X; y es mayor con lluvias escasas. Este sería un dato interesante en la caracterización de temporal.

El coeficiente de variación (c.v.) sería una medida porcentual de cuanto se alejan los valores de la precipitación promedio.

$$C.V. = \frac{\text{desviación estandar}}{\text{Media}} \times 100 = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (25)$$

2.3.3. La precipitación y la erosión hídrica.

Los datos de precipitación pueden emplearse en el cálculo de pérdidas del suelo por erosión hídrica (25).

Si toda la precipitación que cae en el año fuera distribuida uniformemente a través del mismo, el riesgo de erosión hídrica fuera mínimo, pero como no es así, al caer abundante precipitación en un período de tiempo corto el suelo tiende a saturarse provocando el escurrimiento y por consecuencia la erosión del suelo en laderas cultivadas (19,37).

La erosión hídrica está en función de la erosividad que es la capacidad potencial de la lluvia para causar erosión y de la erodabilidad que es la susceptibilidad de un suelo a erosionarse (25,37).

La erosividad está en función de las características físicas como:

- 1) La cantidad de lluvia
- 2) La intensidad de la lluvia
- 3) La velocidad de las gotas
- 4) El tamaño de las gotas
- 5) La distribución del tamaño de las gotas (41).

Wischmeier (1972) generó la ecuación mejor conocida como la ecuación universal de pérdidas del suelo.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A = erosión hídrica

R = factor de erosividad, basado en intensidad de lluvia

K = erodabilidad del suelo, basados en datos de materia orgánica, permeabilidad, estructura y textura.

LS = factor por pendiente

C = factor del cultivo

P = factor por prácticas de conservación de suelos.

Como el escurrimiento es una función de la precipitación, es necesario conocer su intensidad, duración y frecuencia, o también la lluvia máxima en 24 horas, para determinar los escurrimientos máximos superficiales (10).

Al estar basada la ecuación en la intensidad de la lluvia provoca que su aplicación sea muy restringida en nuestro medio, resultando, por lo tanto, la necesidad de buscar otras metodologías más acordes (25).

2.3.3.1. Índice de Fournier.

Ante la escasez de datos a nivel mundial, Fournier (1960), estableció por cuencas fluviales una nueva variable, la Degradación Específica (DS) en $\text{ton}/\text{km}^2/\text{año}$, la cual se refiere a la cantidad de sedimentos que salen anualmente de una cuenca (25).

El índice de Fournier se define como la relación entre el cuadrado de la precipitación máxima (diaria, mensual, anual), expresada en mm, ocurrida en un período dado y la precipitación total del mismo.

$$F = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

F = índice de Fournier

p^2 = precipitación máxima en un período dado (mm)

P = precipitación total (mm).

El índice de Fournier ha sido utilizado para caracterizar la agresividad de la lluvia (A) en el sistema de índices de uso y manejo de suelos de laderas (IUM) en las regiones cafetaleras de Colombia (Gómez, 1975).

En estos casos cuando se tiene información de 10 años, la agresividad de la lluvia es obtenida:

$$A = \frac{F}{100} \quad (2)$$

Donde:

A = agresividad de la lluvia (adimensional)

F = índice pluvial de Fournier (adimensional)

Y cuando se cuenta con información de menos de 10 años

$$A = \frac{F}{70} \quad (2)$$

Este índice se basa en la relación precipitación máxima de un período entre la precipitación total del mismo, y es analizado en forma mensual, sin embargo se observan variaciones grandes ya que precipitaciones bajas de los meses secos tienen valores de agresividad de lluvia (A) muy altos y en los meses con precipitaciones altas se muestran valores bajos, por lo que se trató de reducir esta variación al compararse la precipitación diaria (p) contra la precipitación promedio del mes (P) según la ecuación siguiente:

$$A = \frac{p^2}{P} \quad (2)$$

Donde:

A = agresividad de la lluvia (adimensional)

p = precipitación diaria

P = precipitación promedio del mes más lluvioso (cm)

2.3.3.2. Metodología de la FAO.

La FAO para evaluar la erosión considera 4 grupos de factores:

- i) climáticos
- ii) edáficos
- iii) topográficos
- iv) humanos

(25)

2.3.4. Probabilidad de lluvia.

2.3.4.1. Calidad de datos.

Antes de mencionar los procedimientos matemáticos o estadísticos en el cálculo de probabilidad de lluvia es importante verificar la calidad de datos, de los registros que faltan y de las observaciones dudosas.

Dos pruebas de las muchas que existen para analizar los datos de una serie son la Asimetría y la Homogeneidad de los registros.

Cuando existe asimetría los valores de la mediana (m) y de la media (\bar{p}) difieren y esta se evalúa mediante el índice de asimetría.

$$I.A. = \frac{m - \bar{p}}{\bar{p}} \times 100$$

Donde:

IA = índice de asimetría

m = mediana de los valores de precipitación

\bar{p} = media de los valores de precipitación (25).

Sobre la homogeneidad de los registros, existe una excelente y fácil manera de comprobarlo, con el método Sved-Eisenhart. Se usan los datos en orden cronológico y después de haber determinado el valor de la mediana (m) se cuenta el número de veces en la que la serie cambia de valores superiores a inferiores de m y viceversa. El número total de cambios (S) se aumenta en una unidad y se compara con los límites de la distribución normal -- que se halla a partir de:

$$1 + 1.1 (n/2) \quad \text{límite superior y}$$

$$-1 + 0.9 (n/2) \quad \text{límite inferior}$$

En donde n es el número de años, véase Cuadro 8.

Cuando S está entre estos límites se considera que la muestra es homogénea, con lo cual puede hacerse un análisis de probabilidad normal (25).

CUADRO 8. Intervalo de confianza para registros homogéneos (25).

Longitud del registro n (años)	límites	
	superior	inferior
10	7	4
15	9	6
20	12	8
25	15	10
30	18	13
35	20	15
40	23	17
45	26	19
50	29	22

2.3.4.2. Distribución acumulativa.

$$F = \frac{N}{n+1}$$

Donde:

F = probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia mayor-

o igual al valor establecido $p (X \geq X_0)$. También se puede establecer lo contrario con la fórmula $1-F=P (X \leq X_0)$.

N = número de órden

n = número de años

El procedimiento de la distribución acumulativa es recomendado para las obras de conservación de suelos (10).

La desventaja de este método reside en la discontinuidad de los datos generados.

Por esta razón en muchos casos se prefiere trabajar con funciones continuas como la distribución normal (25).

2.3.4.3. Distribución normal.

Este tipo de distribución es sin duda la más conocida y más útil, ya que muchos fenómenos físicos y biológicos la siguen. La distribución normal asume una fórmula típica de campana, por lo cual se denomina campana de Gauss en honor a su descubridor.

Sin embargo no basta con que la distribución tenga forma de campana para que sea normal. Los valores observados deben seguir los valores esperados de acuerdo a:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-1/2 (x-\bar{x})^2 / \sigma^2}$$

Donde:

σ^2 = son parámetros de distribución

e = base de los logaritmos neperianos y

π = 3.1416 (25)

Las principales características de la distribución normal son las siguientes:

\bar{p} que es la media aritmética

$$\bar{p} = \frac{\sum p_i}{n}$$

σ que es la desviación estandar con los cuales se calcula Z

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (p_i - \bar{p})^2}{n}}$$

$$Z = \frac{p - \bar{p}}{\sigma} \quad (25)$$

2.3.4.4. Distribución de Galton.

La distribución de Galton se aplica comúnmente a datos asimétricos, usando una Z que se calcula de la siguiente manera:

$$Z = \frac{\text{Log } \frac{X}{G}}{\text{Log } G_g}$$

Donde:

X = datos originales

G = media geométrica

Gg = desviación geométrica

$$G = (X_1) (X_2) \dots (X_n)^{1/n}$$

o bien:

$$\text{Log } G = \frac{1}{n} \sum \text{Log } X_i$$

y

$$\text{Log } G_g = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } G)^2}{n}} \quad (25)$$

2.3.4.5. Distribución Gamma-incompleta.

$$F(X) = \left[1 + \frac{X}{\beta} + \frac{1}{2!} \left(\frac{X}{\beta}\right)^2 + \dots + \frac{1}{\alpha!} \left(\frac{X}{\beta}\right)^\alpha \right] e^{-\frac{X}{\beta}}$$

Donde:

$$\alpha = \frac{\bar{X}^2}{S^2}$$

\bar{X} = promedio de la muestra

y

$$\beta = \frac{S^2}{\bar{X}}$$

S^2 = varianza de la muestra (5,25)

Las restricciones para la aplicación de esta fórmula son:

- 1) Los valores de precipitación necesitan ser mayores o iguales a cero y
- 2) Es entero positivo

Cuando se desea calcular una probabilidad $P(X \leq X_0)$ la fórmula de la distribución gamma incompleta es:

$$f(X) = 1 - \left[1 + \frac{X}{\beta} + \frac{1}{2!} \left(\frac{X}{\beta} \right)^2 + \dots + \frac{1}{\alpha!} \left(\frac{X}{\beta} \right)^\alpha \right] e^{-\frac{X}{\beta}} \quad (25)$$

2.3.4.6. Prueba de bondad de ajuste.

2.3.4.6.1. Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

$$D = \text{máxima} \left| F_0(X) - S_N(X) \right|$$

Donde:

$F_0(X)$ = probabilidad de la distribución que se desea probar su ajuste (normal, Galton, Gamma-incompleta).

$S_N(X) = K/N$, K es el número de órden y N es el número total de observaciones.

D = máxima diferencia o desviación entre $F_0(X)$ y $S_N(X)$.

El valor obtenido de D se compara con un valor de D tabulado, que se escoge en función del nivel de probabilidad y el número total de observaciones N . Cuadro 9.

Si $|D_{\text{max}}| < |D_{\text{tablas}}|$, entonces existe un buen ajuste (5,25).

CUADRO 9. Tabla de valores críticos de D en la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Siege) 1976) (17).

Tamaño de muestra (N)	Nivel de significancia para D=máxima		Fo(x)-SN(x)
	.10	.05	.01
1	.950	.975	.995
2	.776	.842	.929
3	.642	.708	.828
4	.564	.624	.733
5	.510	.565	.669
6	.470	.521	.618
7	.438	.486	.577
8	.411	.457	.543
9	.388	.432	.514
10	.368	.410	.490
11	.352	.391	.468
12	.338	.375	.450
13	.325	.361	.433
14	.314	.349	.418
15	.304	.338	.404
16	.295	.328	.392
17	.286	.318	.381
18	.278	.309	.371
19	.272	.301	.363
20	.264	.294	.356
25	.24	.27	.32
30	.22	.24	.29
35	.21	.23	.27
> 35	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

2.3.4.6.2. Prueba de Smirnov.

$$W^2 = \frac{1}{12n^2} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[F(X)_i - \frac{2i-1}{n} \right]^2$$

o bien:

$$nw^2 = \frac{1}{12n} + \sum_{i=1}^n \left[F(X)_i - \frac{2i-1}{2n} \right]^2 \quad (25)$$

donde:

n = número de observaciones

$F(X)_i$ = probabilidad de la distribución deseada de la observación i .

La prueba de Smirnov señala que el valor de nw^2 seleccionado para aceptar o rechazar la hipótesis de que una distribución $F(X)$ se ajuste. La distribución empírica de la lluvia corresponde a: $E(nw^2) = 1/6$ o sea $nw^2 = 0.166$. De otra manera si el valor calculado de nw^2 es mayor o igual a 0.166 se rechaza la hipótesis (5,25).

2.4. Evapotranspiración

2.4.1. Terminología (según OMM, 1966).

1.- Evaporación potencial (EV) cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde la superficie libre del agua.

2.- Transpiración: pérdida del agua liberada hacia la atmósfera a través de los estomas de la planta.

3.- Evapotranspiración (ET): suma de las cantidades de agua evaporadas desde el suelo y transpiradas por la planta.

4.- Evapotranspiración Potencial (ETP): máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación -- que cubre todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de --- agua suministrada al suelo.

5.- Evapotranspiración Real (ETR): cantidad de agua, perdida por el complejo planta suelo en las condiciones meteorológicas edáficas y biológicas. En estas últimas se incluyen el tipo de cultivo, y su fase de crecimiento y desarrollo. En las condiciones edáficas se incluye el contenido de humedad y la fuerza - con que esta humedad es retenida (25,26,44).

2.4.2. Estimación de la evaporación (ev).

García (1979) comparó 4 modelos para estimar la Ev mensual empleando los datos de 82 estaciones distribuidas en el territorio nacional. Al no encontrarse un coeficiente de determinación (R^2) satisfactorio comenzó a introducir otro tipo de variable como el Déficit de saturación (DS) sin embargo este dato no se reporta comúnmente por lo que fue necesaria su estimación, quedando:

$$4.72 (1.065)^{T_x} - 10.805 (1.047)^{T_i} \quad (25)$$

Donde:

T_x = temperatura máxima media del mes.

T_i = temperatura mínima media del mes.

Con esta variable el mejor modelo para estimar a Ev. fue:

$$Ev = 1.606 (DS)^{0.052} \quad (25)$$

García (1979) trató además de utilizar otras variables simples como la duración de la insolación astronómica (N) quedando:

$$Ev = 0.115 (N)^{1.123} (DS)^{0.566} \quad (25)$$

Donde:

Ev = Evaporación

N = Duración de la insolación astronómica

DS = Déficit de Saturación

También considera que a partir de la Ev. se puede estimar - la evapotranspiración potencial (ETP)

$$ETP = 0.8 Ev \quad (25)$$

2.4.3. Aplicaciones del cálculo de ETP.

1.- Es un auxiliar valiosísimo para determinar la posible - área que se pueda regar con un determinado volumen de agua.

2.- Sirve para elaborar calendarios teóricos de riego.

3.- Estimación de volúmenes que serán necesarios para auxi- liar a los cultivos en caso de que el agua de lluvia no sea sufi- ciente para el desarrollo de los cultivos.

4.- Para determinar en grandes áreas o cuencas los posibles volúmenes de agua que se requieren drenar.

5.- Para seleccionar los cultivos más adecuados para zonas- de agricultura de temporal.

6.- Finalmente se puede decir que el conocimiento de ETP -- permite determinar, en forma general, la eficiencia con la que - se esta aprovechando el agua y por lo mismo planear debidamente-

el mejoramiento y superación de todo el conjunto de elementos que intervienen en el desarrollo de un distrito de riego(1,44).

2.4.4. Métodos de estimación de ETP.

2.4.4.1. Métodos de Penman.

Para el cálculo de ETP se basó en la energía recibida por una superficie y su distribución en el calentamiento del aire y la evaporación. En esta fórmula están comprendidos la radiación solar, temperatura, presión de vapor y velocidad del viento.

$$ETP = \frac{\frac{P_0}{p} \cdot \frac{0.75R (0.29 + 0.42 \frac{n}{N}) - TK^4 (0.56 - 0.79 \text{ ed})}{(0.10 + 0.90 \frac{n}{N}) + 0.26 (ea - ed) (1.00 + 0.541)}}{\frac{P_0}{p} \cdot \frac{1}{r} + 1.00} \quad (25)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en un período determinado mm.

P_0 = Presión atmosférica, milibares a nivel del mar.

p = Presión atmosférica media expresada en milibares en función de la altitud de la estación.

$\frac{1}{r}$ = Gradiente de la presión de vapor saturante con respecto a la temperatura, milibares por grado centígrado.

r = Coeficiente psicométrico, para el psicómetro con ventilación forzada = 0.66.

0.75 = Factor de reducción de la radiación total de onda corta que corresponde al albedo de 0.25.

R = Radiación de onda corta recibida en el límite de la atmós-

fera, mm de agua evaporable, $1\text{mm}=59$ calorías o tabla de valores Angot.

- n = Duración de la insolación durante el período que se estudia horas y décimas de horas.
- N = Duración de la insolación astronómica.
- σT_k^4 = Radiación del cuerpo negro; mm de agua evaporable para la temperatura prevaleciente del aire.
- e_a = Presión del vapor saturado, expresada en milibares.
- e_d = Presión del vapor durante el período que se estudia, milibares.
- U = Velocidad media del viento a una altura de 2 m durante el período que se estudia m/seg.

Frere y Popov (1980) tabularon los valores de $P_o/p \cdot \Delta/r$ como una función de la temperatura media y la altura sobre el nivel del mar (Cuadro 10).

R = Tabla de los valores Angot Cuadro 2.

$R (0.29 + 0.42 n/N)$ = Radiación global. Para el norte de nuestro país hasta el eje neovolcánico se usa $R (0.25 + 0.45 n/N)$

σT_k^4 = Radiación del cuerpo negro (Cuadro 11)

e_a = Presión de vapor saturante (Cuadro 12)

e_d = Presión de vapor durante el período estudiado

$e_d = (\text{humedad relativo}) (e_a)$

El coeficiente $U \cdot 0.54u$ puede modificarse en función de la diferencia entre temperaturas máximas y mínimas, media, como sigue:

<u>T°mínima mensual media</u>		<u>Dif. entre T°máxima y mínima media</u>	<u>Coefficiente U.</u>
---		$\bar{T}_M - \bar{T}_m$ 12°C	0.54
5°C	12°C	$\bar{T}_M - \bar{T}_m$ 13°C	0.61
5°C	13°C	$\bar{T}_M - \bar{T}_m$ 14°C	0.68
5°C	14°C	$\bar{T}_M - \bar{T}_m$ 15°C	0.75
5°C	15°C	$\bar{T}_M - \bar{T}_m$ 16°C	0.82
5°C	16°C	$\bar{T}_M - \bar{T}_m$	0.89

Si no se dispone del dato de humedad relativa puede estimarse a partir del modelo propuesto por García Benavides (1979).

$$HR = 185.73 - 1.75L - 0.017 AL - 0.104 (Ne) (T) - 0.00055(PT) (T) + 0.00015 (AL) (T) - 0.000027 (PT) (P) + 0.0055 (L) (P) + 0.000011 (AL) (P)$$

Donde:

HR = Humedad relativa en %

L = Latitud

AL = Altitud

Ne = Número de meses ecosecos, meses donde $P \leq 2T$

T = Temperatura media mensual

PT = Precipitación total anual

P = Precipitación mensual (25)

2.4.4.2. Método de Thornthwaite.

Requiere de datos de temperatura y duración del día que son fácilmente obtenidos (23). Ortiz (1982) solo toma en cuenta la temperatura (25).

CUADRO 11. Radiación del cuerpo negro (σT_k^4) expresada en mm de agua, en función de la $T^\circ C$ (25).

$^\circ C$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1	11.02	11.04	11.06	11.08	11.09	11.10	11.12	11.14	11.15	11.17
2	11.18	11.20	11.22	11.24	11.25	11.26	11.28	11.30	11.31	11.33
3	11.35	11.37	11.39	11.41	11.42	11.43	11.45	11.47	11.48	11.50
4	11.51	11.53	11.55	11.57	11.58	11.59	11.61	11.63	11.64	11.66
5	11.68	11.70	11.72	11.74	11.75	11.76	11.78	11.80	11.81	11.83
6	11.85	11.87	11.89	11.90	11.92	11.94	11.96	11.97	11.98	12.00
7	12.02	12.04	12.06	12.08	12.09	12.10	12.12	12.14	12.16	12.18
8	12.20	12.22	12.14	12.26	12.27	12.29	12.31	13.32	12.34	13.36
9	12.37	12.39	12.41	12.43	12.44	12.46	12.48	12.50	12.51	12.53
10	12.55	12.57	12.59	12.60	12.62	12.64	12.66	12.67	12.69	12.71
11	12.73	12.75	12.77	12.79	12.80	12.81	12.83	12.85	12.87	12.89
12	12.91	12.93	12.95	12.97	12.99	13.01	13.02	13.04	13.06	13.08
13	13.09	13.11	13.13	13.14	13.16	13.18	13.20	13.23	13.25	13.27
14	13.28	13.30	13.32	13.34	13.35	13.37	13.39	13.41	13.43	13.45
15	13.46	13.48	13.50	13.52	13.54	13.55	13.57	13.59	13.61	13.63
16	13.65	13.67	13.69	13.71	13.73	13.74	13.76	13.78	13.80	13.82
17	13.84	13.86	13.88	13.90	13.92	13.94	13.96	13.97	13.99	14.01
18	14.03	14.05	14.07	14.09	14.11	14.13	14.15	14.17	14.19	14.21
19	14.23	14.25	14.27	14.29	14.31	14.33	14.35	14.37	14.39	14.41
20	14.43	14.45	14.47	14.49	14.51	14.53	14.54	14.56	14.58	14.60
21	14.62	14.64	14.66	14.68	14.70	14.73	14.75	14.77	14.79	14.81
22	14.83	14.85	14.87	14.89	14.91	14.93	14.95	14.97	14.99	15.01
23	15.03	15.05	15.07	15.09	15.11	15.13	15.15	15.17	15.19	15.21
24	15.23	15.25	15.27	15.29	15.31	15.34	15.36	15.38	15.40	15.42
25	15.47	15.46	15.48	15.50	15.52	15.55	15.57	15.59	15.61	15.63
26	15.65	15.67	15.69	15.71	15.73	15.76	15.78	15.80	15.82	15.84
27	15.86	15.88	15.90	15.92	15.94	15.97	15.99	16.01	16.03	16.05
28	16.07	16.09	16.11	16.14	16.16	16.18	16.20	16.22	16.25	16.27
29	16.29	16.31	16.33	16.35	16.37	16.40	16.42	16.44	16.46	16.48
30	16.50	16.52	16.54	16.57	16.59	16.61	16.63	16.65	16.68	16.70
31	16.72	16.74	16.77	16.79	16.81	16.84	16.86	16.88	16.90	16.93
32	16.95	16.97	16.99	17.02	17.04	17.06	17.08	17.10	17.13	16.15
33	17.17	17.19	17.22	17.24	17.26	17.29	17.31	17.33	17.35	17.38
34	17.40	17.42	17.45	17.47	17.49	17.52	17.54	17.56	17.58	17.61
35	17.65	17.68	17.70	17.72	17.75	17.77	17.79	17.81	17.84	17.86
36	17.88	17.90	17.93	17.95	17.97	18.00	18.02	18.04	18.07	18.09

CUADRO 12. Presión saturante del vapor sobre el agua, e_a, en milibares, como función de T°C (Smithsonian Table, 1966) (25).

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.43	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.86	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.11	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.42	7.47	7.52
3	7.58	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.02	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.97	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.25	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.51	10.58	10.65
8	10.72	10.80	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.0	12.11	12.19
10	12.27	12.36	12.44	12.52	12.61	12.69	12.78	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.30	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.93
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.7	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.37	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.83	16.94
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.53	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.25
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.90	20.12	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.16	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.09	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.64	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.42	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.48	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.56	30.74	30.92	31.11	31.30	31.48
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.62	34.82	35.03	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.50	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.80	38.02	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.37	39.59	39.82
29	40.06	40.29	40.52	40.76	40.99	41.23	41.47	41.71	41.95	42.19
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.17	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.75	50.03
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.22	52.61	52.90
34	53.20	52.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.00	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.10

Requisitos:

- a) El albedo de la superficie evaporante debe ser estandard.
- b) La ETP no debe estar influenciada por la adecuación proveniente de masas de aire caliente o húmedas.
- c) La relación entre energía utilizada en el proceso de evaporación y calentamiento de aire debe permanecer sensiblemente -- constante.

Puesto que estas condiciones no existen en regiones áridas y semiáridas, esta ecuación no dará buenos resultados en ellos - (1).

$$ETP = 1.6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial en un mes de 30 días (cm)

T = Temperatura media del aire °C

I = Índice de calor = $\sum_{i=1}^{12} i_j$

$$i = (T/5)^{1.514} \quad (25)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49239 \quad (25, 26).$$

Generalmente el valor de ETP se corrige con un factor de latitud "f".

$$ETP_o = ETP \times f \quad (25)$$

Jiménez (1972) indica que para México a temperaturas mayores de 26.5°C no hay influencia del índice de calor, por lo que la ETP es una función directa de la temperatura (25).

2.4.4.3. Método de Turc.

$$ETP = K \frac{T}{T+15} (Rg + 50) \left(1 + \frac{50 - HR}{70}\right)$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración (mm)

T = Temperatura media mensual °C

Rg = Radiación global, Cal/cm²/día

HR = Humedad relativa, %

Si HR > 50% entonces $\left(1 + \frac{50 - HR}{70}\right)$ se desprecia

K = 0.40 para meses de 30 y 31 días

K = 0.37 para el mes de febrero (25)

2.4.4.4. Método de Hargreaves.

Según Hargreaves (1966) los resultados mejoran al ser afectados por factores de corrección regionales, tales como efecto de la velocidad del viento, duración del resplandor solar, altitud, etc.

$$ETP = 0.34 T_a \left[0.40 + 0.24 T\right] \left[1.35 \sqrt{1.00 - HR}\right] \left[1.00 + (0.04 \text{ EL}/1000)\right]$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial, cm.

Ra = Radiación extraterrestre, mm.

T = Temperatura media, °C.

HR = Humedad relativa, decimales.

EL = Altitud, metros.

El factor $1.35 \sqrt{1.00 - HR}$ debe tener como máximo valor 1 y si es mayor se le considera como la unidad (25).

2.4.4.5. Comparación de métodos.

Ortiz (1982) reporta valores anuales de ETP con los métodos de Penman, Thornthwaite, Turc y Hargreaves. Considerando el método de Penman como referencia aprecia que el de Hargreaves sobrestima la ETP, mientras que el de Thornthwaite y Turc la subestiman.

A nivel mensual seleccionó datos que cubrieron todo el espacio de exploración de las estimaciones con el método de Penman, obteniendo ecuaciones de regresión lineal y coeficientes de determinación (R^2).

Con ello reporta que todos los métodos estiman los valores de Penman en más del 50% resultando mayor el de Hargreaves con 61.71% de los casos.

También relaciona la ETP por el método de Penman y la radiación global, R_g , en $\text{cal/cm}^2/\text{día}$:

Obteniendo la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned} \text{ETP}_p &= 95.2380 + 0.5648 (R_g) \\ R^2 &= 0.6596 \end{aligned}$$

Mojarro y Palacios (1982) mencionan otros métodos para estimar la ETP, como son el de Blaney Cridle y Makkink. Indican -- que el método de Blaney Cridle ha sido muy usado en nuestro país en el cálculo de necesidad de riego, aunque en la actualidad ha demostrado su baja eficiencia, y generalmente subestima a la --- ETP. Con el método de Jansen sucede algo similar por lo que habrá que hacer un estudio más exhaustivo y probablemente más regional para obtener recomendaciones más precisas (25).

2.4.5. Evapotranspiración real o actual (ETR).

Matemáticamente podríamos expresarla:

$$ETR = f (ETP, Kc, R)$$

$$Kc = \frac{ETR}{ETP} = R, \text{ pero}$$

Kc se relaciona con la edad de la planta y R con el contenido de humedad del suelo (25).

2.4.5.1. Coeficiente Kc.

Depende de las características morfológicas y fisiológicas de una especie determinada y expresa la variación de su capacidad para extraer agua del suelo en el transcurso de su período vegetativo (25).

CUADRO 13. Modelo matemático para obtener el valor de Kc, por diferentes métodos (García, 1979) (25).

Método	Modelo
Hargreaves	$Kc = 0.01335 + 0.4099C - 0.000402 C^2$
Palacios	$Kc = 0.1303 + 0.01092C + 0.0000168 C^2 - 0.000000960 C^3$
Grassi	$Kc = 0.04053 + 0.3089C - 0.000237 C^2$
Demmead y Show	$Kc = 0.3469 - 0.002980C + 0.00038 C^2 + 0.00000355 C^3$

C nos representa la edad del cultivo expresado en porcentos.

Existen otros tipos de modelos como el de Mojarro (1982) en el cual estima la Kc en función del índice de área foliar (IAF).

$$Kc = 0.455 (IAF)^{0.5}$$

2.4.5.2. Coeficiente R.

Los métodos de estimación varían de acuerdo a los autores.

- a) Veihmeyer y Hendrichson (1955) lo consideran constante $R=1$.
- b) Thornthwaite y Mather (1955) como una relación lineal:
 - i) a capacidad de campo $R=1$
 - ii) a punto de marchitez permanente, $R=0$.
- c) Butler y Prescott, 1955, Haven 1956 y Pierce 1958 lo obtienen a partir de $R=0.666+0.333 (CH/10)$. $CH \geq 25$ y $R=3 (CH/100)$, $CH < 25$.

o bien de $R=1.833 (CH/100) - 0.833 (CH/100)^2$

- d) Thomthwaite a partir del modelo $R= CH/100$

$$CH = \frac{HS - PMP}{CC - PMP} \times 100$$

Donde:

CH = Contenido de humedad, ambiental por ciento

HS = Por ciento de humedad del suelo

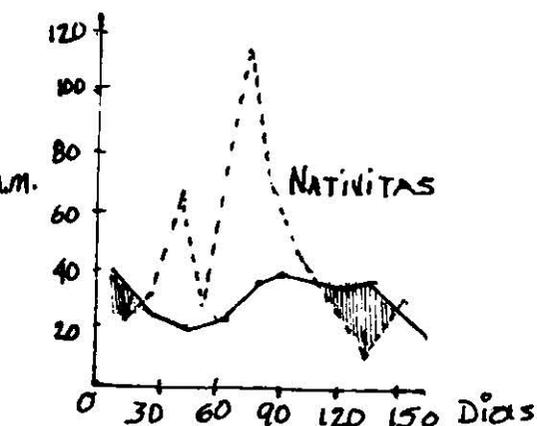
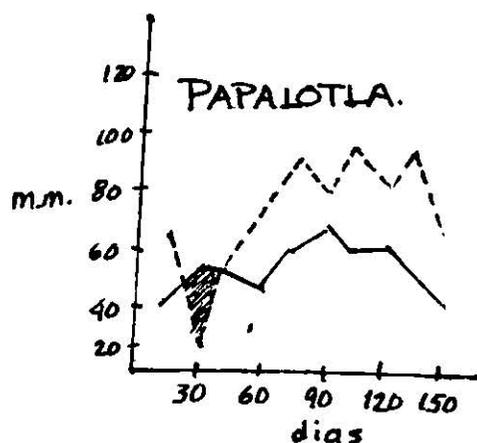
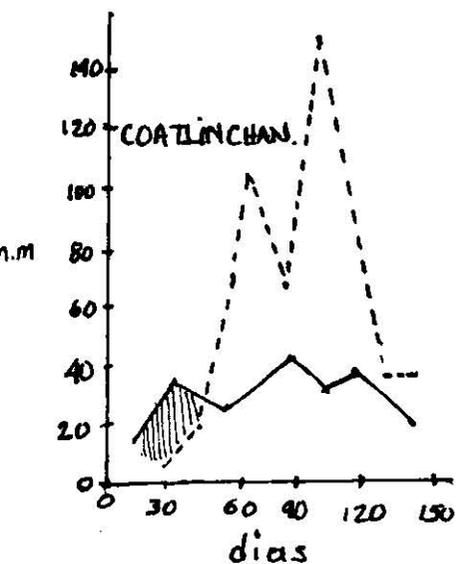
PMP = Por ciento de humedad a 1/3 atmósferas.

La cual debe determinarse al menos para 5 puntos o fechas - del período vegetativo del cultivo (25).

2.4.6. Déficit climático.

Es la diferencia que existe entre la precipitación y evapotranspiración potencial y puede ser caracterizado en forma anual, mensual o quincenal.

El déficit climático generalmente se presenta al inicio o - al final del período vegetativo.



PP - - - - -

ETP - - - - -

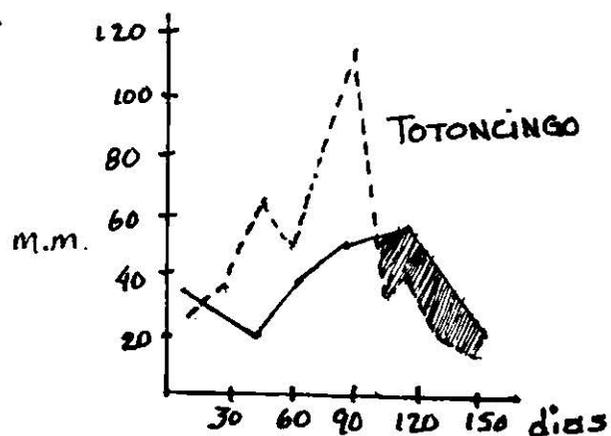


FIGURA 4. Distribución de la precipitación y evapotranspiración potencial a través del ciclo del cultivo de maíz en el área de influencia de Chapingo (Ortíz, 1974) (25).

2.4.7. Períodos de crecimiento.

Por períodos de crecimiento se considera el número de días durante el año en el que existe disponibilidad de agua y una temperatura favorable para el desarrollo de cultivos.

El cálculo se basa en un modelo simple de balance de agua - comparando la precipitación con la evapotranspiración potencial (ETP) (25).

2.4.7.1. Períodos de crecimiento determinados por la disponibilidad de agua.

a) Inicio del período de crecimiento.

Esta basado en el comienzo de la estación lluviosa y se obtiene cuando $P = 0.5 \text{ ETP}$, este valor fué determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de cultivos, y cuando $P = 0.5$ satisface este hecho.

b) Período húmedo.

Es el intervalo de tiempo en el cual $P > \text{ETP}$, cuando esto sucede no solo se satisfacen las demandas de ETP de los cultivos a una completa o máxima cobertura, sino también el déficit de humedad en el perfil del suelo.

c) Terminación de la estación lluviosa.

Cuando $\text{ETP} = 0.5$ después del período húmedo.

d) Terminación del período de crecimiento.

Cuando existe un período húmedo la terminación del período de crecimiento va más allá de la terminación de la estación lluviosa, ya que generalmente los cultivos maduran con las reservas de humedad del suelo.

Otriz llama terminación del período de crecimiento cuando $P = 0.33 \text{ ETP}$ después de la estación lluviosa.

Cuando no existe período húmedo, entonces la terminación del período de crecimiento coincide con el fin de la estación lluviosa (25,26).

2.4.7.2. Diferentes períodos de crecimiento determinados por la disponibilidad de agua.

a) Períodos de crecimiento intermedios (pci).

Es el tiempo que no tiene período húmedo es decir cuando la precipitación promedio mensual no excede a la ETP pero sí a 0.5 ETP.

b) Períodos de crecimiento húmedos todo el año.

Es cuando la precipitación promedio mensual excede a la ETP. Estos se consideran normales de 365 días.

c) Períodos de crecimiento seco todo el año.

La precipitación promedio mensual nunca excede a 0.5 ETP. Período de crecimiento de cero días (25,26).

2.4.7.3. Períodos de crecimiento determinado por la disponibilidad de agua y temperatura.

La FAO (1978) y Ortiz (1981) establecen que a partir del valor de 6.5°C las plantas empiezan a realizar sus actividades de crecimiento adecuadamente; solo que la primera considera este valor como la temperatura media diaria, mientras que Ortiz (1981) lo adecúa a México y lo propone como la temperatura mínima media mensual.

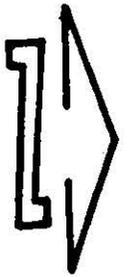
De esta manera el período con temperaturas inferiores a 6.5°C es restado al período con disponibilidad de agua (25).

- ESTACIONES :

- 1). GUVICIA
- 2). STGO. CHIVELA
- 3). LAZARO CARDENAS
- 4). ALMOLOYA
- 5). S. J. GUICHICOVI
- 6). EL BARRIO
- 7). GUEVEA DE HUMBOLDT
- 8). LA CUMBRE

- P O B L A D O : 17°

- A : JUCHITAN.
- B : EL BARRIO
- C : STA. MA. PETAPA
- D : IXTAITEPEC.
- E : GUEVEA DE HUMBOLDT.
- F : SALINA CRUZ .



III - UBICACION DE LA ZONA DE ESTUDIO . . .

TOMADO DEL DISTRITO DE TEMPORAL N.º IV S.A.R.H. OAXACA .

95°

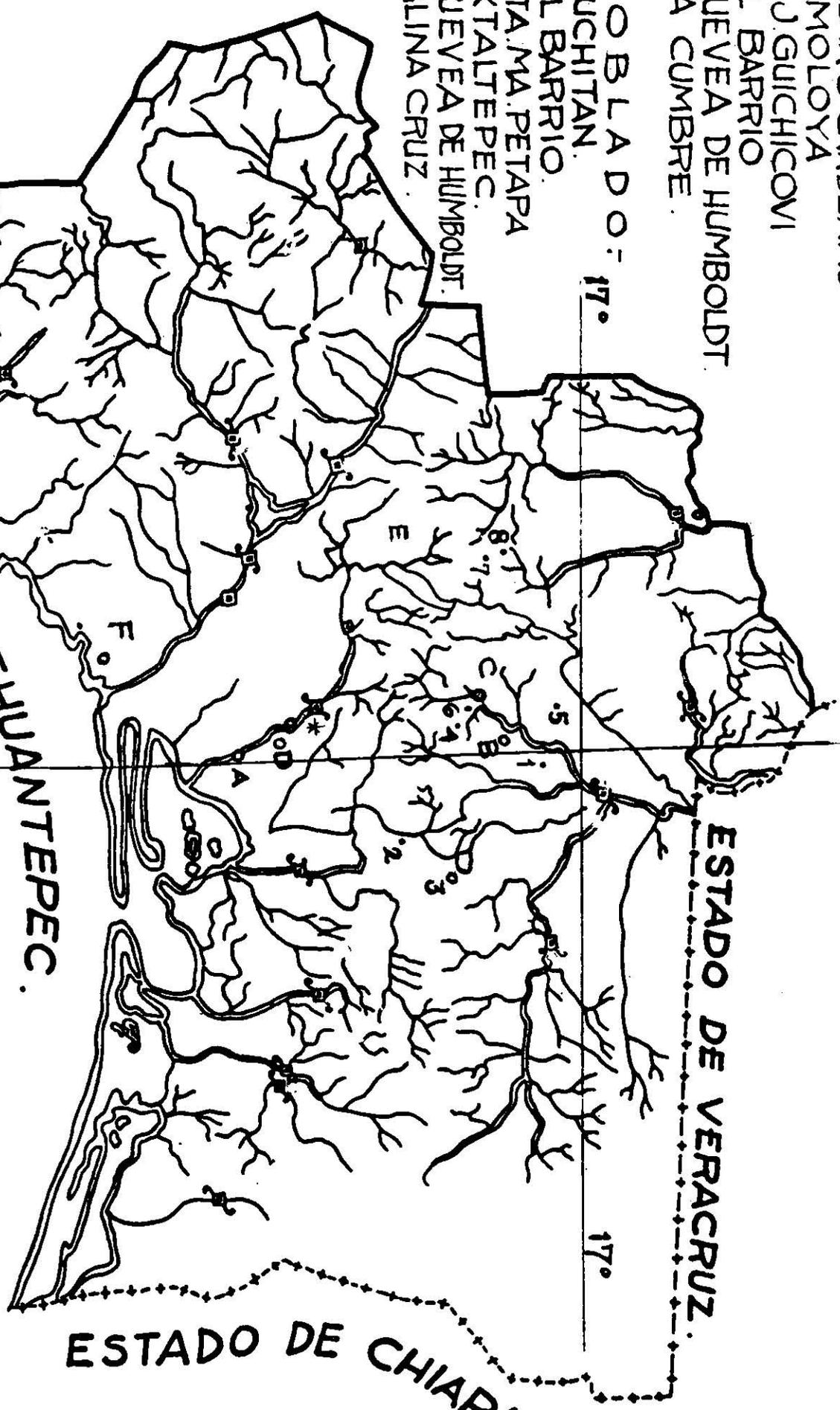
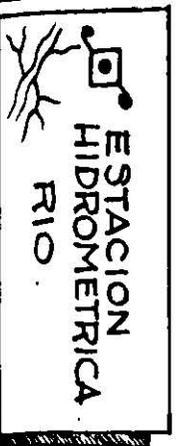
ESTADO DE VERACRUZ .

ESTADO DE CHIAPAS .

TEHUANTEPEC .

GOLFO DE

95°



IV. MATERIALES Y METODOS.

4.1. Materiales

1. Observaciones climatológicas obtenidas de la Comisión Nacional del Agua, División Hidrométrica Tehuantepec, Oax.; las cuales fueron recopiladas en las estaciones climáticas siguientes:

a) Guivicia:

Latitud $16^{\circ}57'07''$; longitud $94^{\circ}58'00''$; altitud 100 m.s.n.m.

Municipio: Santa María Petapa.

Datos: de julio 1979 a julio 1988. (29)

b) Santiago Chivela. (El Mezquite):

Latitud $16^{\circ}41'02''$; longitud $94^{\circ}54'14''$; altitud 180 m.s.m.n.

Municipio: Asunción Ixtaltepec.

Datos: enero 1978 a julio 1988. (30)

c) Lázaro Cardenas:

Latitud $16^{\circ}43'43''$; longitud $94^{\circ}51'43''$; altitud 190 m.s.n.m.

Municipio: Asunción Ixtaltepec.

Datos: de septiembre 1979 a julio 1988. (31)

d) Congregación Almoloya:

Latitud $16^{\circ}45'10''$; longitud $95^{\circ}04'42''$; altitud 205 m.s.n.m.

Municipio: El Barrio de la Soledad.

Datos: de agosto 1979 a diciembre 1987. (32)

e) San Juan Guichicovi:

Latitud $16^{\circ}57'51''$; longitud $95^{\circ}05'42''$; altitud 220 m.s.n.m.

Municipio: San Juan Guichicovi.

Datos: de marzo 1982 a diciembre 1986. (28)

f) El Barrio (Guigubá):

Latitud 16°47'06"; longitud 95°05'17"; altitud 230 m.s.n.m.

Municipio: El Barrio de la Soledad.

Datos: de marzo 1982 a julio 1988. (33)

g) Guevea de Humboldt:

Latitud 16°47'20"; longitud 95°21'28"; altitud 600 m.s.n.m.

Municipio: Guevea de Humboldt.

Datos: de mayo 1978 a junio 1989. (35)

h) La Cumbre:

Latitud 16°51'03"; longitud 95°27'21"; altitud 1320 m.s.n.m.

Municipio: Guevea de Humboldt.

Datos: de mayo 1982 a diciembre 1988. (34)

La distribución de las estaciones en el espacio tienen un área interna de 833.937 km².

2. Vehículo, cámara y rollo fotográfico, cartas topográficas del área de influencia de las estaciones climáticas.

Aclaración:

En el presente trabajo se consideró obvio el manejo de los -- instrumentos, por tal motivo no se especificó la manera de como extraerse dicha información.

4.2. Métodos

4.2.1. Estimación de la radiación solar.

El método que se utilizó para la obtención de la radiación solar fué a partir de la nubosidad.

En primer lugar se obtuvo la nubosidad media (C) en décimos de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C = \frac{(\# \text{ días despejados} \times 1) + (\# \text{ días medio nublado} \times 5) + (\# \text{ días nublado cerrado} \times 9)}{\# \text{ días del mes}}$$

En segundo lugar se sustituyeron los valores de la nubosidad de acuerdo al Cuadro 3.

CUADRO 3. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N (Doorenbos y Pruitt, 1977) (16).

Nubosidad(décimos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Equivalencias n/N	.95	.85	.8	.75	.65	.55	.5	.4	.3	.15	--

A la serie de datos resultantes se les determinó el promedio para cada mes, al cual se le dió el nombre de equivalencia n/N mensual.

a y b se obtuvieron de acuerdo a los siguientes criterios propuestos por Frore y Popov (1980) (2).

<u>Región</u>	<u>a</u>	<u>b</u>
Tropical	0.29	0.42
Tropical seca	0.25	0.45
Templada	0.18	0.55

Los coeficientes de regresión utilizados en el presente trabajo son los destinados a la región tropical seca.

Los valores de Angot (Ra) se obtuvieron para la latitud 17° N en todas las estaciones de acuerdo al Cuadro 2.

Por último se sustituyeron los valores en la fórmula de radiación solar.

$$R.S. = (a + b n/N) Ra.$$

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de radiación solar son expresados en mm H₂O evaporable por día y que para transformarlos a Cal/cm²/día hay que multiplicar cada valor por 59.

Aclaración:

Para tomar en cuenta los meses en los cuales no se obtuvieron registros se calculó su promedio de acuerdo a los demás datos del mes faltante. Esto con el fin de obtener un valor que no sesgara los resultados.

Los datos que no tomaron las estaciones y se evaluaron de acuerdo a lo anteriormente citado son los siguientes:

<u>Estación</u>	<u>Mes</u>	<u>Año</u>
Almoloya	agosto	1983
	septiembre	1985
	noviembre	1987
Guevea de Humboldt	diciembre	1982
S.J. Guichicovi	marzo	1986
	mayo	1984
	junio	1984
	julio	1984
	Agosto	1982
	Agosto	1985*
	Diciembre	1985

*Agosto de 1985 se calculó de acuerdo a los meses en el año 1985.

4.2.2. Estimación de la temperatura.

- a) El cuadro 31 se estimó de acuerdo a los datos obtenidos en la Comisión Nacional del Agua promediando los meses de cada estación en base al número de años recopilados.
- b) Los períodos de crecimiento, de acuerdo a las constantes térmicas, para cualquier método se pueden obtener con el cuadro -- 31.

Por ejemplo, para el caso del maíz que tiene una constante térmica de 2500°C y se siembra el 1^o de mayo; el período de crecimiento por el método directo en congregación Almoloya será:

<u>Mes</u>	<u>T^o x̄ diaria</u>	<u># días</u>	<u>T^o total</u>	<u>T^o acumulada</u>
Mayo	27.99°C	31	867.69°C	867.69°C
Junio	26.55°C	30	796.50°C	1664.19°C
Julio	25.55°C	31	792.05°C	2456.24°C
Agosto	25.58°C	2	51.16°C	2507.40°C

Es decir que el período de crecimiento del maíz en congregación Almoloya de acuerdo a su constante térmica de 2500°C los -- completa en un período de 94 días.

Los períodos de crecimiento deben redondearse para tener mayor seguridad, es decir que para el ejemplo anterior sería de 90 a 100 días.

- c) La estimación de temperatura por el Método Simple o Empírico-- se calculó de la siguiente manera:

<u>Estación</u>	<u>Altura (msnm)</u>	<u>T° \bar{x} anual °C</u>
Guivicía	100	24.4
Santiago Chivela	180	24.9
Lázaro Cárdenas	190	24.4
Almoleya	205	25.0
San Juan Guichicovi	220	24.2
El Barrio	230	25.5
Guevea de Humboldt	600	23.4
La Cumbre	1320	21.0

$$T = b_0 + b_1 h$$

Donde:

T = temperatura

b_0 = temperatura sobre el nivel del mar

b_1 = gradiente altotérmico geográfico

h = altura (msnm)

$$b_1 = \frac{\sum ht - \frac{\sum h \cdot \sum T}{n}}{\sum h^2 - \frac{(\sum h)^2}{n}}$$

$$b_0 = \bar{T} - b_1 \bar{h}, \quad \bar{T} = \frac{\sum T}{n}, \quad \bar{h} = \frac{\sum h}{n}$$

Donde: n = número de estaciones

Sustituyendo:

$$b_1 = \frac{69632 - \frac{(3045)(192.8)}{8}}{2324225 - \frac{(3045)^2}{8}}$$

$$b_1 = -0.0032204$$

$$b_0 = 24.1 - (-0.0032204)(380.625)$$

$$b_0 = 25.325765$$

$$T = 25.325765 - 0.0032204 h$$

Esta ecuación tiene un coeficiente de determinación (R^2) de 0.99 y un error absoluto = 0.22.

Observaciones:

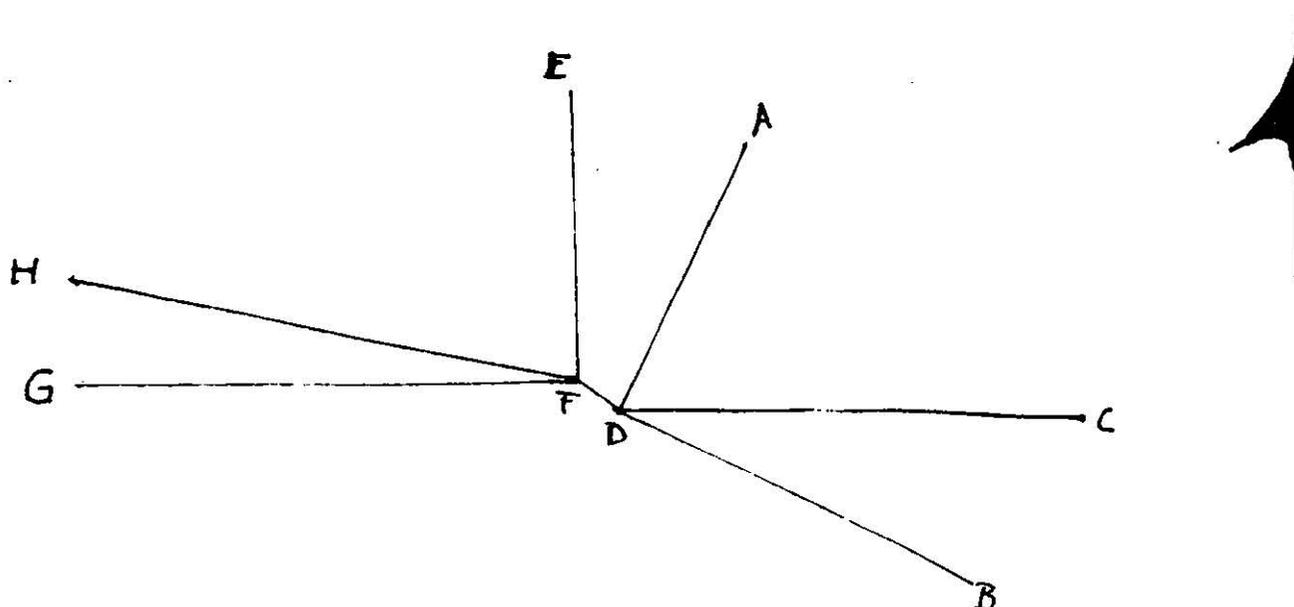
Estos cálculos también pueden hacerse tomando en cuenta las temperaturas promedio mensual, semanal o períodos de crecimiento de acuerdo a las necesidades del investigador.

d) Estimación de la temperatura por el Método del Gradiente Mediano o de las Cruces.

i) Se ordenaron las estaciones de menor a mayor altura.

<u>Estación</u>	<u>h(msnm)</u>	<u>T° \bar{x} anual (°C)</u>
A: Guivicía	100	24.4
B: Stgo. Chivela	180	24.9
C: L. Cárdenas	190	24.4
D: Almoloya	205	25.0
E: S.J. Guichicovi	220	24.2
F: El Barrio	230	25.5
G: Guevea de H.	600	23.4
H: La Cumbre	1320	21.0

Estas estaciones tienen una distribución espacial de la siguiente manera:



ii) Se ordenaron las combinaciones posibles con sus respectivos gradientes:

<u>Combinación</u>	<u>Grad. altotérmico (T/H)</u>	<u>(T/H) x 100</u>
A-B	-0.5/-80	0.62
A-C	0.0/-90	0.0
A-D	-0.6/-105	0.571
A-E	0.2/-120	-0.17
A-F	-1.1/-130	0.85
A-G	1.0/-500	-0.20
A-H	3.4/-1220	-0.28
B-C	0.5/-10	-5.00
B-D	-0.1/-25	0.40
B-E	0.1/-40	1.75
B-F	-0.6/-50	-1.20
B-G	1.5/-420	-0.36
B-H	3.9/-1140	-0.34
C-D	0.4/-15	-2.67
C-E	0.2/-30	-0.67
C-F	-1.1/-40	2.75
C-G	1.0/-410	-0.24
C-H	3.4/-1130	-0.30
D-E	0.8/-15	-5.33
D-F	-.05/-25	2.00
D-G	1.6/-395	-0.40
D-H	4.0/-1115	-0.36
E-F	-1.3/-10	13.00
E-G	0.8/-380	-0.21
E-H	3.2/-1100	-0.29

Combinación	Grad. altotérmico (T/H)	(T/H)x100
E-G	2.1/-370	-0.57
F-H	4.5/-1090	-0.42
G-H	2.4/-720	-0.33

Ordenamiento de gradientes ($\frac{T}{H} \times 100$)

13.00, 2.75, 2.00, 1.75, 0.85, 0.62, 0.57, 0.40, 0.00, -0.17, -0.2, 0.21, -0.24,
-0.28, -0.29, -0.30, -0.33, -0.34, -0.36, -0.40, -0.41, -0.57, -0.67,
-1.20, -2.67, -5.00, -5.33.

$$b_1 = \text{Gradiente mediano} = \frac{-0.28 + (-0.29)}{2}$$

$$= -0.285$$

$$b_1 = \frac{m}{100} = -0.00285$$

Con esta valor generamos la ecuación:

$$T = T_0 + b_1 h$$

Donde:

T = temperatura

t_0 = temperatura al nivel del mar

b_1 = gradiente mediano en metros

h = altura del lugar que nos interesa su temperatura

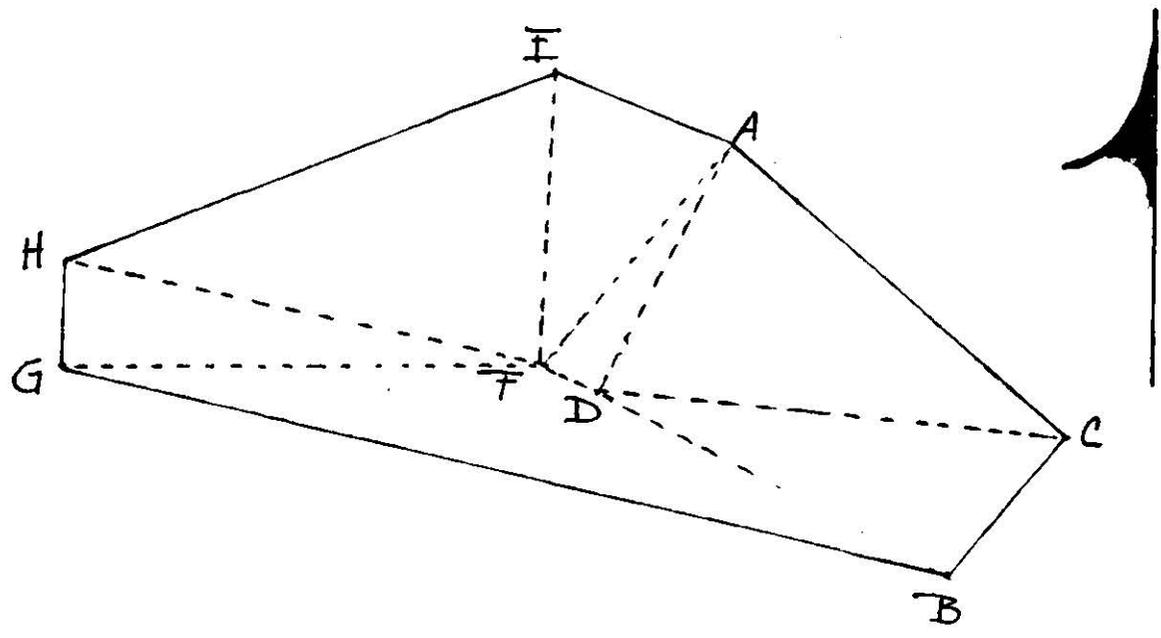
Sustituyendo la ecuación:

$$T = T_0 + (-0.00285 h)$$

Despejando T_0

$$T_0 = T + 0.00285 h$$

iii) Se realizó la triangulación termométrica.

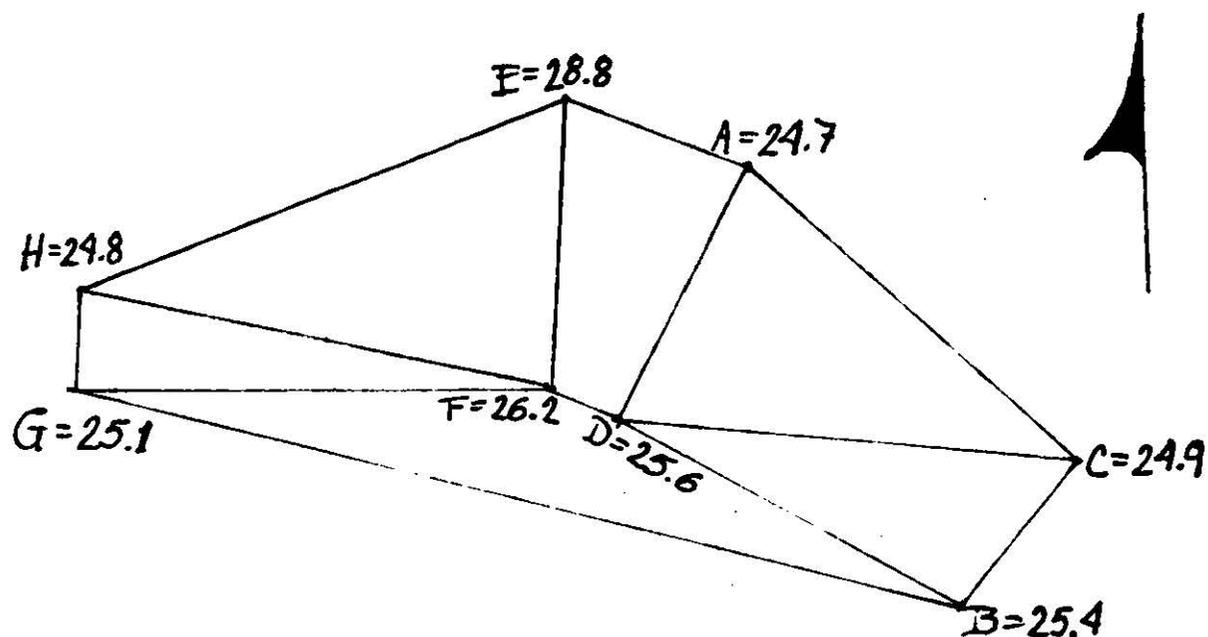


iv) Trazado de isotérmicas rectilíneas reducidas al nivel del mar.

Primero se obtienen las temperaturas al nivel del mar - sumando cada temperatura real con $0.0025 h$.

<u>Estación</u>	<u>T°real</u>	<u>h</u>	<u>.00285 h</u>	<u>T°red.al nivel del mar</u>
A	24.4	100	0.285	24.7
B	24.9	180	0.513	25.4
C	24.4	190	0.541	24.9
D	25.0	205	0.584	25.6
E	24.2	220	0.627	28.8
F	25.5	230	0.655	26.2
G	23.4	600	1.71	25.1
H	21.0	1320	3.762	24.8

Posteriormente se coloca cada temperatura reducida al nivel del mar en su respectiva estación.



Para saber la temperatura real de cualquier punto fuera de las estaciones, primero lo ubicamos en el mapa y mediante un proceso de interpolación calculamos su temperatura al nivel del mar y sabiendo su altura se aplica la ecuación de la recta -----
 $T = T_0 - 0.0025 h.$

Así, por medio de esta metodología y con ayuda de un mapa topográfico, se pueden combinar isohipsas a isotérmicas.

Si lo que se desea saber es la altura a la cual se adapta el cultivo y sabemos, ya sea temperaturas medias anuales, máximas y mínimas o períodos de crecimiento específico; de la misma ecuación despejamos la altura:

$$h = \frac{T_0 - T}{0.00285}$$

Donde:

h = altura (msnm)

T_0 = temperatura al nivel del mar

T = temperatura para adaptabilidad del cultivo de interés.

Observación:

Estos cálculos también pueden hacerse tomando en cuenta las temperaturas promedio mensual, semanal o períodos de crecimiento de acuerdo a las necesidades del investigador.

4.2.3. Estimación de la precipitación.

El método utilizado para determinar la precipitación fué el propuesto por Galton el cual se realiza mediante una Z calculada:

$$Z = \frac{\text{Log } \frac{x}{\bar{G}}}{\text{Log } G_g}$$

Donde:

x = datos originales

G = media aritmética

g = desviación geométrica

$$\text{Log } G = \frac{1}{n} \sum \text{Log } X_i \quad ; \quad y$$

$$\text{Log } G_g = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \text{Log } G)^2}{n}} \quad (17)$$

En primer lugar, se enlistaron los datos mensuales de precipitación; posteriormente se determinó el logaritmo de cada dato y se enlistó la diferencia $(\text{Log } X_i - \text{Log } G)^2$, para luego obtener los valores de Z calculada mediante la ecuación anteriormente ci

tada.

Finalmente se obtuvieron las probabilidades $P(Z \geq Z_0)$ mediante las tablas.

4.2.4. Estimación de la evapotranspiración potencial.

La metodología usada para obtener la evapotranspiración potencial fué la propuesta por Thornhwaite:

$$ETP = 1.6 \left(\frac{T}{I} \right)^a$$

Donde:

ETP = evapotranspiración potencial en un mes de 30 días en cm.

T = temperatura media del aire

I = índice de calor

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^{-3} - 7.7 \times 10^{-5} I^2 + 1.79 \times 10^{-2} I + 0.49239 \quad (16,17)$$

Para simplificar el procedimiento se usaron las tablas propuestas por Ortiz (1987).

La metodología usada con estas tablas es la siguiente:

- a) Se toma como base las temperaturas promedio por mes.
- b) Con la Tabla 2 se obtiene el índice de calor por mes; posteriormente se suman los valores mensuales y el resultado es el índice de calor que nos interesa.
- c) Utilizando la Tabla 3, con el valor I y temperatura media mensual se obtiene la evaporación media diaria sin ajustar (mm)-mensual.

- d) Conociendo los valores de latitud y con la Tabla 4 se obtiene la evaporación potencial ajustada.
- e) Finalmente se multiplican los valores de evaporación potencial ajustada por la evaporación potencial sin ajustar y se obtiene la evapotranspiración potencial mensual en mm.

Cabe aclarar que los otros métodos de estimación citados en la revisión literaria no se ajustan a los valores obtenidos de las estaciones ya que carecen de información de humedad relativa y velocidad del viento.

4.2.5. Estimación de los períodos de crecimiento.

Las figuras 5-12 se interpretan de acuerdo a los datos de precipitación promedio, ETP y 0.5 ETP; todos valores mensuales.

Para determinar los períodos de estación lluviosa y de crecimiento se siguen los criterios dados en el capítulo 2.4.7.

TABLA 3. Evaporación media diaria sin ajustar.

T°C	56.0	57.5	60.0	62.5	65.0	67.5	70.0	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5
10.50	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8
10.75	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.0	0.9
11.00	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8
11.25	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9
11.50	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
11.75	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
12.00	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
12.25	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1
12.50	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
12.75	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2
13.00	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2
13.25	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3
13.60	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
13.75	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4
14.00	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4
14.25	2.0	1.9	1.9	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5
14.50	2.0	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5
14.75	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
15.00	2.1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
15.25	2.2	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7
15.50	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7
16.75	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.9
16:00	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8
16.25	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
16.50	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
16.75	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
17.00	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
17.25	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1
17.50	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.1
17.75	2.5	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.2	2.2
18.00	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
18.25	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
18.50	2.6	2.7	2.7	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
18.75	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
19.00	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5
19.25	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
19.50	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.6	2.6
19.75	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
20.00	3.1	3.0	3.0	3.0	2.8	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
20.25	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8
20.50	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9

TABLA 3. Continuación.-

	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
T°C												
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.50	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.75	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.50	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4.75	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.00	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.50	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5.75	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.00	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.25	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6.50	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.1
6.75	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
7.00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7.25	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
7.50	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
7.75	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
8.00	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2
8.25	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
8.50	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
8.75	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
9.00	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
9.25	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
9.50	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
9.75	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10.00	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10.25	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4

TABLA 3. Continuación.-

T°C	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
10.50	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
10.75	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
11.00	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
11.25	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5
11.50	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5
11.75	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6
12.00	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6
12.25	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
12.50	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
12.75	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
13.00	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8
13.25	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8
13.50	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
13.75	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9
14.00	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9
14.25	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
14.50	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0
14.75	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
15.00	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
15.25	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
15.50	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2
15.75	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3
16.00	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3
16.25	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4
16.50	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4
16.75	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
17.00	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.8	1.6	1.5
17.25	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	1.9	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6
17.50	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6
17.75	2.2	2.1	2.1	3.0	2.0	1.9	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.7
18.00	2.3	2.2	3.1	2.1	2.1	2.0	2.0	1.9	1.9	1.6	1.8	1.9
18.25	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3	2.1	2.1	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8
18.50	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2	3.2	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9
18.75	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	3.1	2.0	2.0	2.0	2.0
19.00	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0
19.25	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1
19.50	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1
19.75	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.2	2.2	2.2	2.2
20.00	2.7	2.5	2.6	2.6	2.5	2.5	2.5	2.4	2.3	2.3	2.3	2.3
20.25	2.8	2.7	2.7	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4
20.50	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
20.75	2.9	2.8	2.8	2.8	2.0	2.8	7.7	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6
21.00	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6
21.25	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7
21.50	3.1	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	2.8	2.8	2.8	2.7
21.75	3.2	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8
22.00	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	2.9

TABLA 3. Continuación.-

T°C	85.0	87.5	90.0	92.5	95.0	97.5	100.0	102.5	105.0	107.5	110.0	112.5
22.25	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0
22.50	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
22.75	3.5	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
23.00	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
23.25	3.6	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3
23.50	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.4
23.75	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.4
24.00	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5
24.25	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6
24.50	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.7	3.7	3.7	3.7
24.75	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	3.8	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8
25.00	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9
25.25	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.0	4.0	4.0	4.0
25.50	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1
25.75	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	4.2
26.00	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.3	4.3	4.3	4.3
26.25	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4
26.50	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5

T°C	115.0	117.5	120.0	122.5	125.0	127.5	130.0	132.5	135.0	137.5	140.0
13.25	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	0.5	0.5
13.50	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.5
13.75	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5
14.00	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5
14.25	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.5
14.50	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.7	0.8	0.6	0.6
14.75	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.6	0.6
15.00	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
15.25	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7
15.50	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
15.75	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8
16.00	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9
16.25	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9
16.50	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9
16.75	1.4	1.3	1.3	1.2	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
17.00	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
17.25	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1
17.50	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2
17.75	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2
18.00	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3	1.3
18.25	1.8	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4
18.50	1.9	1.8	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4
18.75	1.9	1.6	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
19.00	1.9	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5

TABLA 3. Continuación.-

T°C	115.0	117.5	120.0	122.5	125.0	127.5	130.0	132.5	135.0	137.5	140.0
4.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4.75	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.00	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.25	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.50	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6.25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
6.75	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
7.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
7.25	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7.50	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7.75	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.00	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.25	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
8.50	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
8.75	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.00	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.25	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
9.50	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
9.75	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.00	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
10.25	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
10.50	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
10.75	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2
11.00	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2
11.25	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
11.50	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
11.75	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
12.00	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3
12.25	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3
12.50	0.7	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
12.75	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4
13.00	0.7	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4

TABLA 4. Duración mensual probable del día en el hemisferio --
norte en unidades de 12 horas: (Fuente: Thornthwaite y
Mather, 1957).

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0°	31.2	28.8	31.2	30.3	31.7	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
1	31.2	28.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2	31.2	30.3	31.2	30.3	31.2
2	31.2	28.2	31.2	30.3	31.5	30.6	31.2	31.2	30.3	31.2	30.0	30.9
3	30.9	28.2	30.9	30.3	31.5	30.6	31.5	31.2	30.3	31.2	30.0	30.9
4	30.9	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.5	31.5	30.3	30.9	30.0	30.6
5	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	30.9	31.8	32.5	30.3	30.9	29.7	30.6
6	30.6	27.9	30.9	30.6	31.8	31.2	31.8	31.5	30.3	30.9	29.7	30.3
7	30.3	27.6	30.9	30.6	32.1	31.2	32.1	31.8	30.3	30.9	29.7	30.3
8	30.3	27.6	30.9	30.9	32.	31.6	32.1	31.8	30.6	30.6	29.4	30.0
9	30.0	37.6	30.9	30.9	32.4	31.5	32.4	31.8	30.6	30.6	29.4	30.0
10	30.0	27.3	30.9	30.9	32.4	31.6	32.4	32.1	30.6	30.6	29.4	29.7
11	29.7	27.3	30.9	30.9	32.7	31.8	32.7	32.1	30.6	30.6	29.1	29.7
12	29.7	27.3	30.9	31.2	32.7	32.1	33.0	32.1	30.6	30.3	29.1	29.4
13	29.4	27.3	30.9	31.2	33.0	32.1	33.0	32.4	30.6	30.3	28.8	29.4
14	29.4	27.3	30.9	31.7	33.0	32.4	33.3	32.4	30.6	30.3	28.8	29.1
15	29.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.4	33.6	32.4	30.6	30.3	28.5	29.1
16	29.1	27.3	30.9	31.2	33.3	32.7	33.6	32.7	30.6	30.3	28.5	28.8
17	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
18	28.8	27.0	30.9	31.9	33.6	33.0	33.9	33.0	30.6	30.0	26.2	28.5
19	28.9	27.0	30.9	31.9	33.9	33.5	33.2	33.0	30.6	30.6	27.9	28.9
20	28.5	27.0	30.9	31.5	33.9	33.3	34.2	33.3	30.6	30.0	33.9	28.2
21	28.2	27.0	30.9	31.5	33.9	33.3	34.5	33.3	30.6	30.0	27.6	28.2
22	28.2	26.7	30.9	31.8	34.2	33.6	34.5	33.3	30.6	29.7	27.6	27.9
23	27.9	26.7	30.9	31.8	34.2	33.9	34.8	33.6	30.6	29.7	27.6	27.6
24	27.9	26.7	30.9	31.8	34.5	34.2	34.8	33.6	30.6	29.7	27.3	27.6
25	27.3	28.7	30.9	31.8	34.5	34.2	35.1	33.6	30.6	29.7	27.3	27.3
26	27.6	28.4	30.9	32.1	34.8	34.5	35.1	33.6	30.6	29.7	27.3	27.3
27	27.5	29.4	30.9	32.1	34.6	34.5	35.4	33.9	30.6	29.7	27.0	27.0
28	27.3	28.4	30.9	32.1	35.1	34.8	35.4	33.8	30.9	29.4	27.0	27.0
29	27.8	28.1	30.9	32.1	36.1	34.8	35.7	33.9	30.9	29.4	26.7	26.7
30	27.0	23.1	20.0	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.7	26.4
31	27.0	28.1	30.9	32.4	35.4	35.1	36.0	34.2	30.9	29.4	26.4	26.4
32	26.1	25.8	30.9	32.4	25.7	35.4	36.3	34.5	30.9	29.4	26.4	26.1
33	26.4	25.8	30.9	32.7	35.7	35.7	35.3	34.5	30.9	29.1	28.1	25.8
34	26.4	28.8	30.9	32.7	36.0	36.0	36.6	34.8	30.9	29.1	26.1	25.8
35	26.1	25.5	30.9	32.7	36.3	35.3	36.9	34.8	30.9	29.1	25.8	25.5
36	26.1	25.5	30.9	33.0	35.3	36.6	37.2	34.8	30.9	29.1	25.8	25.2
37	20.8	25.5	30.9	33.0	36.6	36.9	37.5	35.1	30.9	29.1	25.5	24.9
38	25.5	25.2	30.9	33.0	36.9	37.2	37.5	35.1	31.2	28.8	25.2	24.9
39	25.5	25.2	30.9	33.3	36.9	37.2	37.8	35.4	31.2	28.8	25.2	24.8
40	25.2	24.9	30.9	33.3	37.2	37.5	38.1	35.4	31.2	28.8	24.9	24.3
41	24.9	24.9	30.9	33.3	37.5	37.8	38.1	35.7	31.2	28.8	24.6	24.0
42	24.6	24.6	30.9	33.6	37.8	33.1	38.4	35.7	31.2	28.5	24.6	23.7
43	24.3	24.6	30.5	33.6	37.8	38.4	38.7	36.0	31.2	28.5	24.3	23.1
44	24.3	24.3	30.6	33.6	38.1	38.1	33.0	26.0	31.2	28.5	24.0	22.8

V. RESULTADOS

5.1. Radiación solar

La radiación solar presenta variaciones ocasionadas por la incidencia de los rayos solares, cuyo efecto permanente se vé in fluido por elementos meteorológicos como la nubosidad.

La radiación solar a lo largo del año presenta una distribución normal para Almoloya y Guevea con valores máximos en el mes de mayo de 9.213 y 9.65 mm de agua evaporable por día respectivamente. Sus valores mínimos estan en el mes de diciembre con --- 6.003 mm de agua evaporable por día para Almoloya y 6.37 mm de - agua evaporable por día para Guevea.

Guivicía, Santiago Chivela, Lázaro Cárdenas, San Juan Gui-- chicovi, El Barrio y La Cumbre presentan una distribución bimo-- dal a través del año.

En Guivicía a partir de enero la radiación solar vá aumen-- tando hasta llegar a mayo con 9.65 mm de agua evaporable por día; julio y agosto presentan un promedio de 8.26 mm de agua evapora-- ble por día y en octubre se encuentra el segundo máximo con 8.06 mm de agua evaporable por día. Septiembre tiene el mínimo valor del período de radiación máximo con 7.66 mm de agua evaporable-- por día.

En Santiago Chivela, mayo es el mes que tiene mayor radia-- ción solar con 9.43 mm de agua evaporable por día y su segundo - valor máximo se encuentra en julio con 8.82 mm de agua evapora-- ble por día. Junio presenta 8.70 mm de agua evaporable por día.

En Lázaro Cárdenas se distribuyen los máximos valores en -- abril y septiembre con 7.21 y 6.58 mm de agua evaporable por día respectivamente. El mes cuya radiación solar es la menor en el período de las máximas es julio con 5.94 mm de agua evaporable -- por día.

En San Juan Guichicovi los meses que presentan mayor radiación solar son mayo y agosto con 9.57 y 8.40 mm de agua evaporable por día respectivamente. Julio tiene una radiación solar de 7.71 mm de agua evaporable por día.

El Barrio presenta su primer valor máximo en los meses de -- abril, mayo y junio con un promedio de 8.3 mm de agua evaporable por día y un segundo en octubre con 7.3 mm de agua evaporable -- por día. Su mínimo valor en este período está en septiembre con 6.58 mm de agua evaporable por día.

En La Cumbre se presentan los períodos con máximos valores -- en mayo y septiembre con 9.5 y 7.8 mm de agua evaporable por día respectivamente. El período mínimo de los valores máximos se en encuentran en agosto con 7.56 mm de agua evaporable por día.

En Lázaro Cárdenas y San Juan Guichicovi el mes cuya radiación solar es la mínima mensual del año es enero con 5.02 y 6.14 mm de agua evaporable por día respectivamente. Las demás esta-- ciones presentan su mínima radiación solar en diciembre y van -- desde 5.91 hasta 6.84 mm de agua evaporable por día en el Ba--- rrio y Guivicía respectivamente.

LOS CUADROS 14 AL 29 FUERON UTILIZADOS COMO BASE PARA LA --
ELABORACION DEL "PROMEDIO MENSUAL DE EQUIVALENCIA APROXIMA-
DA EN NUBOSIDAD (n/N) Y RADIACION SOLAR ($\text{mm H}_2\text{O}$ EVAPORABLE/
DIA) PARA LAS ESTACIONES DE ESTUDIO". (Cuadro 30).

CUADRO 14. Nubosidad media (c) décimos. Guivicia.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES										
ENE.		2.81	4.74	2.03	2.42	1.64	2.42	2.55	3.19	5.13
FEB.		2.24	4.29	2.43	2.71	2.24	2.29	1.71	2.71	2.59
MAR.		1.65	1.39	2.16	2.55	1.64	2.81	2.29	1.90	1.77
ABR.		1.00	2.87	1.53	1.67	1.80	3.13	1.13	1.93	1.27
MAY.		1.00	1.65	3.84	2.03	2.55	2.55	2.81	1.65	2.55
JUN.		55.3	2.87	6.2	3.4	5.67	3.13	2.33	4.47	4.20
JUL.	3.45	4.74	6.15	4.35	4.61	4.61	3.58	4.87	5.64	3.84
AGO.	4.87	5.23	4.61	4.98	4.23	4.52	3.19	3.45	5.39	
SEP.	6.87	6.73	3.67	5.1	4.47	4.87	3.00	5.00	3.13	
OCT.	3.84	2.16	2.81	2.55	3.58	1.90	3.19	2.93	2.42	
NOV.	3.00	3.00	3.40	1.27	2.60	1.53	2.2	3.13	3.13	
DIC.	2.55	3.42	2.55	4.10	2.29	1.65	2.55	3.71	2.55	

CUADRO 15. Nubosidad media (c) Décimos. Santiago Chivela.

AÑO	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES											
ENE.	5.13	5.25	4.10	2.35	3.45	4.74	5.26	3.58	5.90	4.23	5.64
FEB.	4.57	4.29	4.59	1.57	4.71	4.57	4.86	4.28	3.43	4.14	4.31
MAR.	2.42	3.45	2.42	2.93	3.45	3.71	3.52	3.84	3.45	3.45	3.32
ABR.	2.2	1.93	4.33	2.2	3.27	3.13	1.53	1.53	1.93	4.47	2.20
MAY.	2.94	2.15	2.94	2.55	3.84	2.55	3.06	2.29	2.93	3.84	2.16
JUN.	4.47	4.07	5.27	5.13	4.6	2.73	3.40	5.53	3.27	2.73	3.40
JUL.	3.84	3.71	2.81	2.68	4.48	4.23	4.35	5.00	3.06	4.74	2.81
AGO.	4.10	4.87	3.71	3.58	2.93	3.97	4.10	5.26	2.55	3.58	
SEP.	6.37	5.8	5.4	4.47	3.93	4.60	5.53	4.84	3.53	1.17	
OCT.	5.13	6.59	4.61	4.74	5.13	4.10	3.06	3.87	3.84	4.48	
NOV.	4.2	5.8	2.4	5.53	4.07	4.73	3.80	3.27	3.80	4.33	
DIC.	4.48	5.26	2.19	4.74	4.87	5.13	4.48	5.00	5.39	4.35	

CUADRO 16. Nubosidad media (c) décimos. Lázaro Cárdenas.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES										
ENE.		5.90	5.64	7.32	7.58	8.35	7.00	6.16	7.45	8.61
FEB.		6.24	7.57	3.57	8.14	8.45	1.00	2.86	8.57	8.86
MAR.		5.90	4.61	7.13	7.58	7.58	4.18	1.90	8.23	3.97
ABR.		5.40	3.27	8.33	4.73	8.74	6.87	1.00	9.00	4.73
MAY.		4.35	4.55	7.77	8.23	8.47	7.71	7.45	8.61	1.39
JUN.		6.73	7.13	8.33	7.40	8.47	7.53	8.73	3.93	6.20
JUL.		6.68	6.81	9.00	8.10	9.00	8.23	9.61	9.00	6.00
AGO.		6.42	8.48	8.22	8.61	8.48	8.74	8.63	3.97	
SEP.	5.93	7.67	7.00	8.07	3.40	8.40	8.07	8.60	4.07	
OCT.	7.00	6.55	4.93	8.42	8.48	8.22	6.68	8.35	8.23	
NOV.	5.80	7.40	3.67	8.73	7.80	6.67	4.33	8.20	8.73	
DIC.	5.64	6.93	6.81	4.23	7.58	7.71	5.52	8.61	8.22	

CUADRO 17. Nubosidad media (c) décimos. Congregación Almoloya.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
MES									
ENE.		5.00	5.13	3.58	2.16	2.16	3.71	6.03	3.84
FEB.		1.28	5.57	2.86	5.71	3.90	4.43	3.86	3.86
MAR.		3.97	3.35	3.32	3.45	1.90	3.06	4.74	4.22
ABR.		5.27	4.33	4.60	2.60	1.93	3.66	1.00	3.67
MAY.		4.74	3.97	3.58	2.42	2.81	3.97	3.45	1.00
JUN.		4.87	5.00	4.47	2.20	3.13	5.40	3.80	2.87
JUL.		5.26	4.87	5.00	4.23	3.84	4.61	4.87	2.42
AGO.	6.03	5.13	6.03	3.84	5.03	4.74	7.06	4.61	2.81
SEP.	4.73	6.07	5.40	5.00	6.20	5.53	5.10	5.53	2.33
OCT.	3.45	5.39	6.42	5.00	5.00	2.42	4.35	3.84	1.00
NOV.	4.87	5.93	4.33	3.13	4.07	3.13	4.07	3.80	4.17
DIC.	4.74	8.23	2.93	3.84	3.97	3.26	5.13	3.58	2.16

CUADRO 18. Nubosidad media (c) décimos. San Juan Guichicovi.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986
MES					
ENE.		1.13	4.35	4.10	8.10
FEB.		2.43	3.48	3.82	5.85
MAR.	1.90	1.90	1.90	3.71	2.35
ABR.	2.73	3.20	3.00	5.27	1.80
MAY.	2.81	2.03	2.61	3.19	2.42
JUN.	2.73	2.57	3.99	4.60	6.07
JUL.	5.39	1.39	5.42	7.32	7.58
AGO.	4.23	2.81	2.93	4.36	6.81
SEP.	5.90	3.93	3.67	5.67	5.40
OCT.	4.23	5.26	4.10	3.71	1.90
NOV.	3.13	3.40	3.13	3.53	1.00
DIC.	1.90	5.26	3.19	3.00	1.64

CUADRO 19. Nubosidad media (c) décimos. El Barrio.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES							
ENE.		1.77	1.77	1.52	7.97	6.58	1.64
FEB.		6.71	2.10	7.57	3.00	7.43	1.96
MAR.	1.39	5.13	1.39	4.23	3.84	7.58	2.81
ABR.	1.40	5.48	3.13	8.01	2.73	7.27	1.00
MAY.	3.97	3.06	3.58	9.00	7.19	3.17	1.00
JUN.	3.27	3.27	5.40	9.00	4.33	3.53	3.93
JUL.	3.32	4.35	7.45	9.00	3.58	5.13	3.71
AGO.	3.19	3.58	9.00	4.74	5.90	3.45	
SEP.	3.33	8.60	7.93	9.00	5.53	3.93	
OCT.	2.16	8.74	8.61	9.00	4.10	4.87	
NOV.	1.40	2.20	9.00	4.47	3.40	4.00	
DIC.	3.93	1.00	9.00	6.42	3.06	5.77	

CUADRO 20. Nubosidad media (c) décimos. Guevea de Humboldt.

AÑO	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
MES												
ENE.		2.03	2.93	1.45	1.77	1.25	2.03	2.55	4.23	4.61	3.84	5.64
FEB.		1.29	1.18	2.57	1.29	1.57	2.79	2.57	2.14	4.86	2.65	5.14
MAR.		1.32	1.13	1.00	1.77	2.16	1.26	1.90	3.06	5.00	2.16	4.35
ABR.		1.53	1.27	1.03	1.00	1.93	1.80	1.93	2.47	3.27	2.47	2.87
MAY.	3.32	1.90	1.39	1.26	1.52	2.16	3.97	2.55	3.58	2.16	1.13	3.84
JUN.	3.80	1.53	3.13	7.53	3.67	3.13	5.00	3.67	5.40	7.13	4.20	4.70
JUL.	3.58	1.26	1.39	2.16	3.19	7.19	6.93	6.55	5.64	5.39	5.00	
AGO.	3.45	4.97	1.52	5.64	3.45	6.16	4.87	6.93	5.00	6.29	6.16	
SEP.	3.53	1.67	3.27	1.40	5.13	5.67	5.13	4.87	5.80	4.87	5.80	
OCT.	4.23	1.64	2.55	3.71	3.71	6.55	2.42	5.39	5.26	5.77	6.81	
NOV.	2.60	2.07	1.80	1.13	2.73	3.53	3.80	3.00	4.60	4.20	3.40	
DIC.	2.55	2.93	1.90	2.16	3.49	2.84	6.68	4.23	3.84	2.93	4.87	

CUADRO 21. Nubosidad media (c) décimos. La Cumbre.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES							
ENE.		4.81	4.35	4.10	4.22	1.13	6.03
FEB.		2.29	3.62	5.00	3.14	1.43	1.96
MAR.		1.77	3.32	4.61	2.03	2.29	2.55
ABR.		3.00	1.80	2.87	1.93	1.80	1.00
MAY.	4.35	2.29	3.97	3.06	2.93	1.00	1.00
JUN.	1.43	1.67	3.67	4.60	2.77	5.13	2.60
JUL.	5.64	4.35	5.00	6.81	4.35	5.64	4.61
AGO.	6.55	3.58	5.13	5.90	3.29	6.55	7.58
SEP.	3.67	5.00	6.07	4.27	5.67	3.93	4.07
OCT.	3.58	4.48	5.64	4.74	3.58	2.16	4.23
NOV.	4.87	3.67	4.20	4.47	3.93	2.60	4.47
DIC.	3.84	3.58	5.39	5.64	3.06	3.06	4.48

CUADRO 22. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Guivicía.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES										
ENE.		0.75	0.55	0.80	0.78	0.83	0.78	0.78	0.75	0.55
FEB.		0.80	0.65	0.78	0.75	0.80	0.80	0.80	0.75	0.78
MAR.		0.83	0.85	0.80	0.78	0.83	0.75	0.80	0.80	0.83
ABR.		0.85	0.75	0.83	0.83	0.80	0.75	0.85	0.80	0.85
MAY.		0.85	0.83	0.65	0.80	0.78	0.78	0.75	0.83	0.78
JUN.		0.53	0.75	0.50	0.70	0.53	0.75	0.78	0.60	0.65
JUL.	0.70	0.55	0.50	0.60	0.60	0.60	0.70	0.55	0.53	0.65
AGO.	0.55	0.55	0.60	0.60	0.65	0.60	0.75	0.70	0.52	
SEP.	0.40	0.40	0.70	0.55	0.60	0.55	0.75	0.55	0.75	
OCT.	0.65	0.80	0.75	0.78	0.70	0.80	0.75	0.75	0.78	
NOV.	0.75	0.75	0.70	0.85	0.78	0.83	0.80	0.75	0.75	
DIC.	0.78	0.70	0.78	0.65	0.78	0.83	0.78	0.65	0.78	

CUADRO 23. Equivalencia aproximada en Nubosidad n/N. Santiago Chivela.

AÑO	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES											
ENE.	0.55	0.55	0.65	0.80	0.70	0.55	0.55	0.60	0.50	0.65	0.525
FEB.	0.55	0.65	0.55	0.83	0.55	0.60	0.55	0.65	0.70	0.65	0.60
MAR.	0.80	0.70	0.8	0.75	0.70	0.75	0.70	0.65	0.70	0.70	0.70
ABR.	0.80	0.80	0.65	0.80	0.75	0.75	0.80	0.825	0.80	0.65	0.80
MAY.	0.75	0.80	0.75	0.77	0.65	0.775	0.775	0.80	0.80	0.65	0.80
JUN.	0.60	0.65	0.55	0.55	0.60	0.75	0.75	0.525	0.70	0.75	0.70
JUL.	0.65	0.65	0.75	0.77	0.60	0.65	0.65	0.55	0.75	0.60	0.75
AGO.	0.65	0.55	0.65	0.70	0.75	0.65	0.65	0.55	0.80	0.70	
SEP.	0.53	0.50	0.53	0.60	0.65	0.60	0.60	0.55	0.70	0.85	
OCT.	0.55	0.40	0.60	0.55	0.55	0.65	0.65	0.65	0.65	0.60	
NOV.	0.65	0.50	0.77	0.55	0.65	0.55	0.60	0.70	0.65	0.65	
DIC.	0.60	0.55	0.80	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.575	0.65	

CUADRO 24. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Lázaro Cárdenas.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES										
ENE.		0.50	0.53	.40	0.45	0.30	0.40	0.30	0.35	0.25
FEB.		0.50	0.70	0.65	0.30	0.20	0.85	0.75	0.25	0.15
MAR.		0.50	0.60	0.40	0.30	0.35	0.65	0.80	0.30	0.65
ABR.		0.53	0.75	0.30	0.55	0.15	0.40	0.85	0.15	0.55
MAY.		0.62	0.60	0.3	0.30	0.25	0.30	0.35	0.25	0.85
JUN.		0.40	0.40	0.30	0.45	0.25	0.35	0.15	0.65	0.30
JUL.		0.40	0.40	0.15	0.30	0.15	0.30	0.25	0.15	0.30
AGO.		0.45	0.30	0.30	0.20	0.20	0.15	0.25	0.65	
SEP.	0.50	0.60	0.40	0.20	0.70	0.20	0.30	0.25	0.65	
OCT.	0.40	0.45	.55	0.15	0.20	0.30	0.35	0.30	0.30	
NOV.	0.50	0.50	0.65	0.15	0.30	0.35	0.60	0.30	0.15	
DIC.	0.53	0.40	0.40	0.65	0.45	0.30	0.55	0.25	0.30	

CUADRO 25. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Congregación Almoloya.

AÑO	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
MES									
ENE.		0.55	0.543	0.753	0.80	0.80	0.65	0.50	0.65
FEB.		0.836	0.521	0.757	0.50	0.65	0.65	0.65	0.65
MAR.		0.553	0.715	0.718	0.75	0.80	0.75	0.55	0.65
ABR.		0.536	0.60	0.59	0.75	0.80	0.65	0.85	0.65
MAY.		0.576	0.653	0.692	0.80	0.75	0.65	0.75	0.85
JUN.		0.563	0.55	0.603	0.80	0.75	0.55	0.65	0.75
JUL.		0.537	0.563	0.55	0.65	0.65	0.55	0.55	0.80
AGO.	0.497	0.543	0.497	0.55	0.55	0.55	0.40	0.55	0.75
SEP.	0.577	0.499	0.55	0.55	0.50	0.50	0.55	0.50	0.80
OCT.	0.705	0.530	0.458	0.55	0.55	0.80	0.65	0.65	0.85
NOV.	0.565	0.503	0.615	0.75	0.65	0.75	0.65	0.65	0.65
DIC.	0.620	0.80	0.75	0.65	0.65	0.75	0.55	0.65	0.80

CUADRO 26. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. San Juan de Guichicovi.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986
MES					
ENE.		0.85	0.60	0.65	0.30
FEB.		0.775	0.70	0.65	0.50
MAR.	0.80	0.80	0.80	0.70	0.775
ABR.	0.775	0.75	0.75	0.525	0.80
MAY.	0.75	0.80	0.775	0.75	0.775
JUN.	0.775	0.775	0.65	0.60	0.50
JUL.	0.525	0.825	0.525	0.35	0.35
AGO.	0.65	0.75	0.75	0.60	0.40
SEP.	0.50	0.65	0.70	0.525	0.525
OCT.	0.65	0.525	0.65	0.70	0.80
NOV.	0.75	0.70	0.75	0.70	0.85
DIC.	0.80	0.525	0.75	0.75	0.825

CUADRO 27. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. El Barrio.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES							
ENE.		0.80	0.80	0.80	0.90	0.40	0.80
FEB.		0.40	0.80	0.90	0.75	0.40	0.80
MAR.	0.85	0.55	0.85	0.65	0.65	0.30	0.75
ABR.	0.85	0.525	0.75	0.3	0.75	0.40	0.85
MAY.	0.65	0.75	0.65	0.15	0.40	0.75	0.85
JUN.	0.75	0.75	0.55	0.15	0.65	0.65	0.65
JUL.	0.75	0.65	0.40	0.15	0.65	0.55	0.65
AGO.	0.75	0.65	0.15	0.55	0.50	0.75	
SEP.	0.75	0.15	0.30	0.15	0.50	0.65	
OCT.	0.80	0.15	0.15	0.15	0.65	0.55	
NOV.	0.85	0.80	0.15	0.55	0.75	0.65	
DIC.	0.65	0.85	0.15	0.50	0.75	0.50	

CUADRO 28. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. Guevea de Humboldt.

AÑO	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
MES												
ENE.		0.80	0.75	0.82	0.80	0.85	0.80	0.80	0.65	0.63	0.65	0.53
FEB.		0.85	0.85	0.75	0.85	0.83	0.75	0.80	0.80	0.55	0.75	0.55
MAR.		0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.85	0.80	0.75	0.55	0.80	0.62
ABR.		0.825	0.85	0.85	0.85	0.80	0.80	0.80	0.75	0.75	0.78	0.75
MAY.	0.75	0.80	0.85	0.85	0.83	0.80	0.65	0.80	0.70	0.80	0.85	0.65
JUN.	0.65	0.825	0.75	0.70	0.70	0.75	0.55	0.60	0.53	0.40	0.65	0.55
JUL.	0.65	0.80	0.85	0.80	0.75	0.40	0.40	0.45	0.52	0.55	0.55	
AGO.	0.75	0.55	0.82	0.53	0.70	0.50	0.55	0.40	0.55	0.50	0.50	
SEP.	0.70	0.75	0.75	0.85	0.55	0.50	0.55	0.55	0.50	0.55	0.50	
OCT.	0.625	0.80	0.78	0.65	0.65	0.45	0.80	0.55	0.50	0.50	0.40	
NOV.	0.80	0.80	0.80	0.85	0.75	0.70	0.65	0.75	0.60	0.65	0.70	
DIC.	0.80	0.80	0.80	0.80	0.66	0.75	0.40	0.65	0.65	0.75	0.55	

CUADRO 29. Equivalencia aproximada en nubosidad n/N. La Cumbre.

AÑO	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
MES							
ENE.		0.55	0.65	0.65	0.65	0.85	0.50
FEB.		0.80	0.65	0.55	0.75	0.83	0.80
MAR.		0.80	0.75	0.55	0.80	0.80	0.80
ABR.		0.75	0.80	0.75	0.80	0.80	0.85
MAY.	0.65	0.80	0.65	0.75	0.75	0.85	0.85
JUN.	0.85	0.80	0.65	0.55	0.75	0.55	0.78
JUL.	0.50	0.65	0.55	0.40	0.65	0.50	0.55
AGO.	0.40	0.65	0.55	0.50	0.75	0.40	0.30
SEP.	0.65	0.55	0.55	0.65	0.50	0.65	0.65
OCT.	0.65	0.60	0.50	0.55	0.65	0.80	0.65
NOV.	0.55	0.65	0.55	0.60	0.65	0.75	0.60
DIC.	0.65	0.65	0.65	0.50	0.75	0.75	0.60

CUADRO 30. Promedio mensual de equivalencia aproximada en nubosidad (n/N) y radiación solar (mm de H2O evaporable/día) para las estaciones de estudio.

ESTACION	GUVICIA	S. CHIVELA	L. CARDENAS	ALMOLOYA	S. J. GUCHI EL BARRIO		GUEVEA DE LA CUMBRE									
					COVI	H.	R. S.	R. S.								
MES	$\bar{x}n/N$	R. S.	$\bar{x}n/N$	R. S.	$\bar{x}n/N$	R. S.	$\bar{x}n/N$	R. S.								
ENE.	0.73	6.83	0.60	6.14	0.39	5.02	0.66	6.844	0.60	6.14	0.75	6.932	0.73	6.83	0.64	6.348
FEB.	0.77	8.17	0.62	7.25	0.48	6.38	0.65	7.432	0.66	7.49	0.68	7.322	0.76	8.67	0.73	7.93
MAR.	0.81	9.00	0.72	8.41	0.51	7.02	0.70	8.274	0.775	8.77	0.66	8.011	0.78	8.80	0.75	8.60
ABR.	0.81	9.60	0.77	9.32	0.47	7.21	0.68	8.690	0.72	8.97	0.63	8.339	0.80	9.53	0.79	9.46
MAY.	0.78	9.65	0.75	9.43	0.42	7.05	0.72	9.213	0.77	9.57	0.60	8.346	0.78	9.65	0.76	9.50
JUN.	0.64	8.62	0.65	8.70	0.36	6.60	0.65	8.700	0.66	8.77	0.60	8.336	0.64	8.62	0.71	9.13
JUL.	0.60	8.32	0.67	8.82	0.27	5.94	0.61	8.392	0.515	7.71	0.54	7.888	0.61	8.39	0.54	7.89
AGO.	0.61	8.26	0.66	8.62	0.31	6.14	0.54	7.767	0.63	8.40	0.56	7.909	0.58	8.05	0.51	7.56
SEP.	0.58	7.66	0.61	7.86	0.42	6.58	0.56	7.520	0.58	7.66	0.42	6.581	0.61	7.86	0.60	7.80
OCT.	0.75	8.06	0.58	7.01	0.33	5.47	0.64	7.379	0.665	7.53	0.41	7.317	0.61	7.19	0.63	7.321
NOV.	0.77	7.29	0.63	6.52	0.39	5.20	0.64	6.577	0.75	7.18	0.63	6.522	0.73	6.52	0.62	6.47
DIC.	0.75	6.84	0.59	6.00	0.43	5.16	0.59	6.003	0.73	6.74	0.57	5.898	0.66	6.37	0.65	6.32

5.2. Temperatura

En esta zona la temperatura es relativamente variable encontrándose una media anual entre 21°C , en La Cumbre y 25.5°C en El Barrio. Esta variación está determinada por la altitud y la nubosidad, ya que el gradiente altotérmico se comporta a la inversa en las altitudes 180, 190, 205 y 230 m.s.n.m.; es decir que en estas estaciones la temperatura promedio anual es mayor que las que tienen menor altura.

De acuerdo con el Cuadro 31 los meses más calientes son de abril a junio, sobresaliendo el mes de mayo que va desde 23.56°C en La Cumbre hasta 27.99°C en Almoloya.

Las temperaturas promedio mensual más bajas son de diciembre a febrero encontrándose las inferiores en el mes de enero que va desde 17.29°C en La Cumbre hasta 21.79°C en Santiago Chivela.

Haciendo una comparación de los valores extremos de la temperatura promedio mensual, se observa que La Cumbre presenta los mínimos a través del año, sobresaliendo el mes de mayo con 17.29°C .

Las estaciones cuya temperatura promedio mensual es la superior a lo largo del año son:

- a) Guivicia, con marzo, abril, junio, agosto y septiembre;
- b) Santiago Chivela, con enero, julio y diciembre;
- c) Almoloya, con febrero y mayo; y
- d) Lázaro Cárdenas, con octubre.

El régimen térmico no ofrece limitantes al desarrollo de -- cultivos. Las temperaturas frías no son problema; más frecuentemente y potencialmente dañinas son las temperaturas altas, que -- también pueden presentarse en períodos secos, lo que aumenta la -- demanda de agua.

5.3. Precipitación

El régimen de precipitación en esta zona es determinado --- principalmente por la dirección de los vientos dominantes y por -- las montañas encontrándose valores desde 778.1 en Lázaro Cárdenas -- hasta 2085 mm anuales en San Juan Guichicovi.

Las Figuras 5 a 12 muestran como en el transcurso del año -- la estación lluviosa empieza en el mes de abril para las estaciones Santiago Chivela, Almoloya, El Barrio y La Cumbre, mientras -- que en Guevea de Humboldt es en mayo; terminando en estos luga-- res en diciembre. En las estaciones Guivicía, Lázaro Cárdenas y San Juan Guichicovi llueve prácticamente en todos los meses del -- año.

La distribución anual se encuentra de la siguiente manera:

- a) Guivicía: presenta una distribución normal con su valor máxi-- mo en el mes de agosto de 410 mm.
- b) Santiago Chivela: su distribución es bimodal alcanzando su -- primer máximo después del período seco en el mes de junio con 299 mm y otro en septiembre con 312 mm.

CUADRO 31. Temperatura promedio mensual y anual para las estaciones de estudio.

MES	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	\bar{x}
ESTACION													
Guivicía	20.80	22.18	25.76	26.58	27.73	27.11	22.96	26.02	26.31	24.91	23.86	22.62	24.4
Santiago Chivela	21.79	22.74	24.96	26.55	27.95	26.71	25.92	25.82	25.44	24.75	23.45	22.80	24.9
Lázaro Cárdenas	21.09	22.20	24.44	26.05	27.37	26.45	25.48	25.24	25.06	24.32	22.62	22.02	24.4
Congregación Almoloya	21.29	23.13	25.24	26.19	27.99	26.55	25.55	25.58	25.32	24.55	23.62	22.40	25.0
San Juan Guichicovi	18.9	19.67	24.04	25.62	27.83	26.22	25.53	25.68	26.13	24.44	24.41	22.17	24.17
El Barrio	20.36	21.80	23.36	24.85	26.37	25.69	25.01	24.50	24.25	23.84	23.14	22.25	25.5
Guevea de Humboldt	21.51	21.92	22.64	24.28	25.20	24.81	24.47	24.53	24.17	23.35	22.41	21.91	23.40
La Cumbre	17.29	19.04	20.05	22.27	23.56	22.49	22.19	22.67	21.68	21.05	20.20	19.01	21.0

- c) Lázaro Cárdenas: presenta una distribución trimodal con su primer mes superior en febrero cuya precipitación máxima a través de 9 años ha sido de 66 mm la cual cubre una estación de crecimiento muy corto para el desarrollo de los cultivos. Su segundo máximo se encuentra en el mes de julio con una precipitación de 132 mm y un tercero en septiembre con 144 mm.
- d) Almoloya: presenta una distribución bimodal con sus valores máximos en los meses de julio y septiembre con una precipitación de 190 y 219 mm respectivamente.
- e) San Juan Guichicovi: su distribución es bimodal con su primer máximo en julio con 298 mm y otro en octubre con 315 mm.
- f) El Barrio: su distribución es relativamente bimodal aunque en el mes de marzo se presentan precipitaciones cuya máxima en 7 años ha sido de 40 mm la cual no satisface las necesidades del cultivo por existir mayor evaporación. Los meses de junio y julio se les puede considerar como los primeros valores máximos cuya precipitación promedio se encuentra entre 190-195 mm por mes; su segundo valor máximo del año se presenta en septiembre con 213 mm.
- g) Guevea de Humboldt: presenta una distribución normal donde la máxima precipitación se encuentra en el mes de agosto con un promedio de 307 mm.
- h) La Cumbre: abril es el mes que presenta menor precipitación, encontrándose a lo largo de 6 años una máxima de 30 mm. A partir de este mes la precipitación vá aumentando hasta alcanzar un máximo de 378 mm en julio. La distribución en este lugar es bimodal, con otro máximo en septiembre de 281 mm.

Las oscilaciones interanuales pueden ser considerables como lo indican los cuadros 32 al 39. De esta manera, mayo en El Barrio puede oscilar entre 0 a 183.5 mm; noviembre en La Cumbre entre 69 a 207 mm, etc.

El mes más seco en la estación lluviosa es julio (excepto - las estaciones Guivicía y Guevea de Humboldt que presentan una - distribución normal), con precipitaciones promedio que van desde 132 mm en Lázaro Cárdenas hasta 398 mm en Guivicía.

CUADRO 32. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: Guivicia.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
71.2	10	76.4	6	132.8	7	142.4	9	382.8	2	510.8	11	642.1	14	967.3	2	438.7	18	369.9	11	103.4	11	111.1	10
65.6	12	51.5	31	68.2	26	105.6	14	161.1	16	458.1	15	550.2	21	453.6	33	437.2	18	300.7	15	89.9	19	96.6	10
39.5	12	50.1	39	63.5	33	67.1	25	83.2	46	370.2	26	553.9	25	442.1	35	341.6	28	250.1	21	80.8	27	91.1	17
39.3	41	47.7	42	37.2	48	37.2	44	65.9	58	365.8	33	471.2	31	401.9	43	335.9	29	154.0	41	69.9	41	56.0	49
31.8	55	42.6	63	34.0	52	21.0	62	61.1	62	336.5	35	391.7	57	382.0	47	325.7	30	125.0	50	66.1	47	49.7	55
29.0	62	39.7	71	21.6	71	15.9	71	52.9	69	214.3	66	389.1	57	313.3	64	272.2	39	99.9	60	61.6	53	49.2	55
28.6	63	33.3	87	21.5	71	10.2	83	52.9	69	190.4	73	315.0	59	293.3	69	106.3	82	95.0	62	57.8	59	40.8	69
33.5	69	29.8	93	7.3	96	6.0	92	40.9	81	129.8	91	177.7	88	218.5	87	86.0	88	54.4	83	49.2	74	33.1	81
10.8	98	27.9	96	0.0	100	0.0	100	39.5	82	127.6	92	114.2	98	214.1	88	57.8	96	25.0	97	27.5	98	20.4	96

PP \bar{x} anual = 2028.1 mm.

CUADRO 33. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: Santiago Chivola Mezquite

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
41.4	11	60.3	6	66.8	6	72.4	6	209.4	12	522.0	7	295.9	5	425.1	9	643.9	14	150.4	12	57.0	7	58.7	5
39.2	13	23.1	22	37.3	14	38.6	13	204.6	13	499.0	10	247.9	18	371.6	12	602.0	15	121.3	20	47.1	17	45.6	9
36.7	14	22.0	23	35.6	15	10.6	41	188.1	14	319.1	21	223.1	31	237.2	29	438.0	24	118.2	21	44.3	21	19.0	40
25.3	26	19.6	27	19.1	33	9.4	57	164.4	18	276.0	28	218.6	34	236.0	29	379.8	30	100.4	30	36.1	41	18.2	42
19.3	37	13.4	39	13.3	46	5.5	58	61.1	52	171.5	54	205.0	44	196.2	39	334.5	36	82.7	41	36.4	43	16.8	46
16.8	39	11.0	45	9.3	59	2.0	82	39.8	69	169.4	55	201.6	47	123.8	62	272.7	44	76.9	46	34.3	47	14.0	54
9.8	67	8.1	55	8.0	65	1.7	85	33.2	75	164.2	56	192.7	54	116.2	65	193.7	58	74.3	49	30.2	60	12.8	58
9.2	69	6.7	62	7.9	65	1.7	85	27.9	81	145.7	63	189.5	57	107.0	69	148.1	69	54.7	67	27.6	70	9.1	73
7.4	77	3.8	79	5.5	77	0.0	100	21.1	87	105.3	79	176.1	68	73.1	85	55.0	94	28.0	71	22.0	88	7.0	83
4.2	92	3.2	83	4.7	82	0.0	100	20.3	88	95.8	83	166.1	76	41.6	96	50.9	95	24.4	96	17.5	96	3.8	96
4.0	93	1.0	97	2.0	96	0.0	100	0.0	100	55.4	96	114.2	99										

PP \bar{x} anual = 1230.1 mm.

CUADRO 34. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: Lázaro Cárdenas.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
44.4	5	66.0	11	37.6	10	31.0	7	67.2	21	237.5	4	180.2	6	170.7	11	246.1	5	95.7	15	70.7	3	92	5
33.0	17	51.5	18	27.8	18	20.8	15	96.2	24	204.3	9	161.6	17	164.2	13	179.7	19	87.6	19	41.7	28	54.1	21
27.3	29	49.0	20	27.9	19	7.9	52	52.0	27	130.8	35	146.0	30	153.0	18	148.8	35	75.6	29	41.3	29	49.2	25
25.0	35	42.0	26	17.4	27	7.0	58	32.0	39	115.3	45	145.1	31	106.0	58	145.0	38	72.9	32	36.6	40	33.0	51
21.9	45	30.0	41	19.0	33	6.9	58	29.6	41	87.0	69	131.5	47	100.6	64	133.9	45	67.2	38	34.5	46	30.9	54
18.4	59	17.5	67	9.2	66	3.6	83	28.1	43	83.8	71	130.2	49	99.4	66	115.0	51	61.1	46	26.8	69	29.6	57
13.6	79	10.0	87	6.0	85	3.0	88	13.7	63	80.6	74	105.9	80	87.4	79	103.0	71	53.0	57	26.3	71	28.8	59
11.0	89	9.9	87	5.0	88	0.0	100	8.2	76	76.9	78	98.3	87	69.7	94	77.5	90	29.8	92	23.0	81	15.4	90
10.9	90	9.0	90	4.2	92	0.0	100	1.1	98	63.8	88	89.4	94										

PP \bar{x} anual = 778.1 mm.

CUADRO 35. Precipitación y probabilidad de lluvias por mes por el método de Galton. Estación: Congregación Almoloya.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
23.7	15	52.0	5	25.8	16	27.5	10	148.1	10	228.5	6	321.0	5	463.1	4	322.2	14	177.8	11	60.9	8	29.2	17
19.3	21	13.4	31	25.5	18	18.0	20	118.5	15	189.5	24	273.1	13	200.4	30	307.8	17	144.4	27	27.5	16	26.3	20
14.3	33	6.7	50	19.0	24	10.2	41	70.2	30	175.0	29	194.0	42	194.0	31	283.6	22	106.9	28	36.1	20	24.9	20
13.0	39	6.1	58	10.9	42	7.0	57	62.67	36	167.8	32	181.5	49	179.8	35	219.4	44	75.4	45	21.8	42	13.0	39
9.3	55	3.4	76	8.2	52	4.3	75	38.9	56	124.0	56	161.6	61	172.05	38	219.4	44	70.8	49	21.3	43	13.0	39
6.5	82	2.0	88	7.7	79	2.0	83	32.0	64	88.7	80	157.3	64	124.0	57	169.2	67	66.6	51	9.1	79	6.6	61
2.3	97	0.0	100	3.5	84	0.0	100	19.0	82	86.5	81	134.7	78	87.0	76	164.6	70	27.5	88	8.0	83	2.4	86
0.0	100	0.0	100	1.0	88	0.0	100	12.0	92	65.9	92	100.8	94	74.0	82	197.3	79	17.5	96	6.8	88	1.0	97
										54.1	92	89.0	98	00.0	100	0.0	100	0.0	100	0.0	100	0.0	100

PP \bar{x} anual = 938.93 mm.

CUADRO 36. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: San Juan Guichicovi.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
121.0	20	102.0	14	93.8	36	452.0	7	482.6	8	390.1	18	456.8	11	314.6	6	315.3	15	545.1	25	349.0	11	136.0	25
97.0	27	58.0	42	74.2	58	175.5	36	257.0	28	363.0	24	343.0	33	200.0	43	314.6	15	470.1	33	144.9	46	125.0	76
42.7	56	42.5	51	59.9	65	105.0	58	101.9	67	290.45	48	294.00	48	176.7	56	190.0	64	426.0	38	112.0	58	65.0	87
12.0	91	29.5	79	45.0	72	75.1	72	96.1	71	230.6	68	244.0	53	153.5	72	185.7	67	132.1	93	54.5	88	0.0	100
				26.5	90	70.0	75	62.4	85	178.1	88	151.0	92	130.2	85	137.6	94	0.0	100	0.0	100	0.0	100

PP \bar{x} anual = 2085.16 mm.

CUADRO 37. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: El Barrio (Guiguba).

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
23.0	26	42.0	24	40.0	4	17.0	25	183.5	11	434.0	5	246.0	23	312.0	4	317.0	8	133.0	16	27.0	28	30.0	73
20.0	30	4.0	76	25.4	38	3.2	75	134.0	18	298.0	16	228.9	29	152.2	40	244.0	29	102.0	34	11.5	56	17.0	36
2.0	88	0.0	100	23.0	50	0.0	100	77.0	36	161.0	50	224.0	31	149.0	42	215.0	33	61.0	52	3.0	86	1.6	67
0.0	100	0.0	100	20.0	68	0.0	100	39.0	62	157.5	52	215.0	34	114.0	64	223.0	39	76.3	56	0.0	100	0.0	100
0.0	100	0.0	100	18.0	79	0.0	100	20.0	83	116.0	71	213.0	36	87.5	82	142.0	86	42.0	91	0.0	100	0.0	100
0.0	100	0.0	100	18.0	79	0.0	100	15.0	89	102.0	77	152.5	70	85.0	83	134.5	89	0.0	100	0.0	100	0.0	100
				0.0	100	0.0	100	0.0	100	75.0	89	84.0	98										

PP \bar{x} anual = 942.25 mm.

CUADRO 39. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: La Cumbre.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
119.0	4	93.5	10	55.0	14	30.0	22	268.1	15	392.8	1	577.0	7	457.0	23	479.0	9	281.6	10	207.0	32	162.4	8
69.0	30	62.5	18	50.7	29	28.0	24	172.2	23	315.0	24	438.0	27	367.0	24	260.8	24	190.4	20	149.4	41	139.7	15
49.5	60	36.0	34	47.0	33	27.5	25	128.0	28	296.4	23	424.2	31	298.0	36	340.2	27	164.4	25	111.0	50	103.0	36
43.5	70	12.0	71	41.0	42	6.0	75	61.0	45	217.5	42	405.9	36	254.4	47	300.3	37	90.6	50	96.0	54	81.2	57
40.0	76	8.0	82	38.0	47	2.6	93	7.0	88	213.0	42	293.7	74	236.0	52	182.1	77	66.0	63	94.0	54	78.0	61
37.0	82	6.5	87	11.7	98	0.0	100	5.5	91	76.0	86	277.0	60	221.6	57	173.0	81	32.0	89	87.8	56	60.1	61
								0.0	100	48.0	95	227.0	92	78.5	98	134.5	92	27.5	91	69.0	63	47.0	92

PP \bar{x} anual = 1731.3 mm.

CUADRO 38. Precipitación y probabilidad de lluvia por mes por el método de Galton. Estación: Hueyca de Humboldt.

ENERO	FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO		JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE		
	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	PP	PROB.	
22.4	19	38.9	6	17.0	19	48.5	10	80.0	19	300.6	14	322.0	8	513.5	12	562.2	2	162.0	27	90.0	11	47.5	11
20.0	23	21.5	17	11.5	26	25.0	13	72.0	22	297.5	14	322.4	14	489.0	13	423.00	8	133.0	30	61.0	22	42.0	13
19.3	24	17.5	23	6.5	38	17.0	17	55	29	260.0	20	293.5	24	481.5	14	292.9	31	123.0	32	60.3	22	30.0	21
19.0	24	17.5	2.3	2.3	63	6.5	39	53.2	33	231.5	24	287.0	27	378.8	24	246.0	47	103.0	35	59.3	23	20.3	34
16.0	31	5.0	67	0.3	94	3.3	53	46.0	34	225.5	28	255.0	30	319.5	34	214.3	61	92.0	38	42.0	36	19.4	38
13.0	41	4.1	73	0.0	100	0.8	87	45.0	36	198.0	36	237.0	49	234.0	54	197.1	68	81.2	41	36.0	44	12.5	52
12.0	44	3.8	75	0.0	100	0.4	89	19.0	63	136.6	61	215.0	61	241.6	65	195.8	69	74.4	42	33.5	46	11.3	56
5.2	52	2.9	83	0.0	100	0.3	90	3.6	96	134.0	62	212.2	62	180.1	71	192.0	70	60.0	47	26.0	57	4.6	85
3.0	93	2.0	90	0.0	100	0.0	100	0.0	100	142.8	68	144.5	93	120.3	88	186.1	75	32.4	58	7.8	94	3.5	92
2.3	96	0.0	100	0.0	100	0.0	100	0.0	100	83.3	87	132.0	96	115.4	90	159.0	85	0.2	99	6.1	97	3.2	92

PP \bar{x} anual = 1225.55 mm.

5.4. Evapotranspiración potencial (ETP)

Los cálculos en base a fórmula de Thornthwaite reportan que la evapotranspiración potencial anual en la zona de estudio oscila en 978.63 mm en La Cumbre hasta 1398.36 mm en Almoloya.

El mes de mayor demanda evaporativa para las estaciones Santiago Chivela, Lázaro Cárdenas, Almoloya, El Barrio, Guevea de Humboldt y La Cumbre mayo cuyos valores van desde 114.24 mm en La Cumbre hasta 164.64 mm en Santiago Guivela.

Guivicía y San Juan Guichicovi presentan una ETP mayor a 100 mm en los meses de marzo a octubre. La primera presenta una distribución bimodal cuya demanda mínima de agua en el período señalado es en julio con 101.7 mm.

La Cumbre presenta una ETP mayor a 100 mm en los meses de mayo, julio y agosto, siendo mayor el primero con 114.24 mm.

CUADRO 40. Evapotranspiración potencial mensual (mm). San Juan Guichicovi.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	18.9	19.7	24.0	25.6	27.8	26.2	25.5	25.7	26.1	24.4	24.4	22.2
I	7.49	7.97	10.75	11.85	13.43	12.28	11.78	11.92	12.21	11.02	11.02	9.55 =131.27
ETP S.AJ.	1.7	1.9	3.3	4.1	4.2	4.4	4.0	4.2	4.3	3.5	3.5	2.7
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP M (mm)	48.96	51.87	101.97	129.15	141.12	143.88	135.6	137.34	131.58	105.0	98.7	77.76
ETP Anual 1302.93 mm												

CUADRO 41. Evapotranspiración potencial mensual (mm). Guivicía

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	S
Temp.	20.8	22.2	25.8	26.6	27.7	27.1	23.0	26.0	26.3	24.9	23.9	22.6
I	8.88	9.55	11.99	11.56	13.36	12.92	10.08	12.13	12.35	11.37	10.68	9.82 =134.69
ETP S.AJ.	2.2	2.7	4.2	4.5	4.8	4.7	3.0	4.3	4.4	3.8	3.3	3.8
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP M (mm)	63.36	73.71	129.78	141.75	161.28	153.69	101.7	140.61	134.64	114.0	93.06	80.84
ETP Anual 1388.22 mm												

CUADRO 42. Evapotranspiración potencial mensual (mm). Guevea de Humboldt.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	21.5	21.9	22.6	24.3	25.2	24.8	24.5	24.5	24.2	23.4	22.4	21.9
I	9.10	9.36	9.82	10.95	11.57	11.3	11.09	11.09	10.89	10.35	9.68	9.36 =124.56
ETP S.AJ.	2.4	2.6	2.9	3.4	3.9	3.6	3.5	3.5	3.4	3.2	2.8	2.6
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP (mm)	69.12	70.98	89.61	107.1	131.04	117.72	118.65	114.45	104.04	96.0	78.96	74.88
ETP Anual 1172.55 mm												

CUADRO 43. Evapotranspiración potencial mensual (mm). Lázaro Cárdenas.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	21.1	22.2	24.4	26.1	27.4	26.5	25.5	25.2	25.1	43.3	22.6	22.0
I	8.85	9.55	11.02	12.21	13.14	12.49	11.78	11.57	11.5	26.27	9.82	9.42 =147.62
ETP S.AJ.	NO FUE POSIBLE REALIZAR ESTOS PASOS YA QUE LA TABLA 3 TIENE UN VALOR MAXIMO DE											
ETP AJ.	I=140. POR LO TANTO SE OBTUVIERON LOS RESULTADOS A PARTIR DE $ETP = 1.6(T/I)^2$											
ETP (mm)	58.38	70.19	98.85	126.17	150.05	133.32	115.97	111.11	109.52	78.99	74.88	67.92
ETP Anual 1195.35 mm												

CUADRO 44. Evapotranspiración potencial mensual (mm). Santiago Chivela.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	21.8	22.7	25.0	26.6	28.0	26.7	25.9	25.8	25.4	24.8	23.5	22.8
I	9.29	9.88	11.44	12.56	13.58	12.63	12.06	11.99	11.71	11.30	10.41	9.99 =136.84
ETP S.AJ.	2.4	2.8	3.8	4.5	4.9	4.6	4.3	4.2	4.0	3.6	3.1	2.8
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP (mm)	69.12	76.44	117.42	141.75	164.64	150.42	145.77	137.34	122.4	108.0	87.42	80.64
ETP Anual 1259.61 mm												

CUADRO 45. Evapotranspiración potencial mensual (mm) Congregación Almoloya.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	21.29	23.13	25.24	26.19	27.99	26.55	25.55	25.58	25.32	24.55	23.62	22.4
I	8.97	10.15	11.81	12.28	13.58	12.56	11.85	11.85	11.64	11.16	10.48	9.68 =135.8
ETP S.AJ.	2.3	3.0	3.9	4.3	4.9	4.5	4.1	4.1	3.9	3.5	3.2	2.8
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP (mm)	66.24	81.9	120.5	135.5	164.4	147.2	139.0	134.1	119.3	119.3	90.2	80.6
ETP Anual 1398.36 mm												

CUADRO 46. Evapotranspiración potencial mensual (mm). El Barrio.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	20.4	21.8	23.3	24.9	26.4	25.7	25.0	24.5	24.3	23.8	23.1	22.3
I	8.41	9.29	10.28	11.37	12.42	11.92	11.44	11.09	10.95	10.62	10.15	9.62 =127.56
ETP S.AJ.	2.2	2.5	3.1	3.8	4.5	4.2	3.8	3.5	3.4	3.2	3.0	2.7
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP (mm)	63.4	68.3	95.8	119.7	151.2	137.3	128.8	114.5	104.0	96.0	84.6	77.8

ETP Anual 1241.35 mm

CUADRO 47. Evapotranspiración potencial mensual (mm). La Cumbre.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temp.	17.3	19.0	20.1	22.3	23.6	24.5	22.2	22.7	21.7	21.1	20.2	19.0
I	6.55	7.55	6.22	9.55	10.48	11.09	9.55	9.88	9.23	8.85	8.28	7.55 =104.78
ETP S.AJ.	1.7	2.1	2.3	3.0	3.4	2.7	3.0	3.2	2.9	2.7	2.4	2.1
ETP AJ.	28.8	27.3	30.9	31.5	33.6	32.7	33.9	32.7	30.6	30.0	28.2	28.8
ETP (mm)	48.96	57.33	71.07	94.5	114.24	88.29	101.7	104.64	88.74	81.0	67.68	60.48

ETP Anual 978.63 mm

5.5. Períodos de crecimiento

El período de crecimiento para las plantas está indicado -- por el balance hídrico y éste se analiza a partir de las figuras 5 a 12.

a) Guivicía.

El período de crecimiento se encuentra desde la segunda semana de abril hasta la primera semana de marzo. Este período puede alargarse más debido a que la precipitación en los meses de marzo y abril ayuda a retener más la humedad del suelo.

El período húmedo se presenta desde la primera semana de mayo hasta la tercera semana de octubre.

El fin de la estación lluviosa ocurre en la primera semana de febrero.

Los meses de julio y agosto son los críticos ya que son los que presentan mayor exceso de humedad.

b) Santiago Chivela.

El período de crecimiento abarca desde mayo hasta la segunda semana de noviembre.

El período húmedo abarca desde mayo hasta la última semana de septiembre.

La estación lluviosa termina en la última semana de octubre.

El mes que presenta mayor exceso de humedad es septiembre.

El período seco es de la segunda semana de noviembre hasta finales de abril.

c) Lázaro Cárdenas.

El período de crecimiento cubre desde la segunda semana de mayo hasta la segunda semana de febrero.

El período húmedo se presenta desde la segunda semana de junio hasta la última semana de septiembre.

La estación lluviosa termina en el mes de diciembre.

El factor importante en este lugar es el déficit hídrico -- que existe desde la segunda semana de febrero hasta la segunda semana de mayo.

d) Almoloya.

El período de crecimiento se encuentra ubicado a partir de la primera semana de mayo hasta la última semana de octubre.

El período húmedo abarca desde la primera semana de junio -- hasta la última semana de septiembre.

La estación lluviosa termina en la segunda semana de octubre.

El período seco se extiende desde la última semana de octubre hasta la primera semana de mayo.

e) San Juan Guichicovi.

Presenta un período de crecimiento húmedo todo el año con -- excepción de un período intermedio que abarca desde la primera se

mana de febrero hasta la segunda semana de marzo.

Este lugar presenta exceso de humedad en los meses de junio, julio y octubre.

f) El Barrio.

El período de crecimiento esta comprendido desde la primer-semana de mayo, coincidiendo con el período en el cual la ETP al canza su máximo valor, hasta la última semana de noviembre.

El período húmedo se presenta desde la tercer semana de mayo hasta la última semana de septiembre.

La estación lluviosa termina a principios de noviembre.

Los meses que presentan exceso de humedad son julio y septiembre.

El período seco comprende desde la última semana de noviembre hasta la primer semana de mayo.

g) Guevea de Humboldt.

El período de crecimiento abarca desde la primer semana de mayo hasta la última semana de noviembre.

El período húmedo comienza en la segunda semana de mayo y termina en la última semana de septiembre.

La estación lluviosa termina en la primer semana de noviembre.

Agosto es el mes que presenta mayor exceso de humedad.

Los meses más secos comprenden desde la última semana de noviembre hasta la primer semana de mayo.

h) La Cumbre.

El período de crecimiento inicia en la segunda semana de --
abril y termina en la segunda semana de marzo.

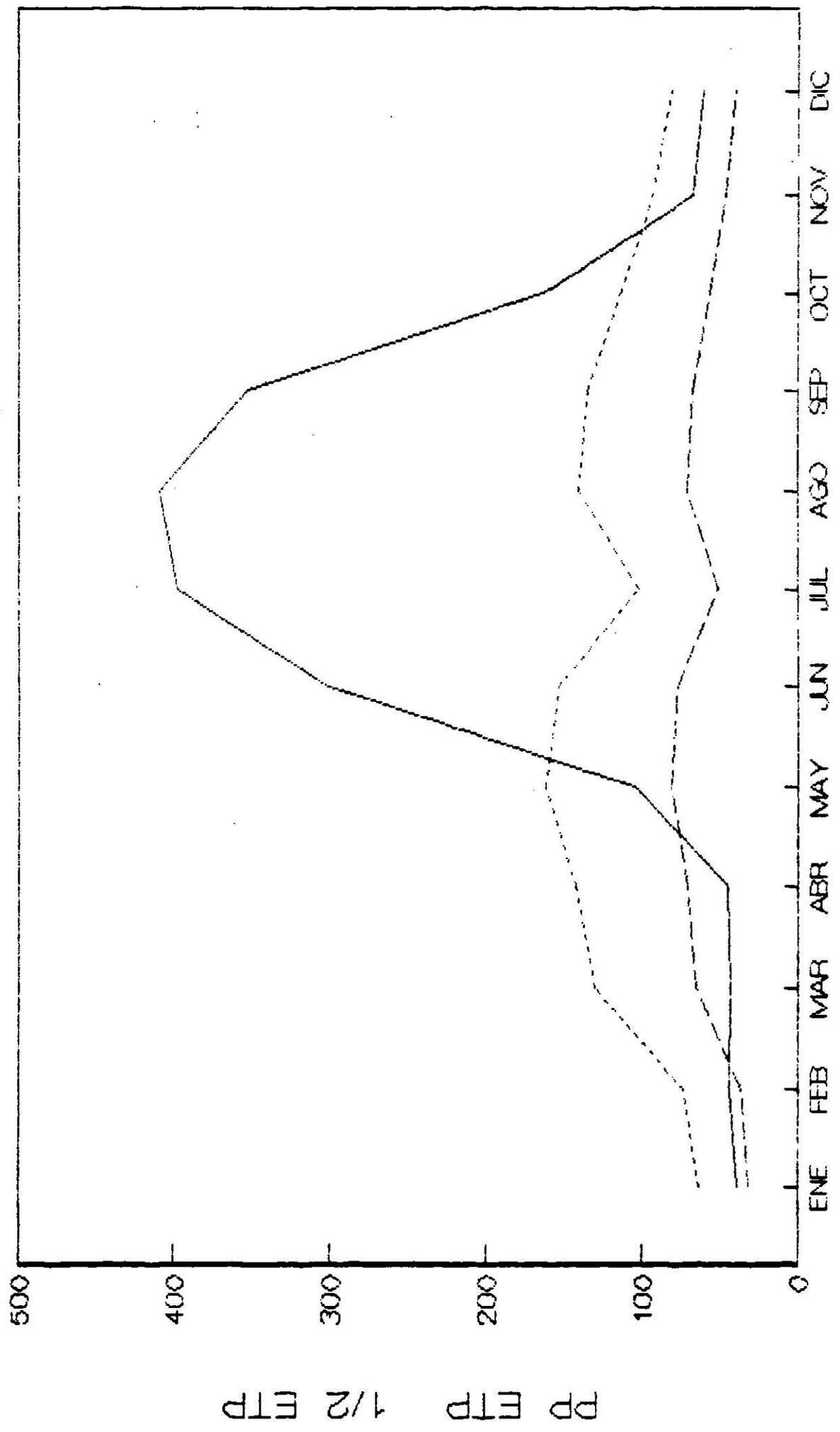
El período húmedose distribuye desde la primer semana de mayo
hasta la segunda semana de enero.

La estación lluviosa termina en la primer semana de marzo.-

Los excesos de humedad se encuentran en los meses de julio-
a septiembre, siendo de mayor importancia el primero.

FIGURA 5. Períodos de crecimiento. Estación: Guivicía.

— PP
 mm
 ETP
 mm
 - - - - 1/2 ETP
 mm



MES

FIGURA 6. Periodos de crecimiento. Estación Santiago Chivela.

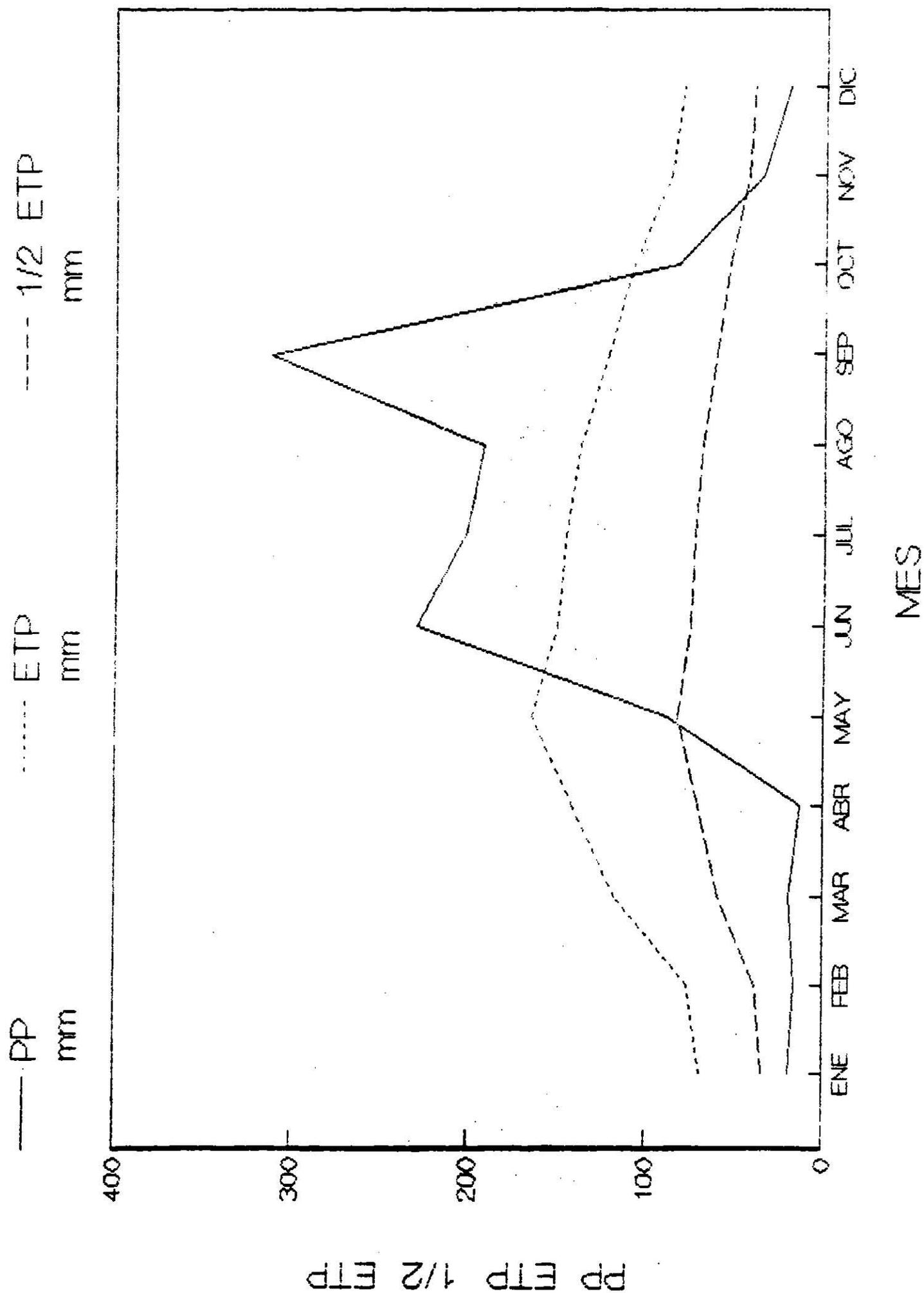


FIGURA 7. Periodos de crecimiento. Estación: Lázaro Cárdenas.

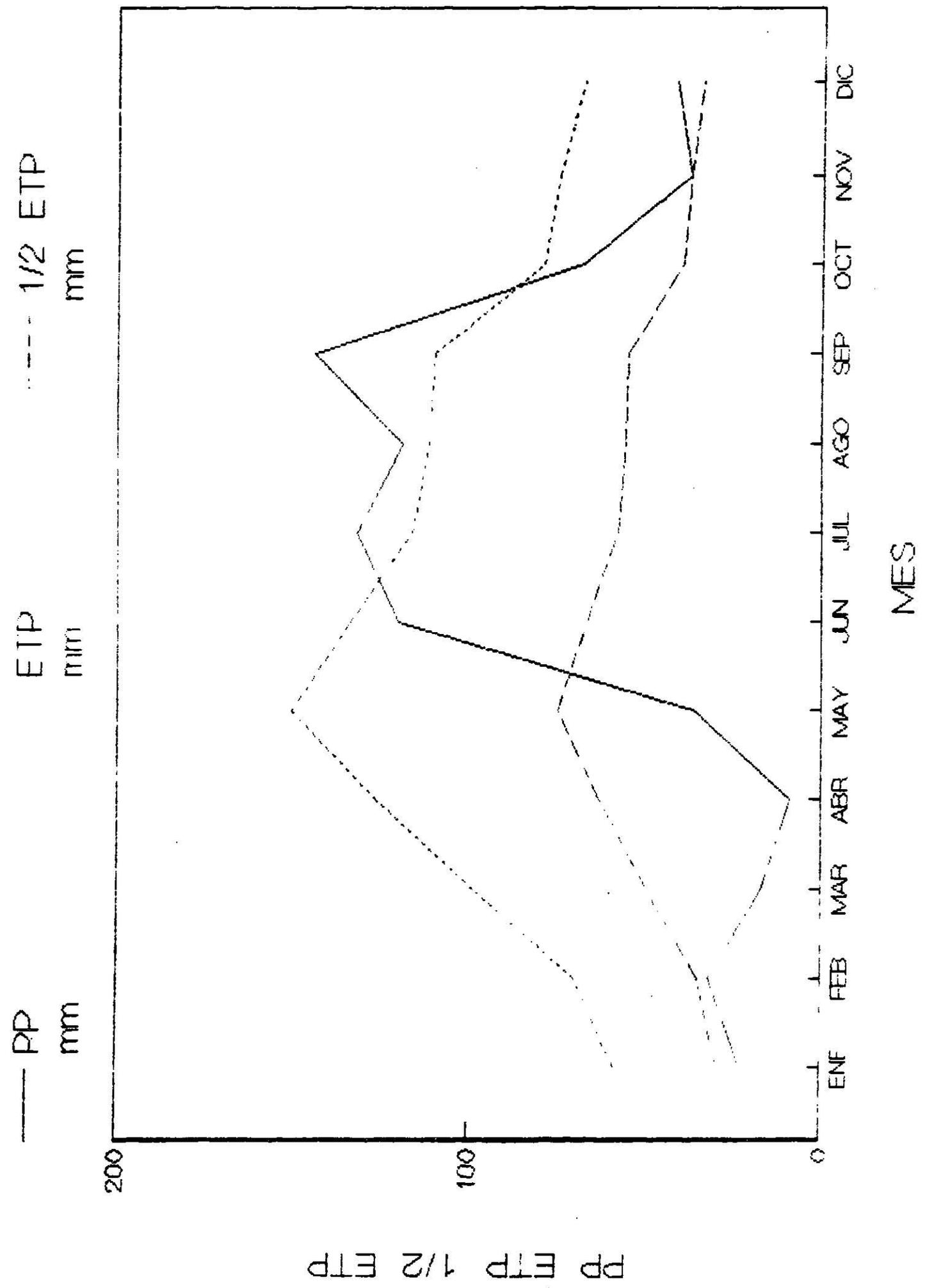
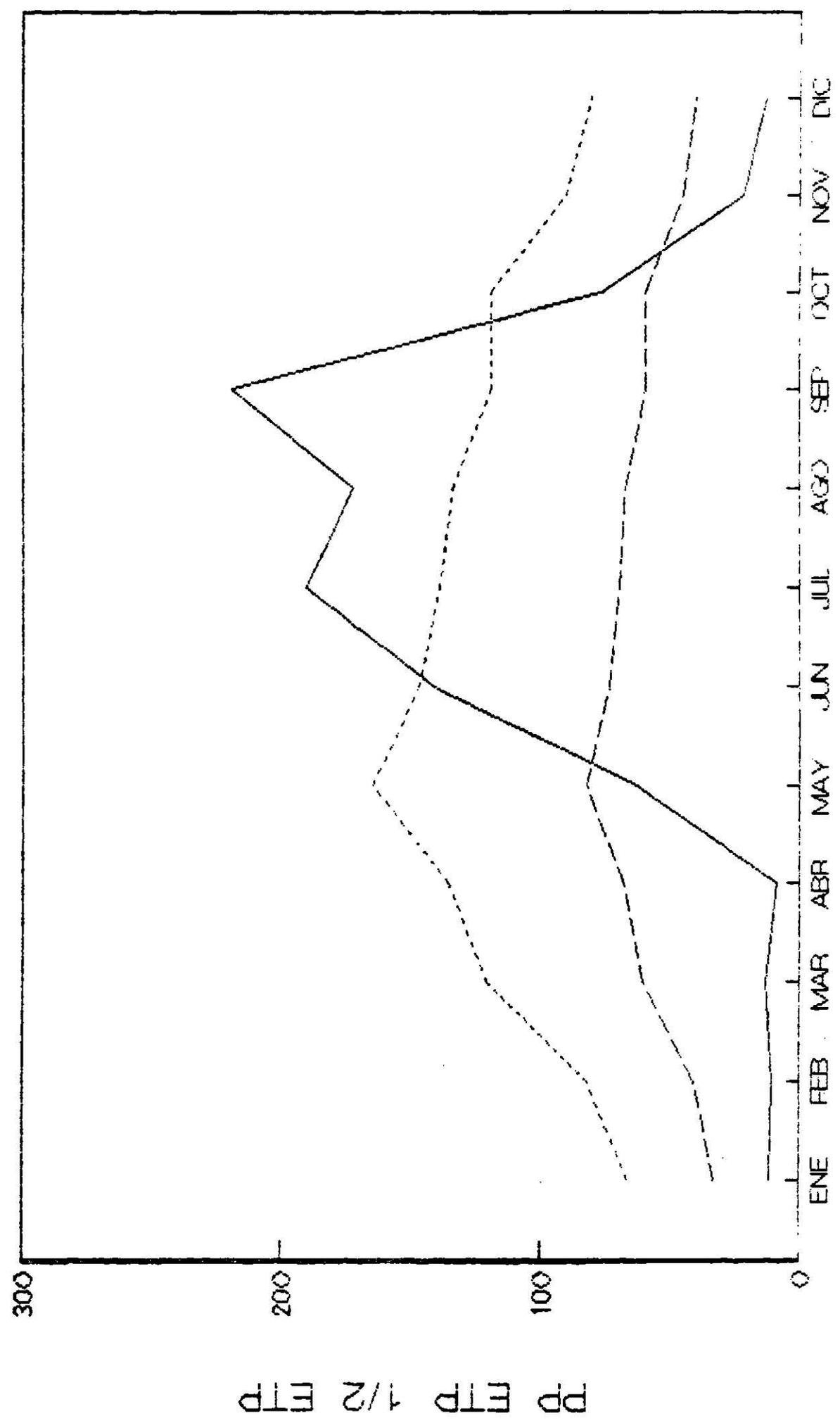


FIGURA 8. Periodos de crecimiento. Estación: Congregación Almoloya.

— PP
 mm
 ETP
 mm
 - - - - 1/2 ETP
 mm



MES

FIGURA 9. Períodos de crecimiento. Estación: San Juan Guichicovi.

— PP mm
- - - - ETP mm
- - - - 1/2 ETP mm

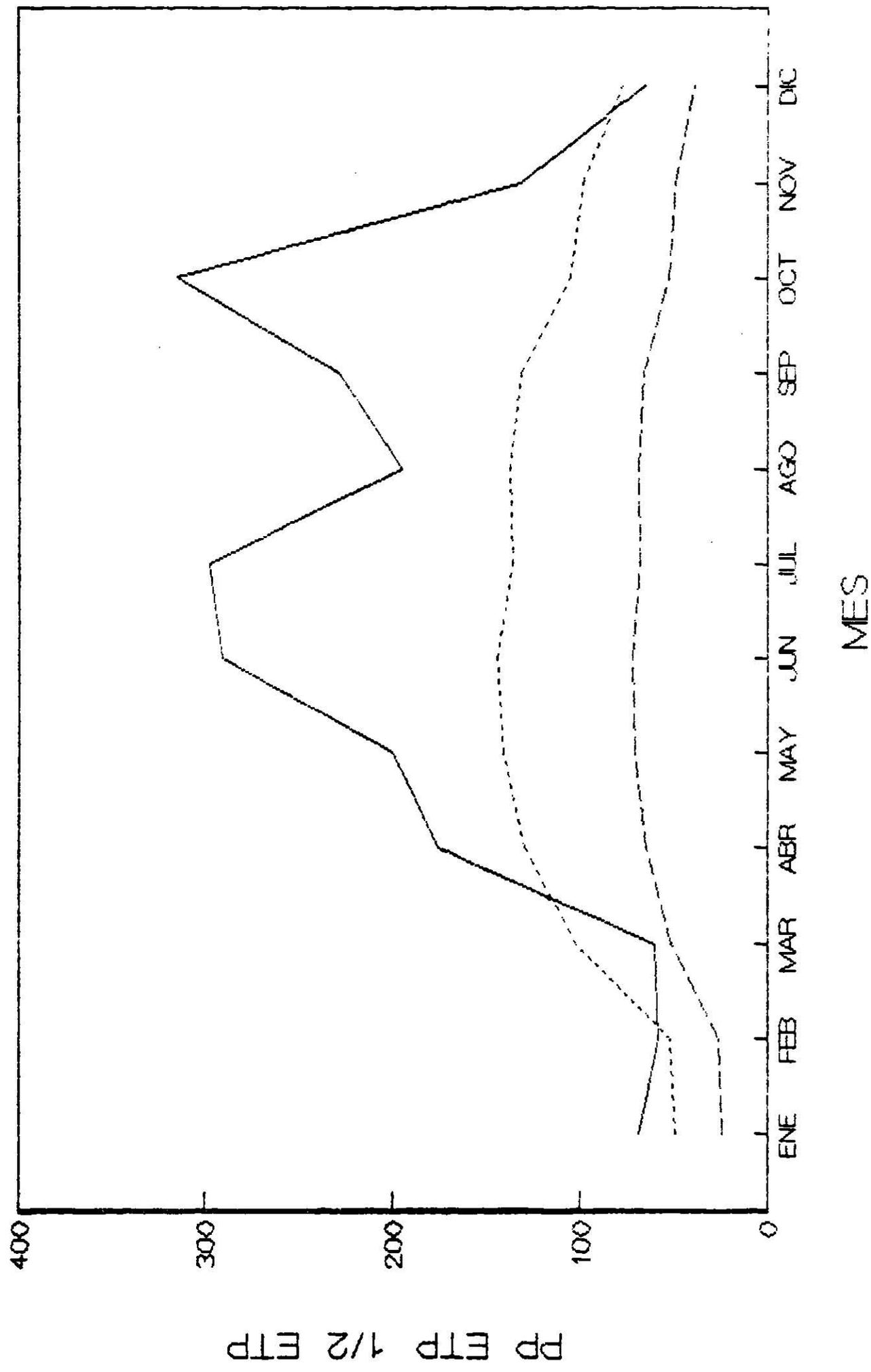


FIGURA 10. Períodos de crecimiento. Estación: El Barrio.

— PP mm
..... ETP mm
---- 1/2 ETP mm

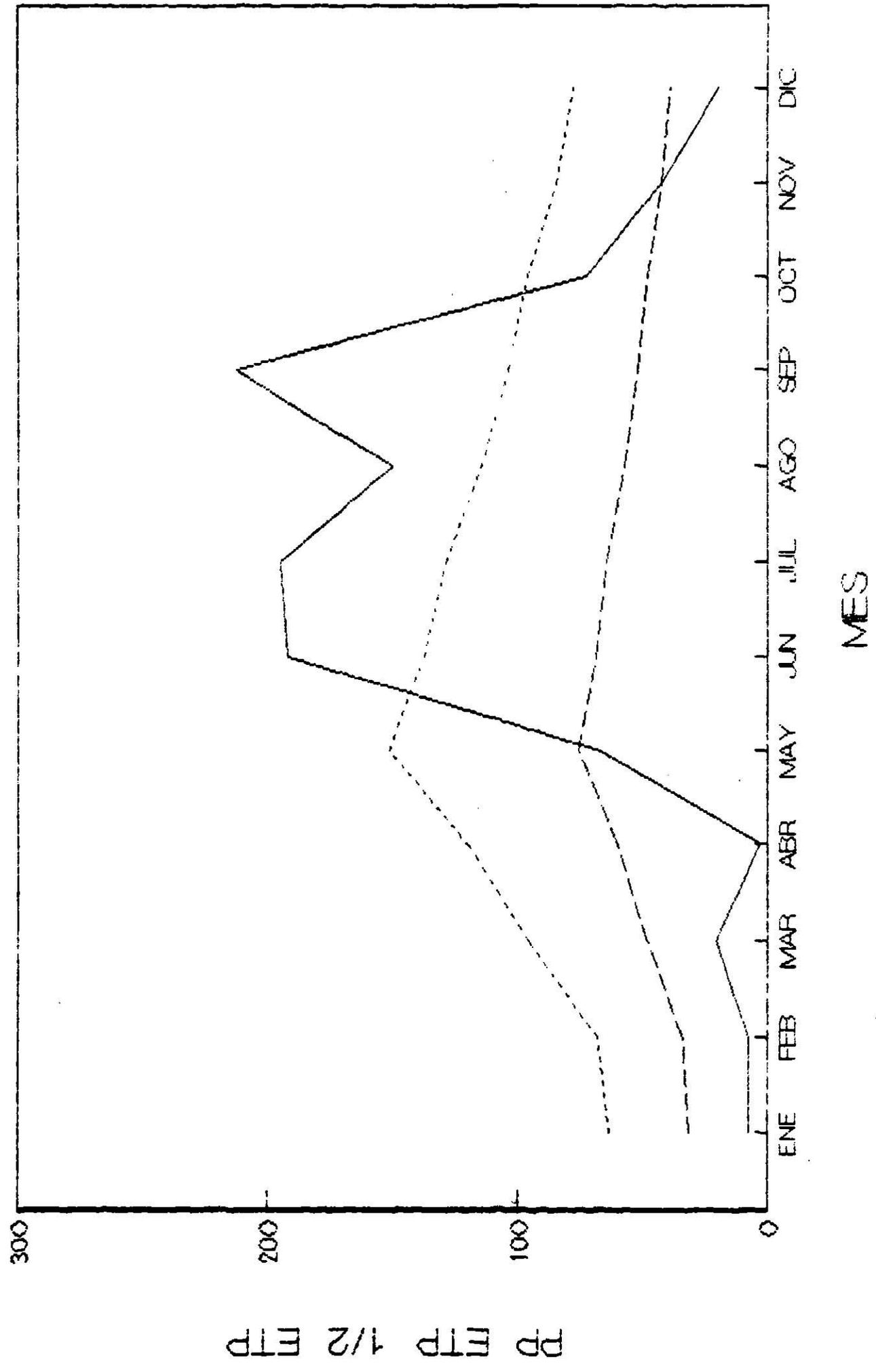


FIGURA 11. Periodos de crecimiento. Estación: Guevea de Humboldt.

— PP
 mm
 ETP
 mm
 ---- 1/2 ETP
 mm

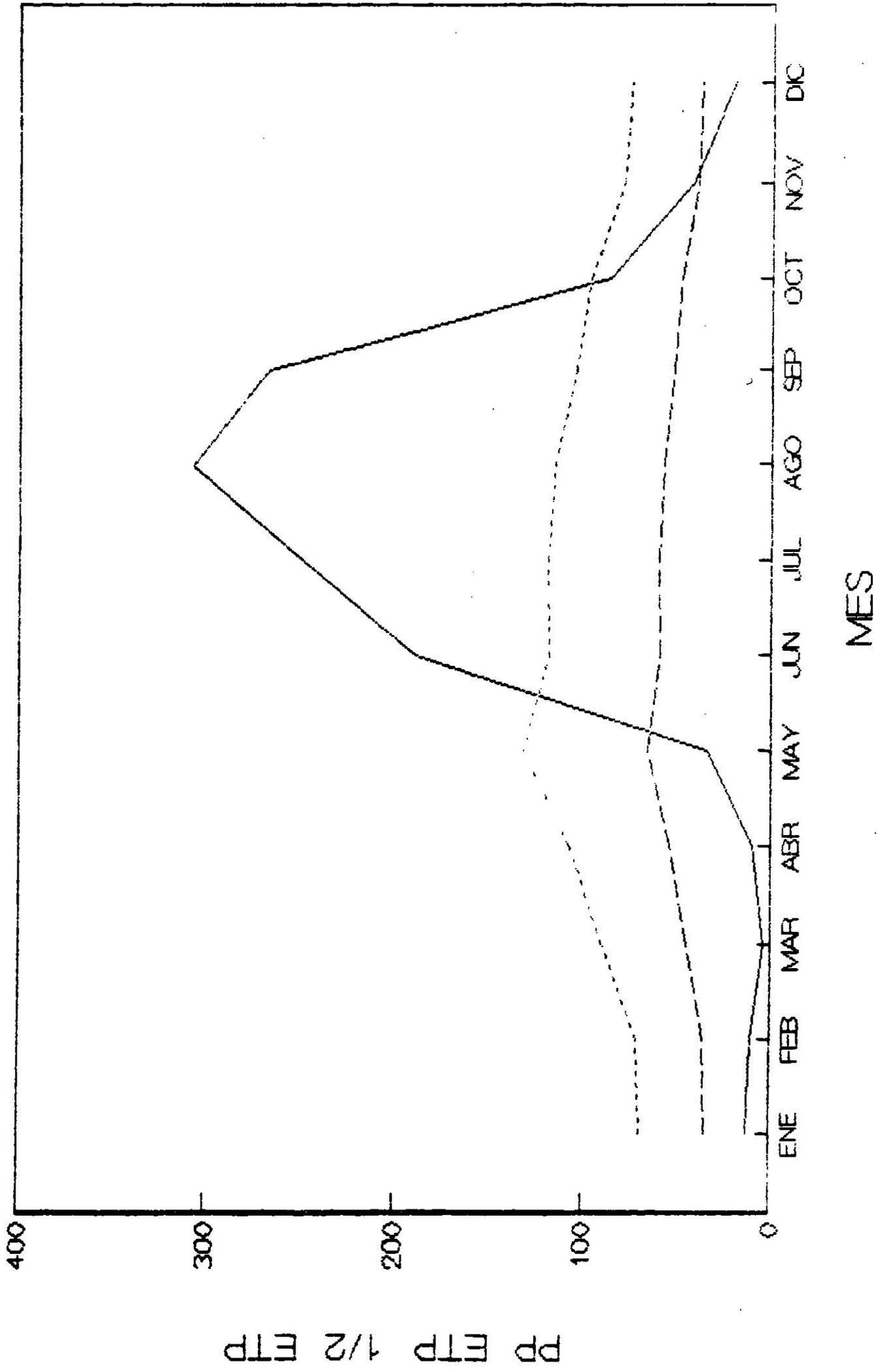
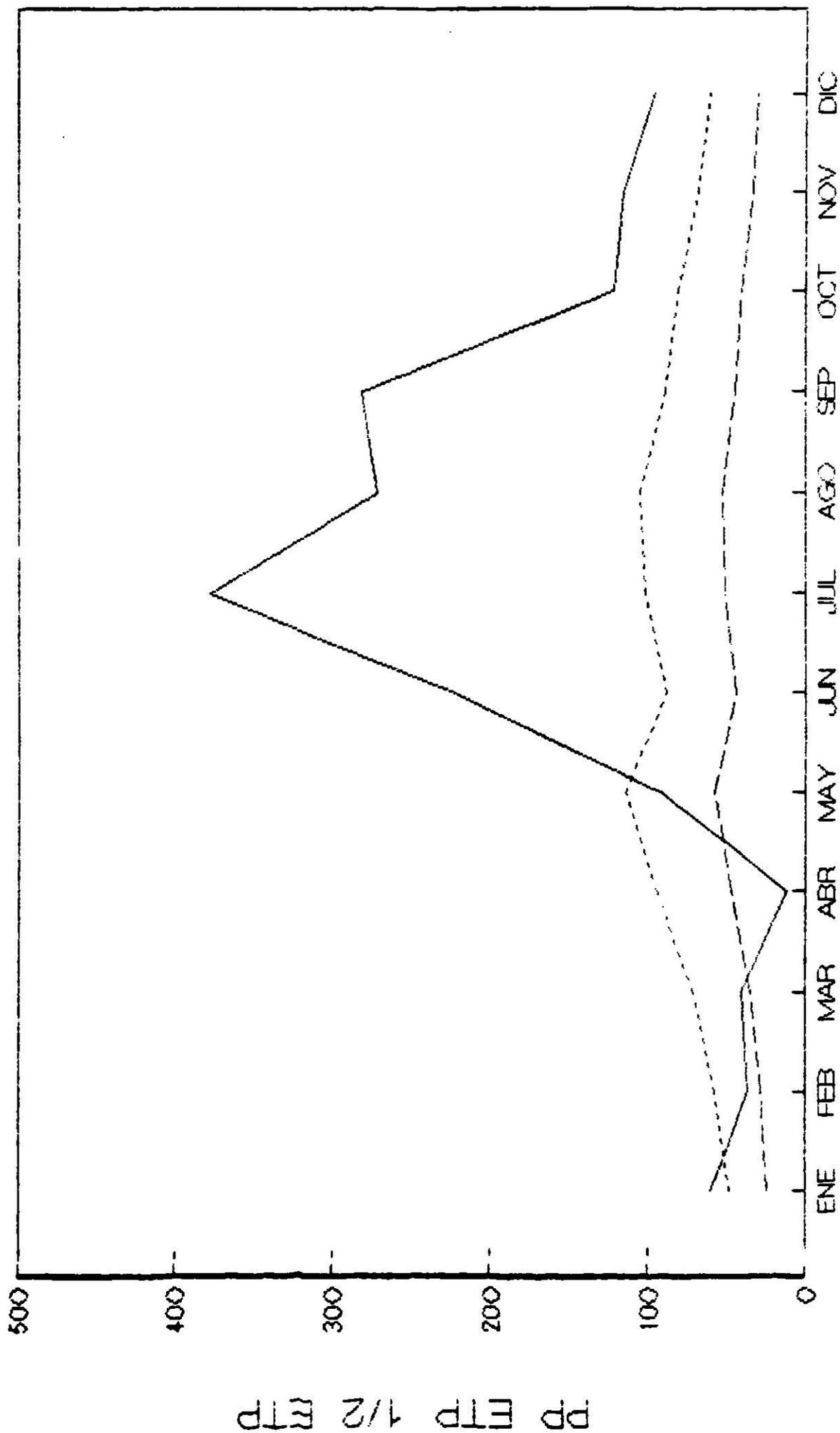


FIGURA 12. Períodos de crecimiento. Estación: La Cumbre.

— PP mm
 ETP mm
 ---- 1/2 ETP mm



MES

VI. DISCUSION

La radiación solar presenta variaciones ocasionadas por la incidencia de los rayos solares cuyo efecto se ve influido por elementos meteorológicos como la nubosidad.

Con respecto a los coeficientes de regresión (a,b) utilizados en la fórmula para determinar la radiación solar global $(RG/RA = a + b(n/N))$ se han realizado diversos trabajos para definir los entre los cuales se encuentran los propuestos por Penman (1948-63) (citado por Ortiz, 1982) utilizando los valores $a=0.18$ y $b=0.55$ para Europa, mientras que Glover y Mac Culloch (1958), citados por Ortiz (1982) al estudiar las regiones montañosas de Africa proponen las cifras $a=0.29$ y $b=0.52$ donde ψ es la latitud de la estación. Black, Bonython y Rescott (1954), citados por Ortiz (1954) estudiaron 32 estaciones de varios países de los trópicos a las regiones polares proponen los valores $a=0.23$ y $b=0.48$.

En el presente trabajo utilice valores con mayores mediciones y más actuales que son los propuestos por Frère y Popov (1980) citados por Ortiz (1982), para las zonas tropicales secas 0.25 y 0.45 .

El método utilizado es el de la radiación solar a partir de la nubosidad ya que en esta zona no se disponen de datos de insu_lación.

La temperatura es relativamente variable. Esta variación esta determinada no solo por la altitud sino también por la vege

tación y nubosidad ya que en algunas regiones el gradiente altotérmico se comporta a la inversa, es decir que la temperatura promedio anual es mayor en algunas estaciones que en otras que tienen menor altura. También existen lugares como Guivicía y Lázaro Cárdenas que presentan temperaturas promedio anual similares, teniendo la primera menor altura pero mucho mayor vegetación que la segunda lo que provoca un microclima más templado.

Al igual que el trabajo realizado por CAETIE (1984) en Turrialba, Costa Rica, el régimen térmico no ofrece limitantes al desarrollo del cultivo. Las temperaturas frías no son problema. Más frecuente y potencialmente dañinas son las temperaturas altas, que también pueden presentarse en períodos secos, lo que aumenta la demanda de agua.

El régimen de precipitación en esta zona es determinado principalmente por la dirección de los vientos, barreras montañosas, vegetación, depresión, etc.

Esto trae como consecuencia que lugares como La Cumbre, Guivicía y San Juan Guichicoví que presentan mayor vegetación, ríos y su topografía favorece a presentarse un microclima, sean los que presentan mayor precipitación que lugares como Lázaro Cárdenas y Santiago Chivela que son lugares planos con poca vegetación y su disponibilidad de precipitación proviene solamente del mar.

Todos los métodos de estimación de probabilidades de lluvia resultaron altamente significativos, sin embargo se reportan solo los valores del método de Galton por presentar mayor significancia.

La ETP en los cultivos está influenciada principalmente por las altas temperaturas acompañadas de la falta de humedad en el suelo causando un stress y deshidratación en las plantas.

En períodos de temporal la ETP no causa daño en rendimiento ya que existe disponibilidad de agua. En contraste, los períodos secos traen como consecuencia un incremento en la ETP, causando bajas o pérdidas en las cosechas.

La estimación de la ETP a partir de la evaporación (propuesta por García, 1979) no se acoplo a la zona de estudio ya que daban valores muy bajos, es decir que la subestiman comparandolos con los de Thornthwaite.

Esta diferencia es característica del modelo para el presente trabajo y probablemente puede cambiar en regiones con temperaturas más oscilantes.

En trabajos similares Ortiz (1982) reporta valores de ETP con los métodos de Penman, Thornthwaite, Turc y Hargreaves y considera al primero como referencia.

Los resultados concluyen que con valores anuales el método de Hargreaves sobreestima la ETP, mientras que el de Thornthwaite y Turc la subestiman.

Con valores mensuales reporta que todos los métodos estiman los valores de Penman en más del 50% resultando mayor el de Hargreaves con 61.71%.

En el presente trabajo solo se pudo realizar el método de Thornthwaite ya que en esta zona no se dispone de datos de hume-

dad relativa y velocidad del viento; y el modelo de humedad relativa propuesto por Ortiz, 1982 no se ajusta por dar valores muy elevados.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1.- La metodología adecuada para determinar la radiación solar fué a partir de la nubosidad.
- 2.- La constante térmica fué determinada por el método directo.
- 3.- El modelo establecido para determinar la temperatura por el método simple o empírico fué: $T=25.325765-0.0032204h$.
- 4.- El modelo establecido para determinar la temperatura por el método del gradiente mediano o de las cruces fué:
 $T=T_0-0.00285h$.
- 5.- La probabilidad de lluvia puede determinarse a partir de cualquier método.
- 6.- El método adecuado para la determinación de la evapotranspiración potencial fué el de Thornthwaite.
- 7.- Los períodos de crecimiento fueron determinados graficando valores mensuales de evapotranspiración potencial, precipitación y 0.5 evapotranspiración potencial.
- 8.- Se recomienda a las instituciones encargadas de las estaciones climáticas tener más atención en su mantenimiento e inyectar interés a las personas que toman los datos debido a la importancia en la veracidad de éstos para la realización de posteriores estudios sobre el tema.
- 9.- Se recomienda aumentar el número de estaciones climáticas en lugares estratégicos para conocer más sobre las condiciones ambientales de la zona.

- 10.- Se recomienda ampliar más este trabajo tomando en cuenta - las condiciones de suelo (edáficas, topográficas y uso actual) y agua (hidrológicas).

VIII. RESUMEN

El presente trabajo fué realizado a partir de los datos de 8 estaciones climáticas proporcionadas por la Comisión Nacional del Agua. Dicha información fué tomada por el personal encargado de las casetas que por lo general es el dueño del terreno -- donde se encuentra ubicada.

Las estaciones se eligieron de tal manera que el municipio de El Barrio de la Soledad, Oax. quedara comprendido dentro de dichas estaciones.

Las estaciones tomadas son las siguientes: Guivicía, Santiago Chivela, Lázaro Cárdenas, Congregación Almoloya, San Juan Guichicovi, El Barrio, Guevea de Humboldt y La Cumbre.

A pesar que en algunas estaciones ya no se toman registros y que la mayoría se encuentran en condiciones inadecuadas, el presente trabajo se realizó con la máxima cantidad de datos que se pudieron recopilar.

Las variables evaluadas en cada estación son radiación solar, temperatura, probabilidad de lluvias, evapotranspiración potencial y a partir de las dos últimas se determinaron los períodos de crecimiento. Además se obtuvieron las ecuaciones y métodos de estimación para los períodos de crecimiento de acuerdo con el método simple o empírico y con el gradiente mediano o de las cruces.

Para la variable radiación solar el método adecuado para su estimación fué a partir de la nubosidad ya que estas estacioo

nes carecen de datos de insolación.

Los métodos utilizados para evaluar la probabilidad de llu
vias fueron Distribución Acumulativa, Normal, Galton y Gamma-in
completa y se concluyó que todas se ajustaban de acuerdo a las-
pruebas de Smirnov y de Kolmogorov-Smirnov, pero solo se publi-
can las probabilidades de lluvia mensual por el método de Gal-
ton por presentar mayor correlación.

Para la variable evapotranspiración potencial el método --
adecuado fué el de Thornthwaite ya que en la región de estudio-
carecen de datos de humedad relativa y velocidad del viento, --
por lo tanto en este lugar no se puede estimar por los métodos-
de Penman, Turc y Hargreaves.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. Aguilera Contreras Mauricio y Martínez Elizondo René (1980). Relaciones agua, suelo, p,anta. 2a. Edición. Universidad - Autónoma de Chapingo, México.
2. Arias Rojo Héctor Manuel (1980). El factor R de la ecua--- ción universal de la pérdida del suelo en la cuenca del -- río Tezcoco. Tesis de maestría. Chapingo, México.
3. Barry, R.G. y Chucley, R.J. (1982). Atmósfera, tiempo y -- clima. Ed. Omega. Barcelona, España.
4. Boneiarelli Francisco (1979). Agronomía. Ed. Academia. --- León, España.
5. Carrillo Liz Alonso y Casas Díaz Elizondo (1974). Predic-- ciones de lluvias y su aplicación en la agricultura. Cole- gio de Postgraduados.Chapingo, México.
6. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza --- (1984). Caracterización ambiental y de los principales -- sistemas de cultivo en fincas pequeñas, Tejutla, El Salva- dor. Informe técnico número 35. Centro Nacional de Tecnolo_ gía Agropecuaria. Turrialba, Costa Rica.

7. Centro de Cultura por Correspondencia (1990). Energía solar y agroenergética; tomo 2. Energía térmica y energía luminosa, San Sebastián, España.
8. Centro de Cultura por Correspondencia (1990). Energía solar y agrometeorológica. tomo 4. Sistemas de aprovechamiento térmico (I). San Sebastián, España.
9. Chapman Stephen R. y Carter Lark P. (1976). Producción agrícola. Principios y prácticas. Ed. Acribia. Barcelona, España.
10. Conacyt (1982). Ciencia y desarrollo, número 46. año VIII. México.
11. De Fina Armando L. (1973). Climatología y Fenología Agrícola. EUDEBA. Argentina.
13. Demolon A. (1972). Principios de agronomía; tomo II. Crecimiento de vegetales cultivados. Ed. Omega, S.A. Barcelona, España.
14. Díaz M. Daniel H. (1987). Requerimiento de frío en frutales caducifolios; tema didáctico número 2. S.A.R.H., I.N.I.F.A. P. México.
15. Fuentes Yagüe José L. (1978). Apuntes de meteorología agrícola. Editada por el Ministerio de Agricultura de Madrid, España.

16. García de Pedraza Lorenzo y García San Juan Julio (1978). - Diez temas sobre el clima. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.
17. Gobierno del Estado de México (1984). Cursos de meteorología para la asistencia técnica. Departamento de Agricultura. México.
18. Gómez Morales S. Benjamín (1978). Elementos básicos para el manejo del instrumental meteorológico. Ed. Continental. México.
19. Griffiths Jon F. (1985). Climatología aplicada. Publicaciones Culturales, S.A. de C.V. México.
20. Gustafson, A.F. (1957). Conservación del suelo. Ed. Continental. México.
21. Hernández Robledo Leopoldo (1952). Meteorología física y climatología agrícola. Salvat Editores. México.
22. Instituto Técnico de Apoyo para la Formación de Proyectos de Financiamiento y Asistencia Técnica. Fira (1985). Serie: Agroclimatología. México.
23. Mendoza de Armas César (1981). La agrometeorología y su importancia en el desarrollo agrícola. Ed. Comunicaciones Agrícolas . Caracas, Venezuela.

24. Ommac, Memorias IV Congreso Nacional de Meteorología (1989). Chihuahua, México.
25. Ortíz Solorio Carlos A. (1982). Agrometeorología. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Suelos, México.
26. Ortíz Valdez Marcial y Ruiz Vega Jaime (1978). Climatología Aplicada. S.A.R.H., I.N.I.F.A.P. México.
27. Sánchez Pedro A. (1981). Suelos del trópico. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José-Costa Rica.
28. S.A.R.H. Subdirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. Observaciones climatológicas. San Juan Guivhicovi, municipio San Juan Guichicovi, Oax.
29. S.A.R.H. Subdirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. Observaciones climatológicas. Guivicía. municipio Santa María Petapa, Oax.
30. S.A.R.H. Subdirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. Observaciones climatológicas. Santiago Chivela, municipio de Asunción Ixtaltepec, Oax.
31. S.A.R.H. Subdirección de Hidrología. Departamento de Hidrometría. Observaciones climatológicas. Lázaro Cárdenas, municipio de Asunción, Ixtaltepec, Oax.

