

2  
2 ej.



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

Facultad de Estudios Superiores  
CUAUTITLÁN

"Estudio Agroclimático del Area de  
Influencia del Campo Agrícola Experimental  
de Cotaxtla Veracruz

T E S I S

Que para obtener el Título de

Ingeniero Agrícola

presenta

Adelina Albanil Encarnación



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Pág.
LISTA DE CUADROS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE MAPAS.....	xiii
I. INTRODUCCION.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
II. REVISION DE LITERATURA.....	3
III. MATERIALES Y METODOS.....	7
3.1 Descripción general del área de estudio...	7
3.1.1 Localización.....	7
3.1.2 Suelos.....	7
3.1.3 Hidrología.....	15
3.1.4 Vegetación nativa.....	17
3.1.5 Principales cultivos.....	20
3.2 Selección de las estaciones climatológicas	21
3.3 Obtención de la información climatológica.	21
3.3.1 Precipitación.....	21
3.3.2 Temperatura máxima, media, mínima..	21
3.3.3 Humedad relativa.....	21
3.3.4 Evaporación.....	21
3.3.5 Número de días despejados.....	21
3.3.6 Número de días medio nublados.....	21
3.3.7 Número de días nublados/cerrados...	21
3.4 Estimación de datos faltantes.....	24

	Pág.
3.5 Análisis de la calidad de la información climática.....	24
3.5.1 Pruebas de homogeneidad.....	26
3.6 Estudio de los elementos climáticos.....	30
3.6.1 Temperatura.....	30
3.6.1.1 Determinación de las temperaturas medias (máxima, media y mínima) mensuales y anuales.....	31
3.6.1.2 Unidades calor.....	31
3.6.1.2.1 Cuantificación de unidades calor...	35
3.6.2 Precipitación.....	38
3.6.2.1 Determinación de las precipitaciones medias mensuales y anuales.....	38
3.6.2.1.1 Cálculo de probabilidades de lluvia.....	38
3.7 Radiación solar.....	49
3.7.1 Estimación del régimen de radiación solar $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ a partir de la nubosidad.....	61
3.7.2 Duración del día.....	61
3.7.2.1 Cuantificación de la duración del día.....	61

	Pág.
3.8 Humedad relativa.....	64
3.9 Evapotranspiración.....	71
3.9.1 Cálculo de la evapotranspiración por el método de Thornthwaite.....	73
3.9.2 Estación de crecimiento.....	78
3.9.2.1 Determinación de la estación de crecimiento.....	81
3.10 Clasificación climática.....	90
3.10.1 Clasificación de Köppen.....	90
3.10.2 Clasificación climática de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite..	93
IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	99
V. BIBLIOGRAFIA.....	103
VI. APENDICE.....	106

## LISTA DE CUADROS

CUADRO		Pág.
1	Estaciones climatológicas consideradas en el estudio.....	22
2	Información disponible de las Estaciones climatológicas.....	25
3	Determinación de la homogeneidad de una serie Estación Actopan, Ver.....	27
4	Intervalo de confianza para registros homogéneos.....	28
5	Generación de algunas variables agroclimáticas a partir de controles o elementos del clima..	28
6	Valores de temperaturas promedio mensual media (°C).....	32
7	Valores de temperaturas promedio mínimas mensual (°C).....	33
8	Valores de temperaturas promedio máximas mensual (°C).....	34
9	Temperaturas base para diferentes cultivos...	36
10	Cuantificación de Unidades calor base (10°C) para 10 Estaciones ubicadas en el área de influencia del CAECOT.....	37
11	Valores de precipitación promedio mensual (mm).....	39
12	Precipitación en mm de la Estación Actopan, Ver. Mes de agosto.....	42
13	Probabilidad de precipitación (agosto). Estación Actopan, Ver.....	44
14	Diferencias absolutas entre la probabilidad observada y las teóricas. Estación Actopan, Ver.	45
15	Probabilidad de ocurrencia de precipitación (mm) calculada al 80% y 75%.....	50

CUADRO

Pág.

16	Precipitación para varios niveles de probabilidad usando la distribución acumulativa y la Galton. Estación Rinconada, Ver.....	50
17	Datos de nubosidad (días despejados, medio nublados y nublados cerrados) mensuales en el estado de Ver.....	62
18	Codificación de la nubosidad en México.....	63
19	Relación aproximada de nubosidad con n/N.....	65
20	Radiación solar sobre una superficie horizontal al límite de la atmósfera (Ra) expresado como mm de agua evaporable para una constante solar igual a $2.00 \text{ cal/cm}^2/\text{min}^{-1}$ .....	65
21	Estimación del régimen de Radiación solar en $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ para los meses de enero a diciembre a partir de la nubosidad.....	66
22	Datos de evaporación promedio mensual en (mm)	74
23	Determinación de la evapotranspiración en el área de estudio por el método Thornthwaite...	76
24	Requerimientos de humedad de varios cultivos (mm).....	79
25	Determinación de la Estación de Crecimiento..	82
26	Temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) media, mínima y máxima durante la estación de crecimiento.....	89
27	Clasificación del clima según Thornthwaite para la estación Mozambra, Ver.....	97
28	Clasificación del clima según Thornthwaite para la estación Rinconada, Ver.....	98

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Totales de precipitación (mm) mensuales en función del tiempo. Estación Actopan, Ver.....	29
2	Distribución Galton. Estación Actopan, Ver....	46
3	Distribución Rafz Cúbica. Estación Actopan, Ver	47
4	Distribución Normal. Estación Actopan, Ver....	48
5	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes enero. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	51
6	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Meses febrero y marzo. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	52
7	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes de abril. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	53
8	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes de mayo. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	54
9	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes de junio. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	55
10	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes de julio. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	56
11	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes agosto. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	57
12	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes septiembre. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	58
13	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes octubre. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	59
14	Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes noviembre. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.....	60



FIGURA	Pág.
15 Curvas de isoprobabilidad de precipitación. Estación Rinconada, Ver.....	67
16 Gráfica de distribución de la radiación solar. Estación Veracruz, Ver.....	67
17 Gráfica de distribución de la radiación solar. Estación Soledad de Doblado, Ver.....	68
18 Gráfica de distribución de la radiación solar. Estación Manlio Fabio Altamirano, Ver.	69
19 Gráfica de distribución de la radiación solar. Estación Rinconada, Ver.....	70
20 Estación de crecimiento (precipitación al 50% de probabilidad). Estación El Tejar, Ver	83
21 Estación de crecimiento. Estación Zempoala, Ver.....	84
22 Estación de crecimiento. Estación Fuente Julia, Ver.....	85
23 Estación de crecimiento. Estación Loma Fina, Ver.....	86
24 Estación de crecimiento. Estación el Faisan, Ver.....	87
25 Estación de crecimiento. Estación Actopan, Ver.....	88

## APENDICE

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. Actopan.....	107
2A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. Mozambra.....	108
3A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. Veracruz.....	109
4A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. Manlio Fabio Altamirano.....	110
5A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. El Faisán.....	111
6A	Temperatura mínima, media y máxima. Est. Puente Jula.....	112
7A	Precipitación y evaporación. Est. Loma Fina..	113
8A	Precipitación y evaporación. Est. Actopan....	114
9A	Precipitación y evaporación. Est. Puente Jula	115
10A	Precipitación y evaporación. Est. El Tejar...	116
11A	Precipitación y evaporación. Est. El Faisán..	117
12A	Precipitación y evaporación. Est. Villa José Cardel.....	118
13A	Precipitación y evaporación. Est. Mozambra...	119
14A	Precipitación y evaporación. Est. Zempoala...	120

## LISTA DE MAPAS

MAPA		Pág.
1	Ubicación del área de estudio.....	8
2	Municipios que integran el área de estudio...	9
3	Hidrología.....	16
4	Ubicación de las estaciones climatológicas consideradas en el estudio.....	23

## RESUMEN

El presente trabajo presenta en forma sumariada algunos de los principios y consideraciones que deben de tomarse en cuenta al analizar información climática para su uso en la agricultura. Comprende además la ejemplificación de algunos métodos de análisis a partir de los cuáles, se obtuvieron los parámetros o índices agroclimáticos, mismos que pueden ser utilizados en la planeación de las diferentes actividades agrícolas. Sin embargo hay algunos elementos del clima que se emplean directamente tales como el viento, la radiación solar, la cantidad de lluvia, etc. en el último caso se recomienda su análisis en términos de probabilidades de ocurrencia. La selección de los métodos de análisis que se usaron se realizó en base a la información climática que se tenía disponible, ya que uno de los problemas fundamentales que se presentaron en la elaboración de este estudio es la falta de información.

## I. INTRODUCCION

La abundancia agrícola se logra cuando existe una combinación de diversos factores como son: El trabajo, la tecnología, el capital, la educación y la investigación; ésta última en el presente estudio se enfoca al conocimiento del comportamiento de los elementos climáticos predominantes en el área de influencia del Campo Agrícola Experimental Coxtatla, Ver. (CAECOT).

Actualmente el área cuenta con una red de Estaciones Termopluviométricas que la cubren en su mayor totalidad, las cuales contienen información climática de más de 20 años. Sin embargo, a la fecha dicha información no se emplea como una herramienta útil en la elaboración de proyectos y su empleo en programas agrícolas, debido al desconocimiento de la importancia que tienen en este renglón, así como a la es casa difusión de metodologías para su interpretación. Por lo que en este trabajo se ejemplifican algunas técnicas para el procesamiento de datos y obtención de índices agroclimáticos (Unidades calor, probabilidad de lluvia, evapotranspiración y otros). No obstante, hay algunos elementos del clima que se emplean directamente, tales como la radiación solar, el viento, etc. Estos son aplicables en la evaluación de recursos agroclimáticos regionales, planificación de los sistemas agrícolas y su relación con programas operativos.

### 1.1 Objetivos

1. Recopilar información de datos climáticos del área de estudio.
2. Cuantificar y transformar los elementos climáticos de mayor influencia en la producción agrícola (temperatura y precipitación) a índices agroclimáticos.
3. Proporcionar información a los investigadores y personas interesadas sobre algunas metodologías a usar para el mejor conocimiento del recursos clima en la agricultura.

## II. REVISION DE LITERATURA

En la actualidad se está considerando al clima como un componente del medio ambiente, de importancia en las investigaciones agronómicas, puesto que un cultivo es remunerativo cuando durante todo su ciclo encuentra condiciones favorables (o tolerables) de temperatura, lluvia, duración del día, etc.

Ramos y Hernández (1968) señalan la importancia de contar con estudios que indiquen las limitantes climatológicas para los cultivos en México, por lo que enumeran la influencia de diversos factores sobre la producción de alfalfa, haciendo énfasis en los climáticos, además mencionan los geográficos, edáficos, bióticos, físicos e históricos que producen efectos favorables o desfavorables en la producción.

Grebet (1977) al respecto, reporta que el ciclo vegetativo de las plantas se cumple siguiendo un ritmo bien definido e impuesto fundamentalmente por las condiciones climáticas; son éstos en definitiva quienes determinan la cantidad y calidad de la producción, por su influencia se puede observar, según los años, fluctuaciones de más de 50% en el rendimiento.

Se ha llegado al conocimiento de que los factores que más afectan al cultivo, desde el punto de vista meteorológico son: la luz, temperatura, precipitación y vientos, ya que sus interacciones o su acción directa viene dada o influye en otras como: radiación solar, fotoperíodo, nubosidad, albedo, humedad relativa, temperatura del suelo (Banrural, 1981).

Papadakis (1960) considera que en la agricultura todo está en función del medio y especialmente del clima. Indica que la producción agrícola es producto de la reacción entre la planta y el medio y para comprender las diferencias que existen entre las actividades agrícolas de las distintas partes del mundo, es necesario tener un conocimiento sumario pero concreto y exacto de cómo actúa el clima sobre las plantas. Por otro lado, menciona que los factores más importantes a considerar son: la temperatura, la luz y el agua.

Ramírez (citado por Mora, 1984) menciona que la influencia del clima sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos en una región es tan amplia que a ello se debe en gran parte la variación que año tras año muestran los rendimientos agrícolas; aunque a la fecha poco se ha logrado en su modificación, sí se puede tratar de aprovechar al máximo las ventajas que proporciona y eludir hasta donde sea posible los riesgos y perjuicios que ocasionan.

Existen dos condiciones esenciales para que una especie vegetal pueda desarrollarse en una localidad específica, éstos según Azzi (1971) son:



- A. La existencia de un intervalo suficientemente amplio para que la planta pueda completar su desarrollo desde el nacimiento o brote hasta la plena madurez de sus frutos y semillas.
  
- B. Que durante dicho intervalo las condiciones atmosféricas adversas no lleguen a alcanzar una intensidad tal que pueda disminuir el rendimiento más allá de los límites convencionales.

Brown (citado por Azpiazú, 1971), indica que cualquier clasificación empleada para determinar la probable duración de los ciclos vegetativos con el propósito de clasificar los cultivos y poder sembrarlos en el lugar geográfico adecuado, deberá basarse en mediciones de aquellos componentes del ambiente que son responsables de la variación en el número de días para alcanzar una fase dada, pues en las plantas, la marcha de muchos procesos fisiológicos depende en gran medida de como son satisfechos sus requerimientos por el complejo particular de condiciones externas.

Freere *et al.* (1978), realizaron un estudio agroclimático en la zona andina que constó de dos partes: en la primera se hace una descripción general de la zona, suelos, vegetación natural y posteriormente se analizan los diversos elementos del medio ambiente climático de los cultivos, principalmente los que condicionan el desarrollo vegetal, entre éstos la disponibilidad de agua y la temperatura. En la segunda parte se estudia el efecto de estos elementos en el

crecimiento, desarrollo y producción de los cultivos más importantes en la zona de estudio.

El análisis estadístico actual constituye un aspecto matemático del análisis climatológico, cuyo objetivo es la predicción climatológica. Thom (1971), realizó una publicación introductoria sobre los principios básicos necesarios para la elaboración de tales predicciones, define lo que es una serie climatológica. El autor estudia la distribución de frecuencia que es un elemento fundamental del análisis climatológico. A continuación trata la distribución acumulativa para la obtención de las probabilidades que representan las predicciones climatológicas.

Sierra (1984), presenta en México un manual para el cálculo del clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite, el cual explica cómo realizar el balance hídrico y la determinación de la clasificación climática correspondiente. Además presenta tablas en donde se encuentran resueltas las diferentes ecuaciones para el cálculo de la evapotranspiración potencial y también de la nomenclatura para dicha clasificación. Este sistema actualmente lo usa la SARH para determinar el cálculo de demanda de riego de los cultivos, el cual se combina con el método de Blaney y Clidle.

### III. MATERIALES Y METODOS

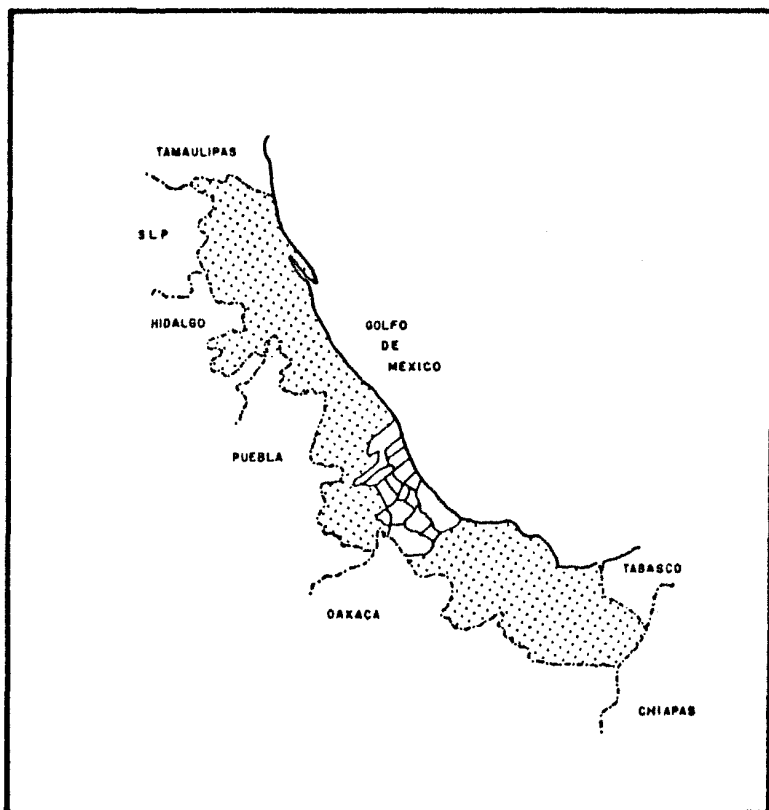
#### 3.1 Descripción general de área de estudio

##### 3.1.1 Localización

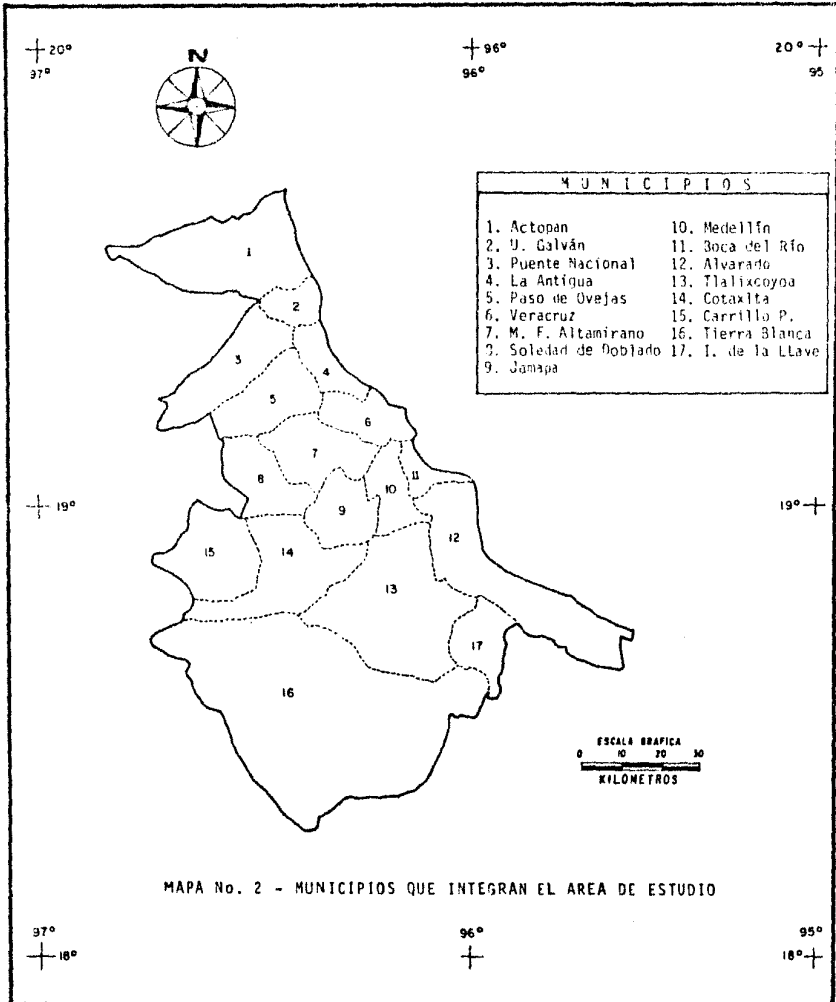
La zona de estudio es la correspondiente al área de influencia del Campo Agrícola Experimental Cotaxtla, Ver., localizándose a los 18°50' de longitud norte y a los 96°10' de longitud oeste. Se ubica en el kilómetro 34 de la carretera Veracruz-Córdoba, dentro de la jurisdicción del Municipio de Medellín Bravo, Ver. Su área de influencia se encuentra localizada aproximadamente entre los 18°16' a 19°42' de latitud norte y 95°36' a 97°51' de longitud oeste. Comprende los Municipios de: Paso de Ovejas, Manlio Fabio Altamirano, Soledad de Doblado, Carrillo Puerto, Cotaxtla, Jamapa, Medellín, Boca del Río, Alvarado, Tlalixcoyan, Tierra Blanca, Ignacio de la Llave (SARH, 1982). Ver mapa No. 1 y 2.

##### 3.1.2 Suelos

Las diferentes unidades de suelos encontrados en el área de estudio según la clasificación FAO/UNESCO (SRH, 1971 y 1973) son los siguientes: Fluvisol eútrico, Regosol eútrico, Gleysol mólico, Rendzina, Vertisol pélico, Cambisol vértico, Cambisol eútrico, Luvisol crómico, Luvisol órtico, Litosol, Acrisol órtico.



MAPA NO. 1. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO



En general el terreno es plano, sobre todo en las partes bajas existiendo pequeñas elevaciones y lomeríos que vienen a formar las primeras estribaciones de la Sierra Madre Oriental. Estas elevaciones de 100 a 300 m. no ofrecen diferencia notable a la productividad agrícola respecto a las llanuras. Las tierras bajas principalmente las que se inundan en tiempos de lluvias, están formadas por material de acarreo o limo. Existen además otras también planas que se denominan "sabanas" cuya naturaleza está formada de arena y arcilla, predominando cualquiera de los dos materiales. Algunos suelos pueden ser tepetatosos o pedregosos, variando de un lugar a otro en las partes donde predominan (SARH, 1982).

A continuación se hace una breve descripción de las unidades de suelos de la zona, de acuerdo a la clasificación de la FAO/UNESCO. (SRH, 1971).

**ACRISOL:** Del latín *acris*, muy ácido, connotativo de suelos con acumulación de arcilla y muy baja saturación de bases. Suelos con horizonte A Ocrico y B Argílico, muy pobres en nutrientes. Adecuados para la explotación forestal, también pueden dedicarse a actividades agropecuarias, aunque el costo de fertilización y encalado sería muy elevado.

**CAMBISOL:** Del latín *cambiare*, cambio, connotativo de suelos en los cuáles se ha llevado a cabo cambios en el color, estructura y consistencia como resultado del proceso de intemperismo *in situ*. Literalmente, suelo que cambia. Estos

suelos por ser jóvenes y poco desarrollados se presentan en cualquier tipo de vegetación, puesto que ésta se encuentra condicionada por el clima y no por el tipo de suelo. Son suelos con horizonte A Ocrico (Capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes) ó Umbrico (capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y pobre en nutrientes) y B Cámbico (Capa ubicada abajo del horizonte A. Con características incipientes de los otros horizontes B ó por lo menos con estructura de suelo, no de roca)

FLUVISOL: Del latín fluvis, Río. connotativo de planicie de inundación y depósitos aluviales, literalmente suelo de río. Se encuentra en todos los climas y regiones de México, cercanos siempre a los lagos o sierras desde donde escurre el agua o los llanos, así como en los lechos de ríos. La vegetación que presentan varía desde selva hasta matorrales y pastizales y algunas especies son típicas de estos suelos, como los ahuehuetes, ceibas o sauces. Son suelos de origen aluvial reciente que pueden tener un horizonte A Ocrico. Muy variable en su fertilidad, los cultivos en suelos fértiles dependen más del clima que de las características del suelo.

GLEYSOLES: Del nombre regional ruso "Gley" que significa suelos manchados, connotativo de estratos reducidos o moteados, que resultan de un exceso de agua. Suelo pantanoso. Suelos con horizonte gleyco (Capa saturada de agua estacional o permanente, presenta manchas rojas o amarillas, normalmente no

permite el crecimiento de raíces) a menos de 50 cms. de profundidad. Pueden destinarse a actividades agropecuarias con cultivos que toleran exceso de agua por medio de obras de drenaje. Los subgrupos fértiles pueden destinarse a actividades agropecuarias normales. En algunos casos se pueden emplear para la agricultura con cultivos que toleran la inundación o la necesitan, tales como el arroz o la caña de azúcar, con buenos resultados.

LITOSOL: Del griego lithos, piedra. Literalmente, suelo de piedra, connotativo de suelos con piedra dura a una profundidad muy superficial. Son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cms. de espesor hasta la roca, tepetate o caliche duro. Se localizan en todas las sierras de México, en menor o mayor proporción en laderas, barrancas y lomeríos así como en algunos terrenos planos. Tiene características muy variables en función del material que lo forma. Pueden ser fértiles o infértiles, arenosos o arcillosos. Su susceptibilidad a la erosión depende de la zona donde se encuentre, la topografía y del mismo suelo y puede ser desde moderada hasta muy alta. El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques y selvas su utilización es forestal; cuando presentan pastizales o matorrales se pueden llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado y en algunos casos se usan con rendimientos variables para la agricultura, sobre todo de frutales, café y nopal. Este empleo agrícola se halla



condicionado a la presencia de suficiente agua y se ve limitado por el peligro de erosión siempre existente.

**LUVISOL:** Del latín luvi, tiempo perfecto del verbo luo, lavar del latín arcilla, arcilla blanca, del latín il, dentro, connotativo de acumulación iluvial de arcilla, arg-il-luvic. Literalmente suelo lavado. Suelos con horizonte A Ocrico o Umbrico y B Argílico (Capa ubicada generalmente abajo de un horizonte A, en la que ha habido acumulación de arcilla).

**REGOSOL:** Del griego rhegos, manto, connotativo de capa de material suelto que se encuentra arriba de la corteza terrestre, suelos no desarrollados o débilmente desarrollados. Son suelos que se pueden encontrar en muy distintos climas y con diversos tipos de vegetación. Suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etc., sin ningún horizonte de diagnóstico, salvo posiblemente un A Ocrico. Su uso es muy variable según su origen.

**RENDZINA:** De un nombre polaco usado para denominar a los suelos poco profundos pegajosos que se presentan sobre rocas calizas. Estos suelos se presentan en climas cálidos o templados con lluvias moderadas o abundantes. Su vegetación natural es de matorral, selva o bosque. Suelos con horizonte A Mólico (Capa superficial blanda de color oscuro, rica en materia orgánica y nutrientes) sobreyaciendo directamente sobre material calcáreo. De fertilidad alta en actividades agropecuarias, con cultivos de raíces someras propias de la región.

en que se encuentren. Suelos que no tienen un horizonte de diagnóstico además de un horizonte A Mólico y posiblemente un B Cámbico, el horizonte A no debe ser mayor de 50 cms. de espesor y debe contener o encontrarse inmediatamente arriba de un material calcáreo (excluye la roca consolidada, los horizontes cálcicos o petrocálcicos y los fragmentos gruesos de diámetro mayor a 7.5 cms.) que tenga más del 40% de carbonato de calcio equivalente, no debe presentarse un estrato de roca dentro de los primeros 25 cms de suelo. El mayor problema en su utilización agrícola se debe a lo delgado de la capa no consolidada y a la reducida aprovechabilidad del P.

VERTISOL: Del latín *verto*, voltear, connotativo de suelos que se encuentran en constante movimiento, por el tipo de agrietamiento que se forma. Son suelos que se presentan en climas templados y cálidos, en zonas en las que hay una marcada estación seca y otra lluviosa. La vegetación natural de estos suelos va desde las selvas bajas hasta los pastizales y matorrales de los climas semisecos. Son suelos de textura arcillosa y pesada que se agrietan notablemente cuando se seca. A veces son salinos, su utilización agrícola es muy extensa, variada y productiva. Son casi siempre muy fértiles pero presentan ciertos problemas para su manejo, ya que su dureza dificulta la labranza y con frecuencia presentan problemas de inundación y drenaje. Son muy buenos para pastos y cultivos de temporal, siempre y cuando se controle la cantidad de agua.

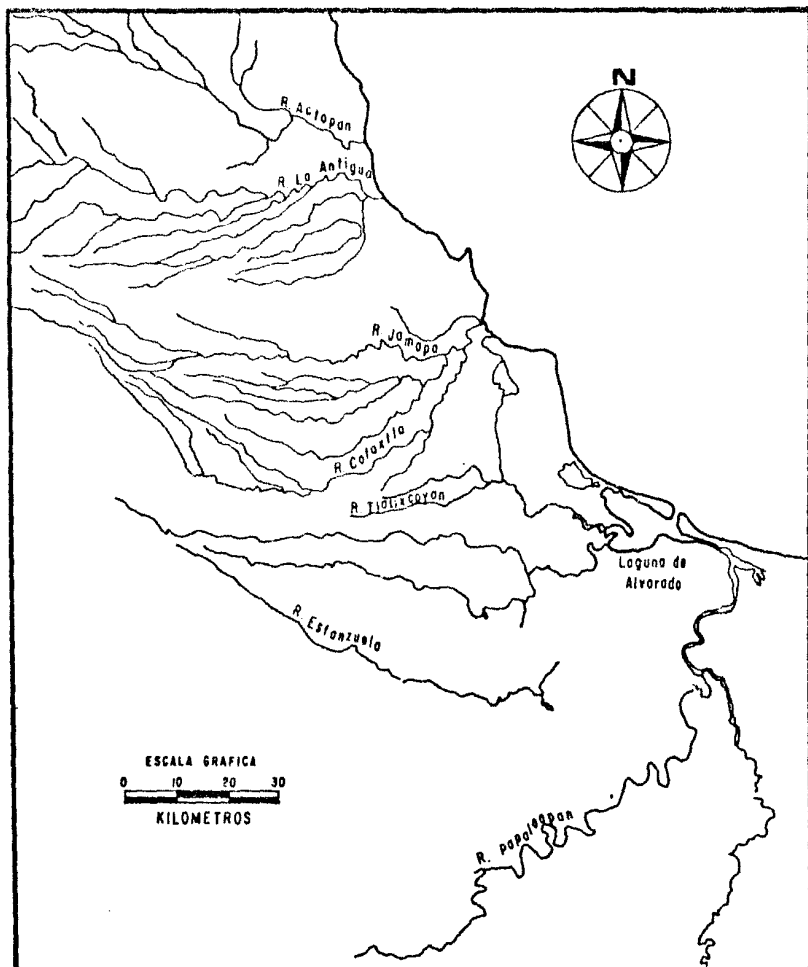
### 3.1.3 Hidrología

La hidrología del área está formada por algunos ríos y afluentes con escurrimientos que generalmente van de occidente a oriente, formando una red favorable para la irrigación en algunos municipios. (Ver Mapa No. 3). Los principales ríos son: Actopan o San Carlos, La Antigua, Jamapa, Cotaxtla y Papaloapan (SARH, 1979 y 1982).

RIO ACTOPAN O SAN CARLOS: Nace en la sierra del Estado de Puebla con escurrimiento de occidente a oriente, aflora en el "Descabezadero" cerca de Chicozen. En su recorrido se le unen varios afluentes como el río Sedeño, Pastorías y Chalcoya y Arroyo Hediondo. Desemboca en la Barra de Chachalacas después de un recorrido de 85 kms. El área de su cuenca es de 1,366 Km<sup>2</sup>. El gasto mínimo en la temporada de sequía es de 9 m<sup>3</sup> por segundo.

RIO LA ANTIGUA: Nace en el Estado de Puebla y corre en la mayor parte de su curso por la planicie costera, siendo sus principales afluentes los ríos Ixhuacán, Xico, Grande-Colorado, Paso de Ovejas, San Juan. Su recorrido es de 150 km. La superficie de su cuenca es de 3,309 km<sup>2</sup>. Estimándose su volumen medio anual en 2,680 millones de metros cúbicos. En la época de estiaje su caudal llega a ser hasta de 24 m<sup>3</sup>/seg. Desemboca en la Barra de La Antigua.

RIO JAMAPA. Al igual que los anteriores nace en el Estado de Puebla en las faldas del Pico de Orizaba. Sus afluentes



MAPA No. 3 - HIDROLOGIA

son el río Chavoxtla y Boca del Monte. Desemboca en Boca del Río. Tiene una longitud de 112 km y su cuenca una superficie de 3,627 km<sup>2</sup>, su escurrimiento anual es de 2,689 millones de metros cúbicos.

RIO COTAXTLA: Nace con el nombre de Atoyac en el Municipio de Coscomatepec, desciende por el escarpio oriental penetrando al Municipio de Cotaxtla donde recibe su nombre, prosigue su curso hasta cerca del Municipio de Boca del Río uniéndose al Jamapa. Su recorrido es de 152 km.

RIO PAPALCAPAN: Por el volumen de agua que escurre por su cuenca es el segundo en importancia en el país, vierte un promedio de 47,000 millones de metros cúbicos anualmente, con un mínimo de 25,000 millones y un máximo de 60,000 millones de metros cúbicos.

#### 3.1.4 Vegetación nativa

La vegetación nativa dominante en el área de estudio es la Selva Baja Caducifolia, Vegetación de dunas costeras, Manglar y Encinares. Esta se obtuvo de la Carta de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 de la S.P.P. a continuación se hace una breve descripción de estos tipos de vegetación, de acuerdo a Rzedowski (1978).

SELVA BAJA CADUCIFOLIA: Este tipo de vegetación es un equivalente aproximado al bosque tropical caducifolio e incluye bajo esta denominación a un conjunto propio de regiones de clima cálido y dominados por especies arborescentes que pierden

sus hojas en la época seca del año durante un lapso variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses. De acuerdo a la clasificación de Köppen (García, 1973) el tipo de clima más común correspondiente a esta formación vegetal es el Aw, aunque también hay algunos sitios con clima Bs y Cw. Su distribución geográfica en el centro de Veracruz, en un área situada entre Nautla, Alvarado, Jalapa y Tierra Blanca, sin llegar a ninguna de estas poblaciones, pero incluyen do las inmediaciones del Puerto de Veracruz. El bosque tropical caducifolio se desarrolla en México entre 0 y 1900 m de altitud más frecuentemente por debajo de la costa de 1500 m. Un factor ecológico de mucha significación que define su distribución geográfica, es la temperatura y en especial la mínima extrema, que en general no es menor de 0°C. La temperatura media anual es del orden de 20 a 29°C. El bosque tropical caducifolio de la zona cercana al Puerto de Veracruz, ha sido destruído casi en su totalidad y lo que cubren hoy la mayor parte del terreno correspondiente son matorrales y bosques secundarios, Tapia y Ramos (1961) citan de ahí bosques de *Cordia dodecandra*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium* sp. acompañados de *Parmentiera edulis*, *Tabebuia rosca* y *Ehretia tenuifolia*.

**MANGLAR:** Se conoce bajo este nombre una comunidad vegetal ampliamente distribuída en los litorales de las regiones calientes de la tierra. Prospera principalmente en las orillas de las lagunas costeras, de bahías protegidas y desembocaduras de ríos, en donde hay zonas de influencia de agua de mar.

El manglar es una formación leñosa, densa, frecuentemente arbustiva, o bien arborescente, de 2 a 25 m de altura compuesta de una o de unas cuantas especies de fanerógamas, prácticamente sin plantas herbáceas y sin trepadoras, rara vez con alguna epífita o parásita. Las especies que lo componen son de hojas perennes. En México son cuatro las especies de plantas más características del manglar: *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erecta*. Todas se presentan tanto del lado del Atlántico como del Pacífico y a menudo se hallan en la misma localidad, aunque en otros sitios puede faltar una o varias.

BOSQUE DE ENCINO: Los bosques de encino o *Quercus* son comunidades vegetales muy características de zonas montañosas, más sin embargo, también penetran en regiones de clima caliente. Los encinares arbóreos de México prosperan típicamente en condiciones de clima Cw de la clasificación de Köppen, pero también se extienden hacia Cf, Cs, Cx', Af, Am, Bs. La precipitación media anual varía de 350 mm en Sonora a más de 2000 mm en algunos lugares de la Planicie Costera del Golfo de México. Los encinares que se desarrollan en el Golfo de México, desde Tamaulipas hasta Campeche y en los cuales el denominador común es la presencia de *Q. oleoides*. Los encinares en cuestión ofrecen fisonomías que incluyen, desde formas casi arbustivas hasta bosques de 30 m de alto, que a su vez varían desde moderadamente densos hasta abiertos. Aunque con mayor frecuencia se les encuentra a altitudes próximas al nivel del mar.

### 3.1.5 Principales cultivos

Los principales cultivos que se estudian en este Campo de Investigación (SARH, 1982) son los siguientes:

AJONJOLI (*Sesonum indicum*) temporal  
 ARROZ (*Oryza sativa*) trasplante riego  
 ARROZ (siembra directa) temporal, riego  
 CACAHUATE (*Arachis hypogea*) temporal  
 CAMOTE (*Cinnamomum zeylanicum* Nees) Temporal

#### Vivero Riego

Cítricos

MANDARINO (*Citrus nobilis*)  
 NARANJO (*Citrus aurantium sinensis*)  
 TORONJO (*Citrus paradisi*)  
 GUANABANO (*Annona muricata*, L.)  
 MANGO (*Mangifera indica*)

#### Plantación Riego

Cítricos

MANDARINO  
 NARANJO  
 TORONJO  
 GUANABANO  
 MANGO



FRIJOL (*Phaseolus vulgaris*) Temporal-riego

MAIZ (*Zea mays*) Temporal-riego

PAPAYO (*Carica papaya* L.) riego

YUCA (*Manihot utilissima*) Temporal

### 3.2 Selección de las Estaciones Climatológicas

Para determinar las Estaciones Climatológicas a utilizar, se seleccionaron en primera instancia a todas aquellas que se encontraban ubicadas en el área de estudio. Como segundo criterio se eligieron aquellas Estaciones que tuvieran registros de más de 20 años de antigüedad, quedando 24 Estaciones. (Ver Cuadro No. 1). Es importante destacar que para este tipo de estudios lo ideal es el visitar las Estaciones seleccionadas para evaluar y corroborar la autenticidad de los datos, así como el lugar donde están ubicadas. En este estudio no fue posible realizar estas visitas. Ver Mapa No. 4.

### 3.3 Obtención de la información climatológica

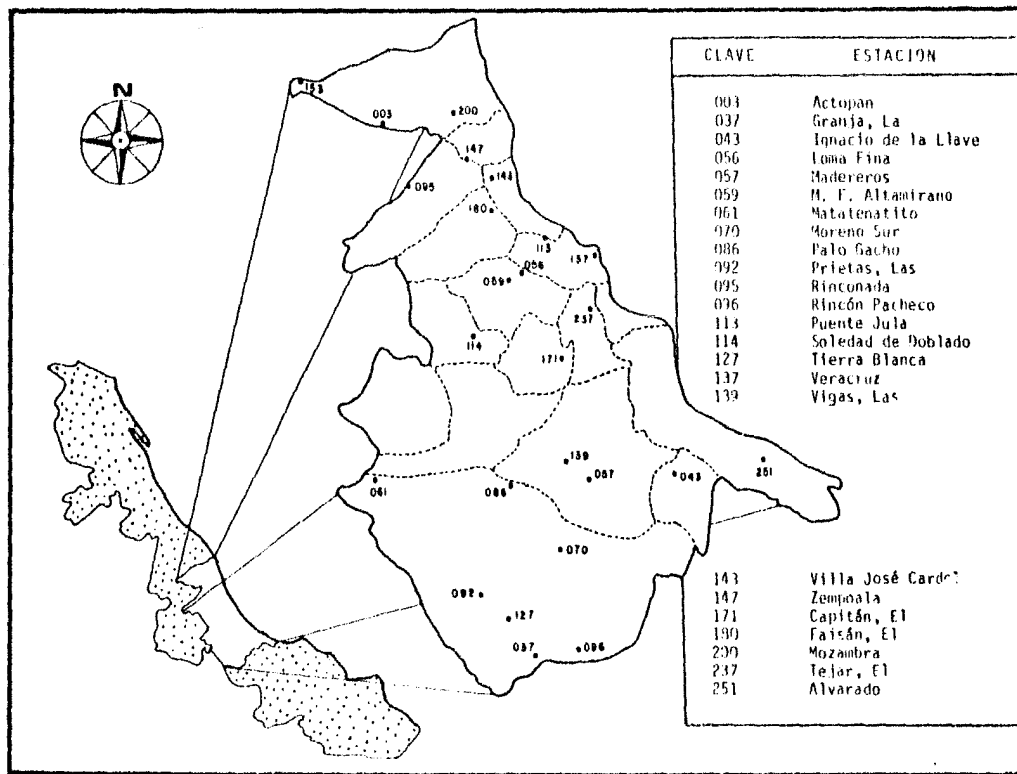
La información climatológica que se analizó fue promedios a nivel mensual. Los datos de las series históricas son desde el año de inicio de la Estación hasta 1983-84, de los siguientes parámetros:

- Precipitación
- Temperatura máxima, media, mínima
- Evaporación
- Humedad relativa
- Nubosidad

Cuadro No. 1. Estaciones climatológicas consideradas en el estudio.

Estación	Clave (*)	Clase de Estación	Organismo	Latitud N		Longitud W		Altitud msNM
				GR	MI	GR	MI	
Actopan	30-003	termopl-evap	SARH	19	30	96	37	311
Granja, La	30-037	termopl-evap	SARH	18	32	96	18	40
Ignacio de la Llave	30-043	termopl	SARH	18	44	96	58	8
Loma Fina	30-056	termopl	SARH	19	10	96	18	30
Madereros	30-057	termopl-evap	SARH	18	44	96	10	24
Manlio Fabio Altamirano	30-059	termopl	SARH	19	09	96	20	44
Matatenatito	30-061	termopl	SARH	18	44	96	39	271
Moreno Sur	30-070	termopl	SARH	18	35	96	14	32
Palo Gacho	30-086	termopl	SARH	18	46	96	18	67
Prietas, Las	30-092	termopl	SARH	18	30	96	25	69
Rinconada	30-095	termopl	SMN	19	21	96	33	313
Rincón Pacheco	30-096	termopl-evap	SARH	18	23	96	12	20
Puente Julia	30-113	termopl-evap	SARH	19	14	96	15	13
Soledad de Doblado	30-114	termopl	SMN	19	03	96	25	183
Tierra Blanca	30-127	termopl	SMN	18	27	96	21	60
Veracruz	30-137	termopl	SMN	19	12	96	08	16
Vigas, Las	30-139	termopl-evap	SARH	18	46	96	13	37
Villa José Cardel	30-143	termopl-evap	SARH	19	23	96	23	29
Zempoala	30-147	termopl-evap	SARH	19	30	96	30	25
Capitán, El	30-171	termopl-evap	SARH	18	59	96	13	0
Faisán, El	30-180	termopl-evap	SARH	19	18	96	22	20
Mozambra	30-200	termopl-evap	SARH	19	30	96	27	70
Tejar, El	30-237	termopl-evap	SARH	19	05	96	09	10
Alvarado	30-251	termopl-evap	SARH	18	46	95	46	9

(\*) CODIFICACION ACTUAL DE LAS ESTACIONES EN EL ESTADO DE VERACRUZ.  
DIRECCION GENERAL DE GEOGRAFIA. S.P.P.



MAPA No. 4 - UBICACION DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS CONSIDERADAS EN EL ESTUDIO.

Estos datos se promediaron y se concentran en los Cuadros Nos. 6, 7, 8, 20. Los datos de humedad relativa se obtuvieron del Atlas del Agua (Tamayo, 1976).

La nubosidad de las Normales Climatológicas (S.M.N., 1976). En el Cuadro No. 2 se puede observar la información disponible para cada una de las Estaciones.

### 3.4 Estimación de datos faltantes

Uno de los problemas que se presentaron en la realización de este estudio fue la falta de uno o más datos en las series históricas de las Estaciones, por lo que fue necesario realizar su estimación de acuerdo a Villalpando (1984).

### 3.5 Análisis de la calidad de la información climática

El análisis de la calidad de la información climática consistió en la aplicación de pruebas de homogeneidad para cada una de las Estaciones y elementos climáticos considerados.

Ruíz (1985), indica que el primer paso para procesar los datos debe llevarse a cabo mediante la depuración de las series climáticas, con el uso de técnicas simples como son: pruebas del signo, de recorrido ó runrest. Villalpando (1984), Ortíz (1984), con las cuales se pueden detectar anomalías en los datos. Estas anomalías se manifiestan como valores extremadamente altos o bajos, los que pueden ser originados por errores en el proceso de recabación de la información o por otras causas diversas.

Cuadro No. 2. Información disponible de las Estaciones Climatológicas.

E S T A C I O N	Prec. años	TEMPERATURA			Evap. años	Días con granizo años
		Máx. años	Media años	Mín. años		
Actopan	29	29	29	29	29	29
Granja, La	32	32	32	32	29	32
Ignacio de la Llave	26*	26	26	26	-	-
Loma Fina	30	28	28	27	25	-
Madereros	32	32	32	32	32	32
Manlio Fabio Altamirano	46*	34	34	34	-	46
Matatenito	25	25	25	25	-	25
Noreno Sur	26	26	26	26	-	-
Palo Gacho	23	23	23	23	-	22
Prietas, Las	30	30	30	30	16	30
Rinconada	39*	38	38	38	-	36
Rincón Pacheco	30	30	30	30	30	-
Puente Jula	23	29	23	29	26	-
Soledad de Doblado*	55	55	55	55	-	25
Tierra Blanca	46	44	44	44	-	37
Veracruz	60	60	60	60	19	-
Vigas, Las	25	25	25	25	22	25
Villa José Cardel	29	30	32	30	32	-
Zempoala	25	25	25	25	24	-
Capitán, El	21	20	19	20	19	-
Faisán, El	23	23	23	23	21	-
Mozambra	22	20	20	20	20	-
Tejar, El	25	24	24	24	24	24
Alvarado	32	32	32	32	26	-

### 3.5.1 Pruebas de homogeneidad

La prueba que se utilizó fue la de recorrido (runrest), para ilustrar el uso de ésta se emplearon los totales de lluvia del mes de julio durante el período de 1952 a 1980 de la Estación de Actopan y se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Graficar los totales de lluvia mensuales en función del tiempo, período de 1952 a 1980 (Fig. 1).
2. Sobreponer a esta gráfica el valor correspondiente a la media (231.1) de precipitación del mes de julio.
3. Tabular los valores de lluvia de julio (Cuadro No. 3).  
A continuación llevar el conteo del número de cambios hacia arriba (+) o hacia abajo (-) de la media o de la mediana según se elija. Cabe mencionar que ambas medidas de tendencia central pueden ser usadas como criterios para probar la aleatoriedad de la serie climática.

A continuación se explica con detalle el procedimiento utilizado para esta prueba. En este estudio se utilizó la media como criterio para medir el número de cambios o recorridos.

Cada desviación hacia arriba o hacia abajo de la media es registrada si el cambio es hacia arriba de la media se marca como (+) y si es hacia abajo como (-). El valor de (U) es obtenido del número de veces que se cambia el signo de la marca (+ ó -). En este caso  $U = 12$ . Para probar si el valor calculado de (U) es significativo, se usa el Cuadro No. 4. En este se presentan límites de significancia aproximadamente

Cuadro No. 3. Determinación de la homogeneidad de una serie

AÑO	LLUVIA (mm)	MARCA	AÑO	LLUVIA (mm)	MARCA
1952	256.1	+	1966	165.6	-
1953	149.1	-	1967	143.5	-
1954	210.7	-	1968	209.90	-
1955	694.1	+	1969	174.8	-
1956	140.4	-	1970	132.0	-
1957	185.2	-	1971	149.0	-
1958	483.2	+	1972	552.2	+
1959	132.2	-	1973	167.2	-
1960	347.5	+	1974	231.3	+
1961	411.9	+	1975	127.3	-
1962	386.4	+	1976	94.3	-
1963	376.9	+	1977	215.8	-
1964	101.0	-	1978	58.4	-
1965	156.3	-	1979	124.4	-
			1980		-

MEDIA = 231.17

N = 29

NUMERO DE CAMBIOS (U) = 12

INTERVALO DE (U) = 11.5 - 18.5

RECORD. HOMOGENEO

Cuadro No. 4. Intervalo de confianza para registros homogéneos de una distribución Normal. Dorenbos (citado por Villalpando, 1984).

No. de observ.	Intervalo (U)		No. de observ.	Intervalo (U)		No. de observ.	Intervalo (U)	
12	5	8	26	10	17	40	16	25
14	5	10	28	11	18	50	22	30
16	6	11	30	12	19	60	26	36
18	7	12	32	13	20	70	31	41
20	8	13	34	14	21	80	35	47
22	9	14	36	15	22	90	40	52
24	9	14	38	16	23	100	45	57

Cuadro No. 5. Generación de algunas variables agroclimáticas a partir de controles o elementos del clima.

CONTROL O ELEMENTO DEL CLIMA		VARIABLE AGROCLIMATICA
Latitud		Fotoperíodo
Altitud		Temperatura
Temperatura		Unidades calor, Unidades frío, Presión de vapor, Evapotranspiración
Nubosidad. Insolación		Radiación solar
Radiación solar		Radiación neta, ETP
Precipitación	Balance de	Índice de sequía
ETP	humedad	Índice excesos humedad

FUENTE: Villalpando (1984).



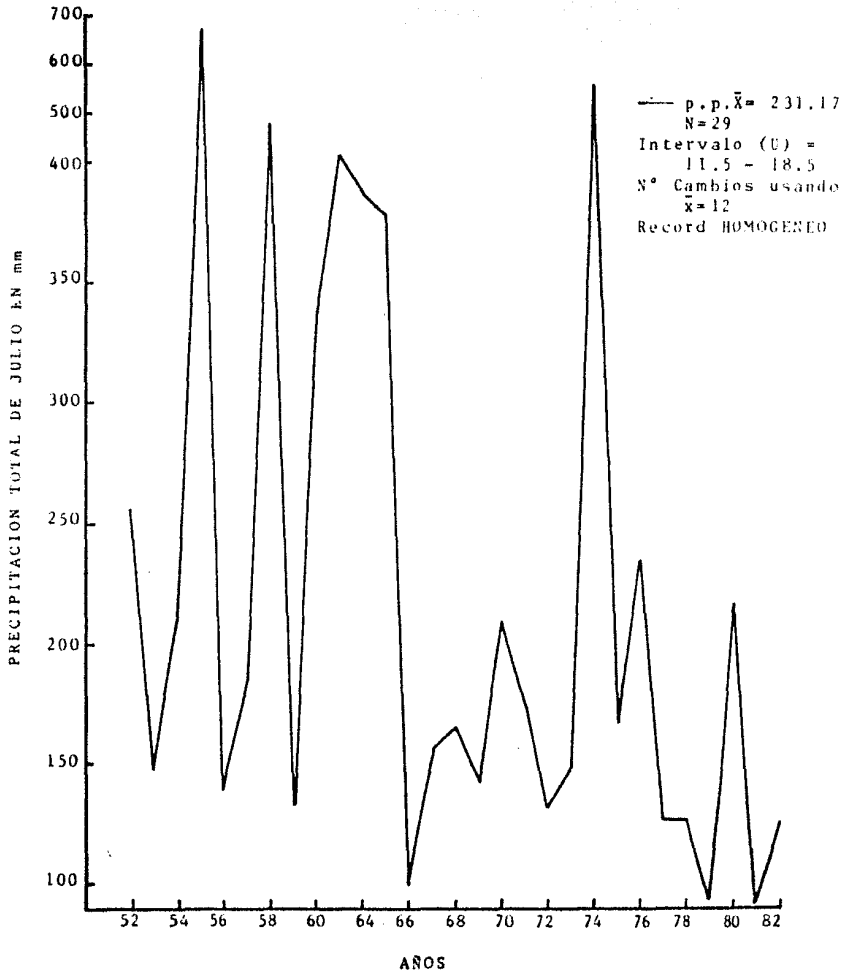


Figura 1. Totales de precipitación (mm) mensuales en función del tiempo. Estación Actopan, Ver.

para 10% y 90%. Si el valor calculado de (U) cae dentro del intervalo dado correspondiente al número de datos, el récord es homogéneo. Villalpando (1934) y Ruíz (1985), mencionan que para llevar a cabo el análisis estadístico la serie climatológica de datos debe ser homogénea, es decir, que provenga de una sola población. De otra manera sería necesario ajustar los datos empleando los registros de una estación cercana en donde se haya probado que es homogénea.

### 3.6 Estudio de los Elementos Climáticos

Una vez que las series históricas de los elementos climáticos en estudio cumplen con los requisitos de longitud y homogeneidad, se puede iniciar la estimación de los índices agroclimáticos, con la seguridad de que los resultados son confiables. En el Cuadro No. 5 se observan algunas variables agroclimáticas factibles de obtener a partir de controles o elementos del clima.

#### 3.6.1 Temperatura

La temperatura es uno de los elementos climáticos limitantes en algunas ocasiones en la producción de cultivos. Su medida se ha manejado por lo general en forma de promedios, ya sean anuales o mensuales; sin embargo, para fines agrícolas, esto no refleja la variación que se presenta a través del año o durante el ciclo de vida de los cultivos, para que estos datos tengan un significado más real sobre el desarrollo de los cultivos, se tienen que expresar en forma de índice o

parámetro agroclimático como son: Unidades calor, Unidades fo totérmicas, Unidades frío, etc.

3.6.1.1 Determinación de las temperaturas medias (máxima, media y mínima) mensual y anual. Como primer paso para determinar las Unidades calor, fue necesario obtener los datos de temperatura media. Estos se concentran en el Cuadro No. 6, además se realizaron los promedios para las temperaturas mínimas y máximas en los Cuadros Nos. 7 y 8. Asimismo se efectuaron las gráficas (ver apéndice) con estos datos, para las estaciones Veracruz, Manlio Fabio Altamirano, Puente Jula, El Faisán, Actopan y Mozamba, con el fin de ejemplificar su comportamiento durante todo el año.

3.6.1.2 Unidades calor. Como se sabe la temperatura afecta el desarrollo de las plantas por influencia sobre la velocidad en los procesos metabólicos. Las temperaturas bajas retardan el desarrollo, mientras que las altas (hasta un cierto límite), lo acelera y acorta el ciclo vegetativo de las plantas. El concepto de Unidades calor, grados día o Unidades térmicas, de crecimiento, nos indica que todas las plantas para que puedan cumplir su ciclo (siembra-cosecha), requieren acumular una cierta cantidad de temperatura la cual varía para cada especie, expresada en grados centígrados o en los índices ya citados, según sea el método que se utilice para su cuantificación. Existen varios métodos para el cálculo de Unidades Calor. Estos se pueden agrupar dentro de 3 categorías: 1) Exponencial, 2) Residual y 3) Fisiológico. Ortíz (1984).

Cuadro No. 6. Valores de temperaturas promedio mensual media (°C).

ESTACION	AÑOS	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGST.	SEPB.	OCT	NOV.	DIC	TOTAL ANUAL
Actopan	29	21.12	21.82	23.98	26.00	27.35	27.26	26.06	26.38	26.21	25.12	23.35	21.48	296.21
Granja, La	32	21.67	22.18	24.94	27.14	28.88	28.31	26.82	27.17	26.95	25.67	23.70	22.17	305.66
L. de la Llave	26	22.63	22.90	24.60	27.15	28.33	28.38	27.50	27.78	27.41	26.42	24.66	23.31	311.07
Loma Lina	28	20.65	21.38	24.56	27.01	28.37	28.03	26.65	27.00	26.76	25.62	21.80	21.51	301.34
Madereros	32	21.23	22.03	24.61	27.10	28.43	27.85	26.59	26.75	26.56	25.22	22.98	21.61	300.96
M.F. Altamirano	34	22.82	23.42	26.08	28.07	29.59	29.25	27.81	27.88	27.61	26.33	25.05	23.20	317.11
Matatenatito	25	21.57	22.68	24.27	25.66	27.38	26.53	25.52	25.56	25.20	24.62	22.99	22.44	294.16
Moreno Sur	26	20.36	21.04	23.07	25.96	27.03	26.41	24.65	25.60	25.05	24.56	22.53	20.67	286.93
Palo Gacho	23	22.16	22.96	25.36	27.85	29.14	28.64	27.08	27.23	27.03	25.91	24.09	22.75	310.20
Prietas, Las	30	21.70	22.39	24.93	27.41	28.49	28.01	26.78	27.20	26.88	25.72	23.64	22.03	305.18
Rincónada	38	21.69	21.90	24.29	26.72	27.76	27.24	26.02	26.10	26.13	25.06	23.50	21.93	298.34
Rincón Pacheco	30	21.47	22.68	25.13	27.78	29.25	28.61	27.27	27.56	27.18	25.99	23.93	22.09	308.94
Puente Añula	23	21.23	21.99	24.19	26.19	28.00	27.56	27.06	27.19	26.57	25.61	23.68	22.11	301.38
S. De Toblado	55	22.60	23.29	25.73	27.90	29.24	28.64	27.64	27.43	27.10	26.25	24.18	22.59	312.59
Tierra Blanca	44	23.66	24.36	26.99	28.80	30.26	29.80	28.48	28.95	28.48	27.96	26.10	24.45	328.29
Veracruz	60	21.49	21.96	23.44	25.49	27.25	27.72	27.57	27.80	27.38	26.39	24.18	22.36	303.03
Vigas, Las	25	21.65	22.45	24.98	26.90	28.57	28.08	26.85	26.94	26.70	25.61	23.88	22.20	304.81
Villa J. Cardel	32	21.55	22.21	24.57	27.02	28.16	27.91	27.06	27.40	27.24	26.02	24.07	22.35	305.56
Zempoala	25	22.26	22.86	24.96	27.20	28.66	28.70	27.80	27.98	27.90	26.83	24.91	22.96	313.02
Capitán, El	19	21.49	22.01	24.74	27.62	28.68	28.34	27.26	27.51	27.15	25.81	23.77	22.26	306.64
Falsán, El	23	21.43	22.32	24.46	26.34	27.78	27.73	26.99	27.12	27.06	25.89	24.10	22.57	303.79
Mozámra	20	21.60	22.23	24.72	27.05	28.44	28.21	27.29	27.32	27.22	26.17	24.69	22.81	307.75
Tejar, El	24	20.43	21.10	23.47	25.83	27.35	27.31	26.57	26.60	26.35	25.08	23.04	21.32	294.45
Alvarado	32	22.64	23.14	25.58	27.64	28.69	28.78	27.90	28.42	28.17	26.57	24.90	23.10	315.53

Cuadro No. 7. Valores de temperaturas promedio mínimas mensual (°C).

ESTACION	AÑOS	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGST.	SEPB.	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
Actopan	29	15.22	15.84	17.65	19.77	21.23	21.83	20.56	20.60	20.57	19.23	17.57	15.96	226.03
Granja, La	32	16.09	15.88	18.42	20.63	22.32	22.80	22.03	22.12	22.11	20.85	18.64	16.72	238.61
I. de la Llave	26	17.40	17.28	19.10	21.41	22.80	23.15	22.70	23.01	22.76	21.88	19.80	17.91	249.20
Lona Fina	27	14.82	15.40	18.66	21.31	23.01	23.49	22.43	22.50	22.24	20.77	18.64	16.14	239.41
Madereros	32	15.90	16.22	18.51	20.83	22.67	22.99	22.48	22.13	22.03	20.51	17.92	16.41	238.30
M.F. Altamirano	34	17.31	17.59	19.95	21.40	23.41	23.77	22.71	22.70	23.06	21.56	19.80	17.85	251.11
Matatenatito	25	15.06	15.73	17.11	18.35	19.86	19.73	18.60	18.94	18.81	18.06	16.50	15.78	212.53
Moreno Sur	26	14.91	14.98	16.15	19.23	20.79	20.58	19.56	20.29	19.90	19.23	16.89	15.16	217.67
Palo Gacho	23	16.45	16.94	18.94	21.31	22.74	23.26	22.16	22.34	22.34	21.13	18.99	17.24	243.84
Prietas, Las	30	15.45	15.71	18.06	20.34	21.94	22.28	21.74	21.76	21.83	20.49	18.04	16.11	233.76
Rinconada	38	15.16	15.51	17.58	20.03	21.45	21.56	20.38	20.26	20.47	19.29	17.55	15.88	225.12
Rincón Pacheco	30	15.74	15.93	18.23	20.66	22.40	22.78	22.16	22.20	22.06	20.72	18.52	16.45	237.85
Puente Julia	29	14.87	15.66	18.04	20.48	21.98	22.19	21.74	21.73	21.45	19.91	17.96	15.77	231.84
S. de Doblado	55	17.25	17.52	19.34	21.45	23.03	23.38	22.32	22.28	22.16	21.94	18.97	17.51	246.45
Tierra Blanca	44	17.16	17.42	19.58	21.87	23.75	23.80	22.82	22.94	22.79	22.26	20.05	18.35	252.79
Veracruz	60	18.49	18.87	20.07	22.74	24.48	24.51	23.71	23.90	23.63	22.91	20.81	19.27	263.89
Vigas, Las	25	15.66	16.12	18.34	20.64	22.22	22.82	21.96	21.92	21.75	20.35	18.24	16.31	236.33
Villa J. Cardel	30	16.14	16.87	19.13	21.85	23.42	23.41	22.31	22.28	22.28	20.89	18.89	17.03	244.50

Cuadro No. 8. Valores de temperaturas promedio máximas mensual (°C).

ESTACION	AÑOS	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGST.	SEPB.	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
Actopan	29	26.81	28.06	30.32	32.62	33.44	32.60	31.49	32.16	31.78	30.98	28.82	27.63	366.72
Granja, La	32	27.31	28.16	31.48	33.85	35.28	33.69	31.71	32.22	31.77	30.45	28.88	27.54	372.34
Ignacio de la Llave	26	27.76	28.46	30.43	32.83	33.81	33.58	32.25	32.67	32.13	31.12	29.59	28.31	372.99
Loma Fina	28	26.40	27.29	30.72	32.93	33.76	32.78	31.19	31.86	31.63	30.63	28.90	27.13	365.22
Madereros	32	26.55	27.88	30.53	33.35	34.23	32.69	30.90	31.55	31.05	29.84	27.82	26.81	363.21
Manlio F. Altamirano	34	28.36	29.36	32.20	34.42	35.81	34.71	32.59	33.02	32.12	31.23	29.82	28.29	381.93
Matatenatito	25	28.03	29.59	31.39	33.71	34.88	33.28	32.12	32.17	31.56	31.10	29.50	29.03	376.30
Moreno Sur	26	25.91	27.05	29.47	32.61	33.18	32.18	30.06	30.93	30.03	29.86	27.91	26.10	355.32
Palo Gacho	23	28.00	29.03	31.89	34.82	35.58	34.01	32.01	32.08	31.76	30.73	29.52	28.52	377.95
Prietas, Las	30	27.81	29.15	31.93	34.86	35.25	33.71	31.86	32.58	31.84	30.90	29.28	27.91	377.08
Rinconada	38	27.73	28.27	31.26	33.56	34.11	32.95	31.64	32.00	31.61	30.66	29.45	28.00	371.24
Rincón Pacheco	30	27.18	29.00	32.57	35.09	36.10	34.37	32.47	32.89	32.28	31.12	29.24	27.90	380.21
Puente Jula	27	27.52	28.48	30.52	32.65	33.93	32.81	31.72	32.12	31.46	30.84	28.90	28.18	369.13
Soledad de Doblado	55	27.69	29.04	31.67	34.12	35.40	34.12	32.68	32.62	32.04	31.26	29.36	27.69	377.69
Tierra Blanca	44	30.17	31.42	34.07	35.76	36.86	35.88	34.32	34.96	34.41	33.68	32.19	30.65	404.37
Veracruz	60	24.41	24.89	26.38	29.82	30.42	30.41	30.51	30.93	30.42	29.42	27.16	25.38	340.15
Vigas, Las	25	27.65	28.74	31.31	33.62	34.80	33.44	31.69	31.98	31.59	30.82	29.23	28.01	372.88
Villa José Cardel	30	26.08	27.49	29.92	32.31	33.23	32.51	31.68	32.20	31.92	30.80	28.99	27.43	364.56
Zempoala	25	27.46	28.36	30.40	32.52	33.02	33.41	32.82	33.21	32.66	32.21	30.27	28.64	375.88
Capitán, El	20	27.13	28.03	31.19	33.99	34.46	33.22	31.88	32.30	31.39	30.62	29.16	27.58	370.97
Faisán, El	23	27.55	28.61	30.58	32.52	33.45	33.00	32.34	32.76	32.57	31.60	30.08	28.72	373.98
Mozambra	20	27.33	28.12	30.74	32.97	34.21	33.20	32.57	32.64	32.63	31.60	29.89	27.62	373.52
Tejar, El	24	25.22	26.42	28.77	31.25	32.71	31.97	31.10	31.20	30.82	29.60	27.85	26.20	353.11
Alvarado	32	26.32	27.15	29.15	31.74	32.89	32.79	31.70	32.14	31.56	30.58	28.45	26.58	361.05

3.6.1.2.1 Cuantificación de Unidades Calor. En este caso se empleó la siguiente fórmula para su cuantificación a nivel mensual; de las estaciones termopluviométricas localizadas en el área de estudio.

$$U:C: \text{ Mensual} = (T. \text{ media mensual} - T. \text{ Base}) \times (\text{No. días mes})$$

La temperatura base que se usó fue de 10°C, pero esta varía según el cultivo. La literatura reporta que la mayoría de los cultivos dejan de crecer a los 10°C y a temperaturas mayores de 30°C muchos cultivos también dejan de crecer, debido a que se presentan déficits de agua. Ruíz (1985). En el Cuadro No. 9 se muestran las temperaturas base mínima y óptima (°C) para el crecimiento y desarrollo de algunos cultivos:

Las unidades calor se obtuvieron para 10 Estaciones y se muestran en el Cuadro No. 10.

Como se puede observar, se realizó la cuantificación de Unidades Calor sin considerar los requerimientos de un cultivo agrícola individual, por lo que realizó una caracterización general de las condiciones de temperatura de la zona, con el fin de que posteriormente sea factible seleccionar cuáles cultivos se adaptan a esta zona con buenos resultados. En las Estaciones en que se obtuvo las Unidades calor anual, se encuentra un rango de 5314 a 5879, los cuales corresponden a las Estaciones El Tejar y Zempoala.

Una mejor idea del valor agrometeorológico de la suma de temperaturas para una región dada, puede obtenerse por

Cuadro No. 9. Temperaturas Base para diferentes cultivos.

C U L T I V O S	T. B. MINIMA (°C)	T. OPTIMA (°C)
Frutales caducifolios	5	25
Trigo, Avena, Cebada	5	20-25
Maíz	10	30-32
Soya	10	30-32
Frijol	8-10	20-25
Arroz	15	20-30
Algodón	12-15	30-34
Girasol	10	25-30
Sorgo	15	30-35

FUENTE: Villalpando (1984).



Cuadro No. 10. Cuantificación de Unidades Calor (°C), T. Base (10°C) para 10 estaciones ubicadas en el área de influencia del CAECOT.

E S T A C I O N	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGSTO	SEPTBR	OCTBR	NOVBR	DICBR	ANUAL
Actopan	344.72	333.91	433.38	482.40	537.95	517.80	497.86	507.78	486.30	368.22	400.50	355.88	5367.10
Loma Fina	330.15	321.48	451.36	510.30	569.47	540.90	516.15	527.00	502.80	484.22	414.00	356.81	5524.64
Rinconada	362.39	336.17	442.99	501.60	550.56	517.20	496.62	496.62	483.90	466.86	405.00	369.83	5429.74
Puente Jula	348.13	338.71	439.89	485.70	558.00	526.80	511.80	528.86	497.10	483.91	410.40	375.41	5504.71
Veracruz	356.19	337.87	416.64	464.70	534.75	531.60	544.67	551.80	521.40	508.09	425.40	383.16	5576.27
Villa J. Cardel	358.05	344.93	451.67	510.60	562.96	537.30	528.86	539.40	427.20	496.62	422.01	382.85	5562.54
Zempoala	380.06	363.29	463.76	516.00	578.46	561.00	551.80	557.38	537.00	521.73	447.30	401.76	5879.54
Faisán, El	354.33	348.04	448.26	490.20	551.18	531.90	526.69	530.72	511.80	492.59	423.00	389.67	5598.38
Mozambra	359.60	345.49	456.32	511.50	571.64	546.30	535.99	536.92	516.60	501.27	440.70	397.11	5719.44
Tejar, El	323.33	313.57	417.57	474.90	537.85	519.30	513.67	514.60	490.50	467.48	391.20	350.92	5314.89

comparación de ésta con la suma de temperatura que requiere algún cultivo agrícola.

Arteaga R. (1985), indica los siguientes valores para los cultivos de mijo, lino, arroz, maíz, papa, algodón, los cuales corresponden a las sumas de temperaturas activas durante todo el ciclo del cultivo, haciendo énfasis que el valor para un cultivo dado, varía dentro de ciertos intervalos según las demás condiciones ambientales y edáficas, así como a las diferentes variedades.

<u>CULTIVO</u>	<u>S.T. ACTIVOS</u>
Lino	1400-1600
Mijo	1600-1900
Arroz	2000-4000
Maíz	2400-2800
Algodón	3500-3800
Papa	2400-3200°C

### 3.6.2 Precipitación

3.6.2.1 Determinación de las precipitaciones medias mensuales. Se obtuvieron los promedios mensuales de precipitación para las 24 estaciones termopluiométricas y estas se encuentran concentradas en el Cuadro No. 11.

3.6.2.1.1 Cálculo de probabilidad de lluvia. La lluvia es uno de los elementos climáticos con una gran influencia en la producción agrícola, sobre todo cuando ésta es de temporal

Cuadro No. 11. Valores de precipitación promedio mensual (mm).

ESTACION	AÑOS	ENERO	FEB	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGSTO	SEPT	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
Actopan	29	10.99	12.01	9.26	14.33	34.53	204.11	231.17	145.20	167.75	56.90	27.63	13.10	926.93
Granja, La	32	20.66	23.54	24.16	30.79	88.32	355.67	412.38	329.41	327.30	125.19	56.39	28.61	1832.40
I. de la Llave	26	26.09	13.92	12.49	17.80	47.50	229.97	342.19	248.86	316.05	170.07	66.34	26.87	1518.10
Loma Fina	30	8.42	7.14	6.98	12.06	29.13	160.56	213.57	158.94	136.55	55.24	18.73	7.60	814.90
Madereros	32	20.80	10.61	14.78	13.60	55.49	247.40	341.90	250.83	265.58	131.05	36.07	22.46	1419.57
M. A. Altamirano	46	10.92	11.09	7.44	7.76	34.71	134.11	240.53	207.70	197.40	77.68	25.89	10.96	1016.20
Matatenatito	25	35.49	43.37	28.58	43.80	85.43	304.02	281.60	262.43	263.72	116.94	53.12	33.14	1551.64
Moreno Sur	26	21.60	13.63	8.33	11.46	62.91	232.50	348.90	238.70	256.10	104.14	39.85	18.31	1356.60
Palo Gacho	23	12.96	12.00	12.89	10.42	39.87	225.21	263.40	225.95	208.06	75.94	26.04	16.33	1129.07
Prietas, Las	30	20.42	18.89	19.88	26.42	79.18	337.32	343.43	261.11	272.96	119.69	37.86	20.26	1557.40
Rinconada	39	12.03	12.24	13.59	14.98	43.24	200.96	213.22	148.41	156.06	57.18	23.40	14.07	909.30
R. Pacheco	30	22.89	17.38	18.31	17.41	75.94	292.28	373.43	270.51	284.62	152.81	57.91	30.13	1613.62
Puente Julia	23	11.82	10.84	6.07	9.59	51.79	207.41	309.83	239.80	223.63	81.16	35.74	13.13	1200.81
S. de Doblado	55	13.24	9.17	7.75	10.54	47.81	179.19	209.58	169.21	186.52	79.58	23.36	13.30	949.25
Tierra Blanca	46	23.50	11.75	18.50	26.66	63.10	258.79	387.90	275.35	268.82	142.58	71.45	26.25	1574.65
Veracruz	60	22.41	15.41	13.77	19.45	59.13	275.74	366.77	302.32	353.52	161.46	72.30	26.76	1687.73
Vigas, Las	25	20.14	10.84	13.83	9.40	41.00	247.12	321.96	241.76	245.64	96.33	33.24	18.96	1300.82
Villa J. Cardel	29	10.00	14.28	9.88	9.36	47.69	265.25	301.62	240.22	228.84	80.38	39.49	13.31	1260.35
Zempoala	25	10.11	13.04	11.17	6.90	33.48	259.40	272.54	217.27	209.68	78.06	30.22	12.54	1153.51
Capitán, El	21	19.26	8.97	14.21	14.58	52.17	253.34	315.64	300.02	283.59	83.34	45.88	19.45	1410.45
Faisán, El	23	8.43	7.93	9.18	11.35	38.73	227.99	280.66	240.64	228.66	85.36	36.07	13.09	1188.39
Mozambra	22	9.82	12.25	9.64	6.51	33.31	234.47	256.73	220.50	197.24	64.82	20.91	13.12	1079.37
Tejar, El	25	22.58	8.84	13.12	17.00	68.72	287.22	424.82	342.73	332.24	127.85	48.71	23.65	1717.48
Alvarado	32	38.86	24.70	20.18	31.89	52.49	215.59	355.92	252.16	390.88	215.73	90.60	51.95	1740.92

y es la única fuente disponible de ingreso de agua en los suelos para satisfacer los requerimientos del cultivo.

Una manera de considerar al factor lluvia, es analizar en forma probabilística con fines de predicción a largo plazo, que a diferencia del pronóstico a corto plazo, donde ésta se asocia con otras variables generalmente meteorológicas y la predicción se realiza por métodos sinópticos (cartas sinópticas del tiempo); en el análisis probabilístico la lluvia se considera en forma independiente de otras variables y para poder efectuarlo se requiere:

1. Tener los registros cronológicos de la lluvia del lugar donde se desea hacer la predicción (Ver Cuadro No. 11).
2. Definir la longitud del período para lo cual se quiere evaluar la lluvia probable. En este caso, la longitud del período que se analizó fue mensual y anual.
3. Homogeneidad de los datos. Las estaciones usadas fueron homogéneas.
4. Determinación de la distribución de mejor ajuste para los datos de lluvia. Esto se realizó para una estación con el fin de ejemplificar la metodología, la razón para esto fue la gran cantidad de datos que se tendrían que analizar y la carencia de una computadora.

Las distribuciones que se probaron, fueron la distribución Normal y transformaciones de ésta, como la Galton o Log normal y la Raíz Cúbica. El procedimiento que se siguió para escoger la de mejor ajuste, se describe a continuación,

tomando como ejemplo la estación Actopan:

- a) Transformación de los datos de la precipitación y obtención de estadísticos.

Primero se ordenan en forma ascendente los datos de la precipitación ( $X$ ) para poder calcular la probabilidad empírica. Luego se saca el logaritmo natural ( $\ln X$ ) y la raíz cúbica ( $\sqrt[3]{X}$ ). Debido a que no existe el logaritmo natural de cero, en los años en que la precipitación fuese de 0.0 mm se cambió a 0.1 mm, que en un mes es prácticamente cero; luego se obtienen sus medias y desviaciones estándar. De esta forma se obtuvo el Cuadro No. 12.

- b) Cálculo de las probabilidades Empíricas, Normal, Galton y Raíz Cúbica.

El cálculo de la probabilidad Empírica (PE) es necesaria para poder efectuar después la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y se obtiene dividiendo el número de orden (R) entre el tamaño de la muestra (N);  $PE = R/N$ .

Las probabilidades Normal (PN), Galton (PG) y raíz cúbica (PRC) se obtienen entrando a la tabla de Z (Curva Normal) con el resultado de la división de la resta del dato menos la media entre la desviación estándar, que para cada caso es:

$$PN = \frac{X - \bar{X}}{S_x}$$

Cuadro No. 12. Precipitación en mm de la Estación Actopan, Ver. Mes: Agosto (1921-1980).

Año	Precip.	No. de Orden	Precip. Ordenada X	.Inx	$\sqrt{X}$
1952	128.1	1	4.5	3.806	3.556
1953	71.7	2	53.5	3.979	3.768
1954	101.3	3	54.2	3.992	3.768
1955	124.3	4	64.1	4.160	4.002
1956	135.0	5	71.7	4.272	4.154
1957	164.7	6	75.4	4.322	4.224
1958	145.8	7	96.8	4.572	4.591
1959	45.0	8	101.3	4.618	4.661
1960	265.7	9	110.7	4.706	4.801
1961	53.7	10	114.0	4.736	4.848
1962	125.7	11	114.4	4.739	4.848
1963	150.4	12	120.2	4.789	4.935
1964	120.2	13	124.3	4.822	4.990
1965	155.5	14	125.7	4.833	5.009
1966	170.0	15	128.1	4.852	5.040
1967	195.5	16	135.0	4.905	5.129
1968	114.0	17	145.0	4.982	5.263
1969	319.3	18	150.4	5.013	5.318
1970	152.9	19	152.9	5.029	5.347
1971	184.4	20	155.5	5.046	5.377
1972	199.6	21	160.0	5.075	5.428
1973	160.0	22	164.7	5.104	5.481
1974	54.2	23	170.0	5.135	5.539
1975	96.8	24	184.4	5.217	5.691
1976	75.4	25	195.5	5.275	5.803
1977	64.1	26	199.6	5.296	5.844
1978	114.4	27	265.7	5.582	6.428
1979	412.7	28	319.3	5.766	6.834
1980	110.7	29	412.7	6.022	7.445

N = 29

<u>Media</u>	145.2	4.848	5.108
<u>Des.Est.</u>	78.2	.5062	.8672

$$PG = \frac{\sum \ln X - \ln \bar{X}}{\sum \ln X}$$

$$PRC = \frac{\sqrt[3]{X} - \sqrt[3]{\bar{X}}}{X \sqrt[3]{\bar{X}}}$$

Al aplicar estas fórmulas para cada dato (X) se llegó a los resultados del Cuadro No. 13.

- c) Aplicación de la prueba de Bondad de Ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

Para aplicar esta prueba se calcula la diferencia absoluta entre la probabilidad observada (PE) y las probabilidades teóricas (PN, PG y PRC); éstas se encuentran en el Cuadro No. 14. Una vez obtenidas las diferencias absolutas se utiliza para cada caso la diferencia máxima para aplicar la prueba, así se tiene:

$$D \max |Pe - PN| = .1714$$

$$D \max |Pe - PG| = .0859$$

$$D \max |Pe - PRC| = .1052$$

Así se encontró que la distribución que presenta mayor ajuste fué la distribución Galton para los datos de lluvia. Esto se puede apreciar al comparar las Figuras 2, 3 y 4 en las cuales se ejemplifica en el mes de agosto el comportamiento de la Distribución Raíz Cúbica, Normal y Galton para la Estación Actopan. La determinación de probabilidad de ocurrencia de lluvia al 80% se realizó de acuerdo a la distribución Galton, para lo cual además se realizó curvas

Cuadro No. 13. Probabilidades de precipitación (Agosto). Estación Ac  
topan, Ver.

Dato de Precip.	Probabilidad Empírica	Probabilidad Normal	Probabilidad de Galton	Probabilidad Raíz Cúbica
45.0	.0344	.1003	.0197	.0375
53.5	.0689	.1210	.0427	.0618
54.2	.1034	.1230	.0455	.0643
64.1	.1379	.1515	.0869	.1020
71.7	.1724	.1762	.1271	.1379
75.4	.2068	.1867	.1492	.1562
96.8	.2413	.2709	.2946	.2772
101.3	.2758	.2877	.3269	.3050
110.7	.3103	.3300	.3897	.3632
114.0	.3448	.3483	.4129	.3859
114.4	.3793	.3483	.4168	.3859
120.2	.4137	.3783	.4522	.4247
124.3	.4482	.3974	.4801	.4488
125.7	.4827	.4052	.4880	.4562
128.1	.5172	.4168	.5160	.4721
135.0	.5517	.4483	.5398	.5030
145.8	.5862	.5000	.6026	.5675
150.4	.6206	.5239	.6255	.5948
152.9	.6551	.5359	.6368	.6064
155.5	.6896	.5517	.6480	.6217
160.0	.7241	.5714	.6700	.6406
164.7	.7586	.5948	.6915	.6664
170.0	.7931	.6217	.7123	.6879
184.4	.8275	.6915	.7642	.7486
195.5	.8620	.7389	.7967	.7881
199.6	.8965	.7549	.8106	.7995
265.7	.9310	.9370	.9251	.9357
319.3	.9655	.9864	.9641	.9767
412.7	1.0000	.9907	.9896	.9964



Cuadro No. 14. Diferencias absolutas entre la probabilidad observada y las teóricas. Estación Actopan.

PE-PN	PE-PG	PE-PRC
.0659	.0147	.0031
.0521	.0262	.0071
.0196	.0579	.0391
.0136	.0510	.0359
.0038	.0453	.0345
.0201	.0576	.0506
.0296	.0533	.0359
.0119	.0511	.0292
.0197	.0794	.0529
.0035	.0681	.0411
.0310	.0375	.0066
.0354	.0385	.0110
.0580	.0319	.0006
.0775	.0053	.0265
.1004	.0012	.0451
.1034	.0119	.0487
.0862	.0164	.0187
.0967	.0049	.0258
.1192	.0183	.0487
.1379	.0416	.0619
.1527	.0541	.0835
.1638	.0671	.0922
.1714*	.0808	.1052*
.1360	.0633	.0789
.1231	.0653	.0739
.1416	.0859*	.0970
.0060	.0059	.0041
.0020	.0014	.0112
.0093	.0104	.0036

\* Diferencia máxima (D máx).

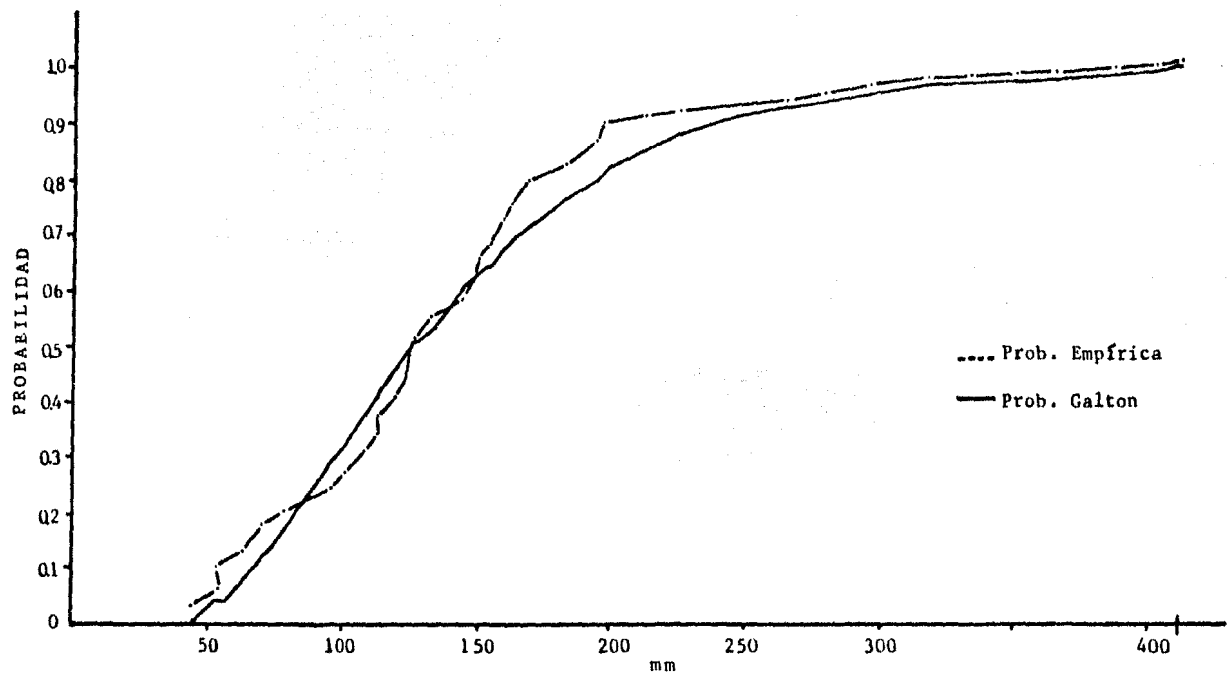


Fig. No. 2. Distribución Galton. Estación Actopan, Ver.  
Mes Agosto.

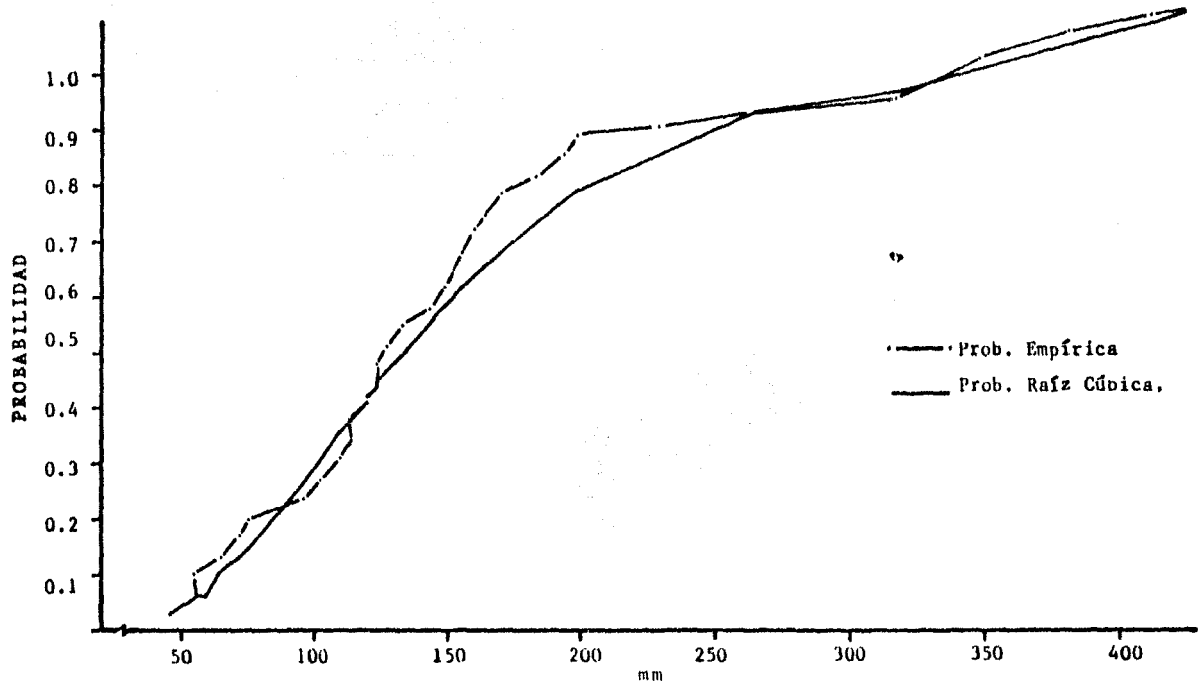


Figura No. 3. Distribución Raíz Cúbica. Est. Actopan, Ver.  
Mes de Agosto.

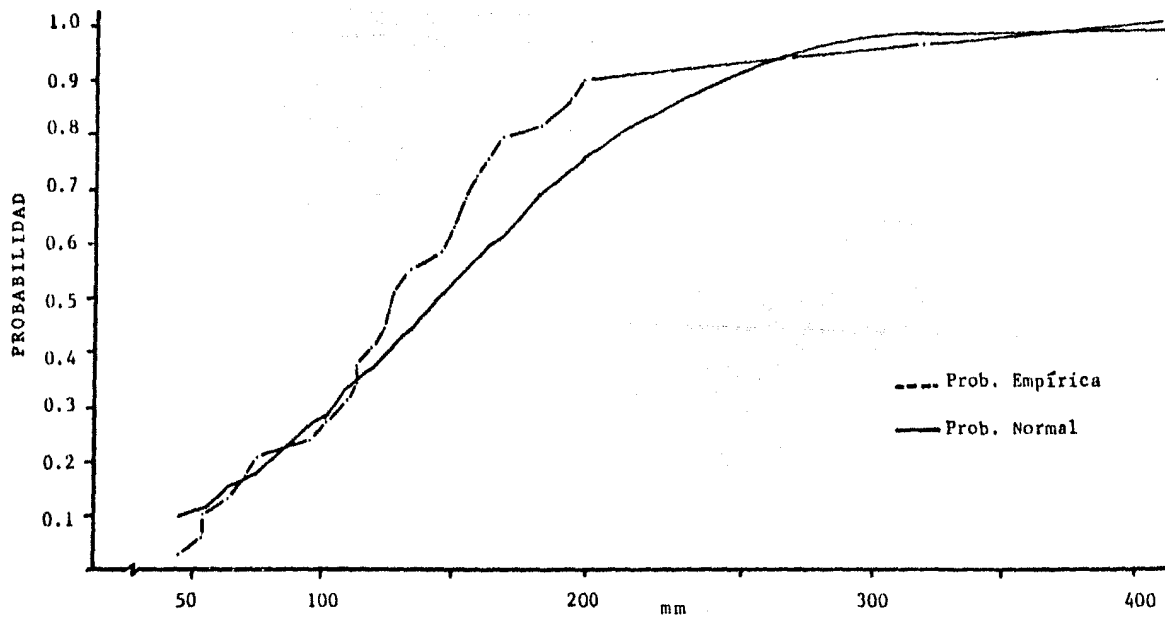


Figura No. 4. Distribución Normal. Est. Actopan. Ver.  
Mes de Agosto.

mensuales de dicha distribución. Esto se puede observar en las Figuras de la 5 a la 14, de tal forma que con estos datos se obtuvo el Cuadro No. 15. Se presenta también el comportamiento de la lluvia con diferentes niveles de ocurrencia al 75% y 80% durante todo el año para la Estación Rinconada, en donde se observa que el mayor porcentaje de lluvia se esperaría en los meses de mayo a octubre. El conocimiento del valor a esperar con un 80% de probabilidad de lluvia nos indica que en solo un 20% de los casos de 8 de cada 10 años se presentan valores menores, aún 20% es el riesgo permisible en la agricultura y se deriva de consideraciones económicas en las que solo se acepta que un cultivo fracase 1 año de cada 5 ó 2 de cada 10. Cuadro No. 16.

### 3.7 Radiación solar

La fuente de toda energía para todos los procesos físicos y biológicos que ocurren sobre la tierra es la radiación solar (Monteith. citado por Ortiz 1984), indica que la agricultura es una explotación de la energía solar, hecha posible por una adecuada suministración de agua y nutrientes para mantener el desarrollo de las plantas. Se sabe que la radiación influye en los siguientes aspectos de la vida de la vida de las plantas: germinación, fotosíntesis, respiración y en general, sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo. Romo y Arteaga (1983).

Cuadro 15. Probabilidad de ocurrencia de precipitación (mm) calculada al 80%.

E S T A C I O N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
RINCONADA	2.55	6.06	5.07	4.04	8.14	59.35	72.43	50.53	54.29	16.62	6.93	5.7	291.71
CAPITAN, EL	3.71	2.6	2.7	3.3	11.2	160.83	160.90	155.0	157.80	20.47	10.88	3.70	693.18

Cuadro No. 16. Precipitación para varios niveles de probabilidad, usando la distribución acumulativa y Galton. Esta ción Rinconada, Ver.

M E S	pp. mm ( $\bar{x}$ )	Distribución acumulativa (mm)		Distribución Galton (mm)			
		80%	75%	80%	75%	40%	25%
Enero	12.03	0.0	0.0	2.55	3.40	7.0	15.0
Febrero	12.24	0.0	0.0	6.06	8.23	6.5	14.0
Marzo	13.59	0.0	0.0	3.07	4.09	5.0	11.0
Abril	14.98	0.0	0.0	4.04	5.06	11.0	17.0
Mayo	43.24	3.0	9.7	8.14	12.21	17.0	45.0
Junio	296.0	77.0	103.0	59.35	71.22	190.0	370.0
Julio	213.0	112.0	136.5	72.43	84.51	205.0	300.0
Agosto	148.41	76.0	90.0	50.53	68.58	146.0	220.0
Septiembre	156.06	79.0	73.0	54.29	72.39	150.0	224.0
Octubre	57.18	17.5	22.0	16.62	20.7	48.0	93.0
Noviembre	23.40	1.5	4.5	6.93	13.86	12.0	31.0
Diciembre	14.07	0.0	1.0	5.7	7.01	8.0	19.0
T O T A L	909.30	356.0	439.7	291.71	371.26	805.5	1359.0

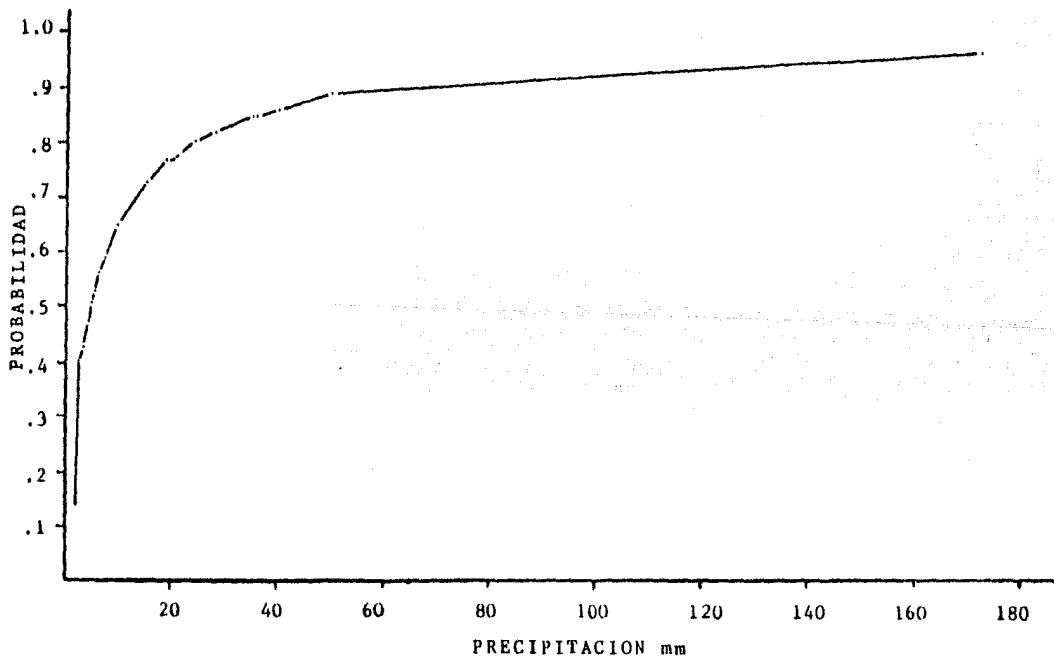


Figura No. 5. Probabilidad Precipitación mes Enero  
Distribución Gaion, Est. Rinconada.  
Ver.

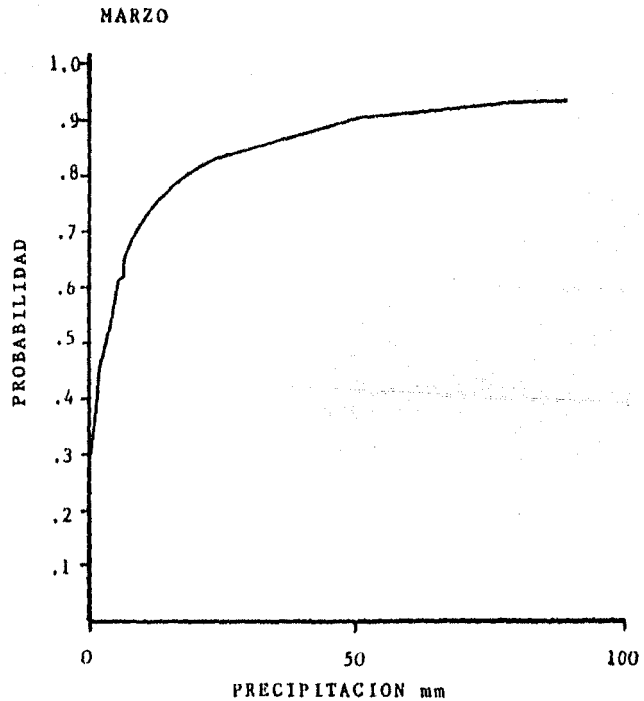
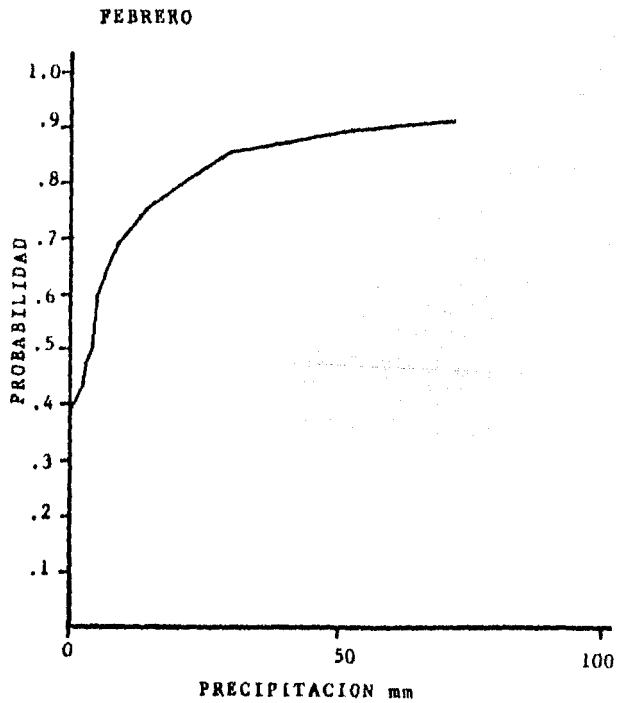


Figura No. 6 Probabilidad de ocurrencia de Precipitación  
meses Febrero y Marzo. Distribución Galton  
Est. Rinconada. Ver.



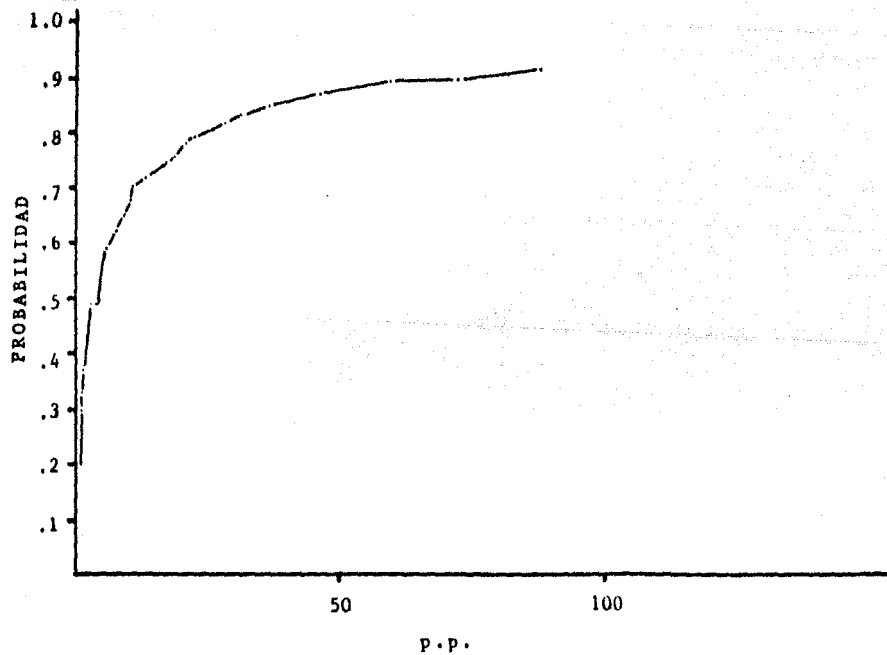


Figura No.7 Probabilidad de ocurrencia de precipitacion -  
 mes Abril. Distribucion Galton. Est. Rinconada.  
 Ver.

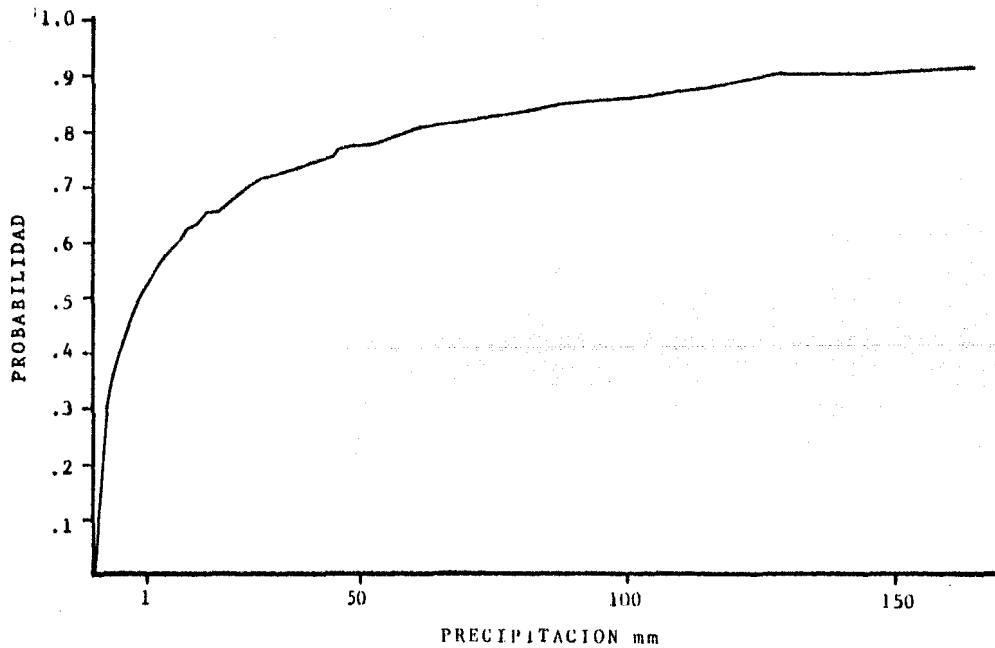


Figura No. 8. Probabilidad de ocurrencia de precipitación -  
mes Mayo. Distribución Galton; Est. Rinconada,  
Ver.

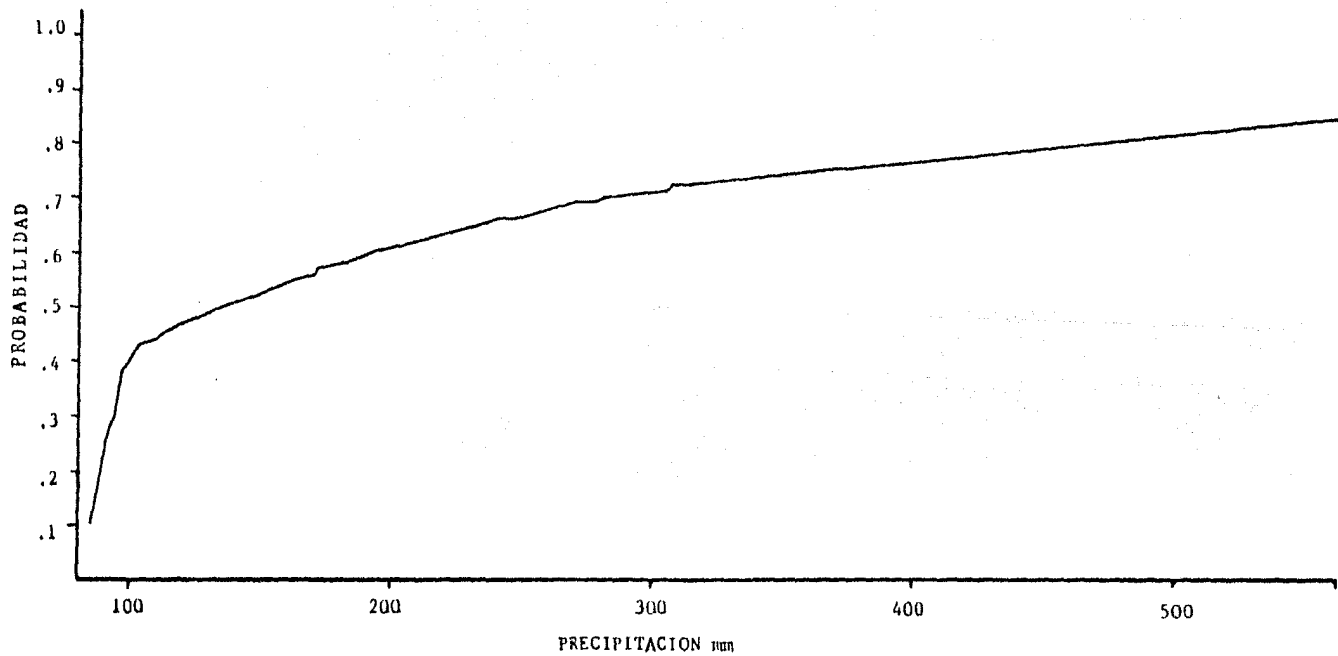


Figura No. 9. Probabilidad de ocurrencia de pp mes junio  
Distribución Galtón. Est. Rinconada. Ver.

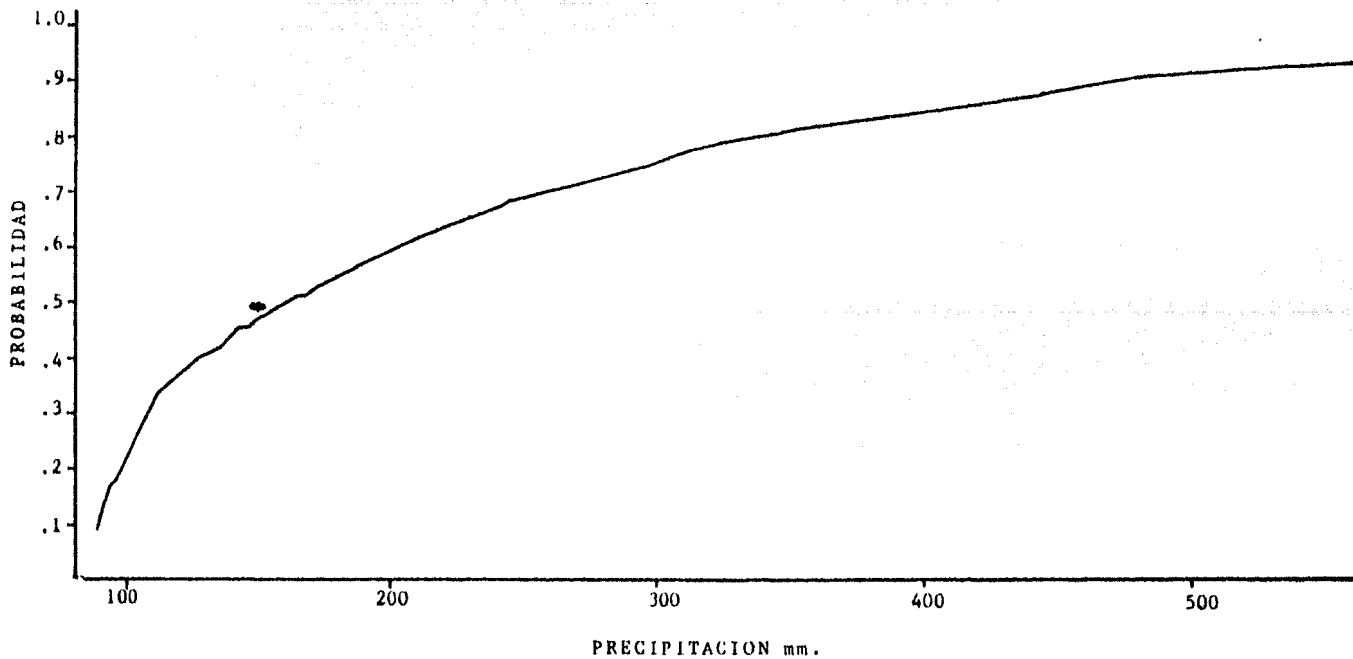


Fig. 10. Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes de julio. Distribución Galton.  
Estación Rinconada, Ver.

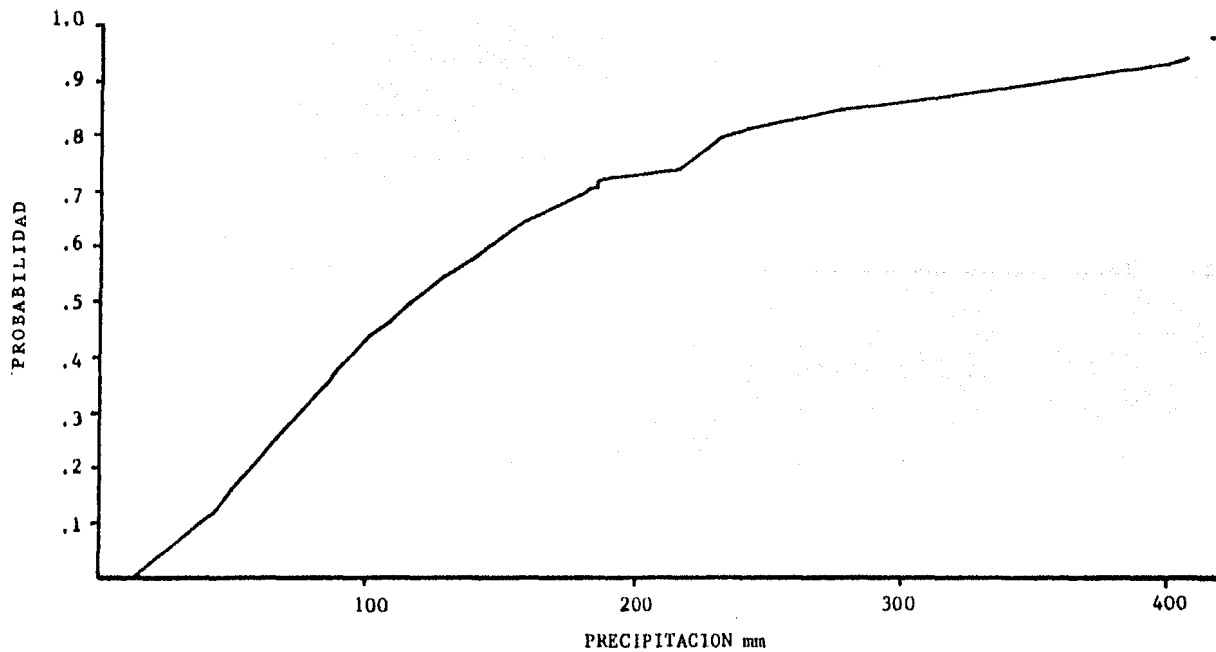


Fig. 11. Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes agosto. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.

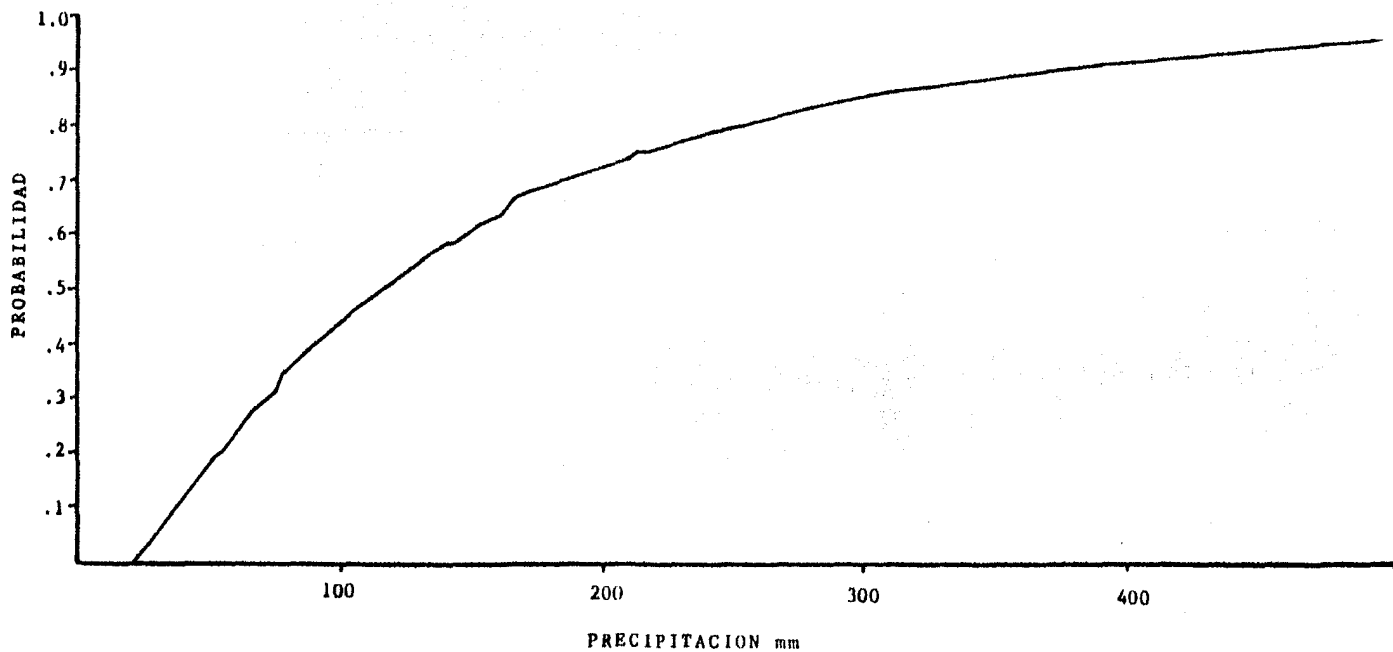


Fig. 12. Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes septiembre. Distribución Galton.<sup>5</sup>  
Estación Rinconada, Ver.

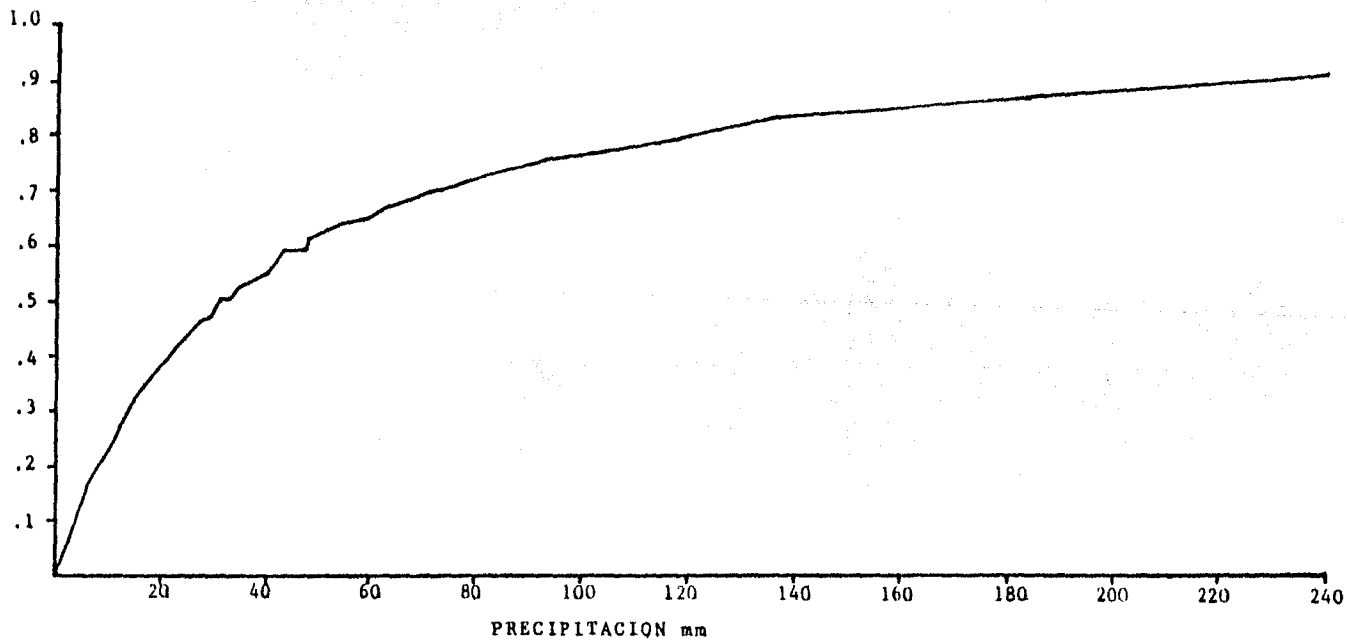


Fig. 13. Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes octubre. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.

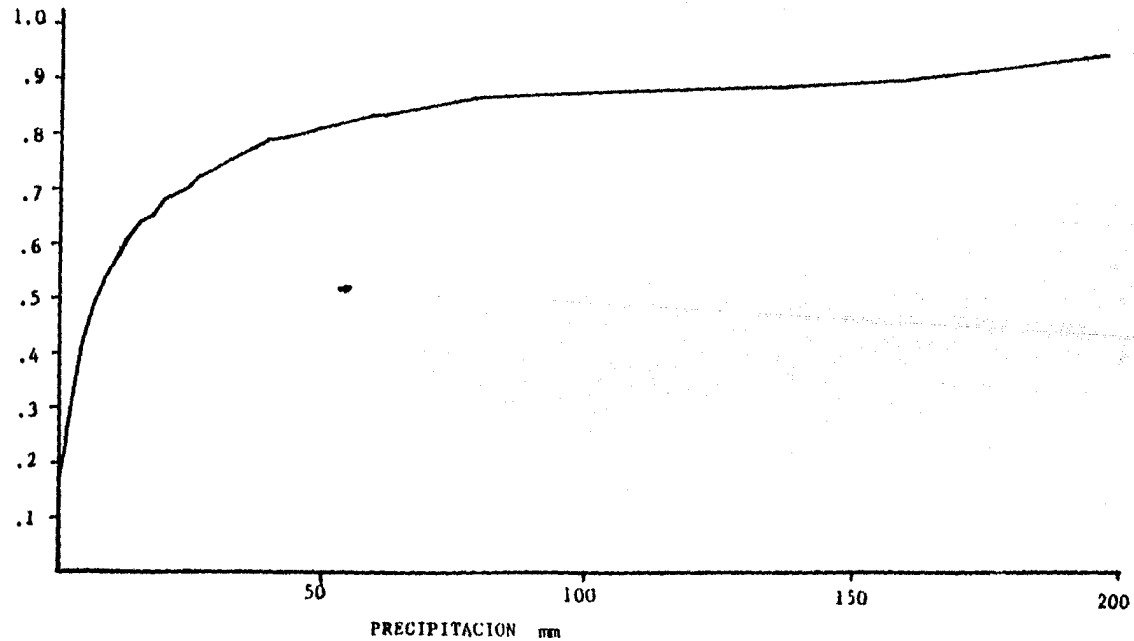


Fig. 14. Probabilidad de ocurrencia de precipitación. Mes noviembre. Distribución Galton. Estación Rinconada, Ver.



### 3.7.1 Estimación de Régimen de Radiación Solar $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ a partir de la Nubosidad.

El régimen de radiación solar se estimó a partir del grado de nubosidad únicamente para 8 estaciones por ser las que contaban con los registros de número de días despejados, días medio nublados y número de días nublado/cerrados. Estos datos pueden observarse en el Cuadro No. 17.

Para estimar la radiación solar a partir del grado de nubosidad, Villalpaudo (1984), indica como requisito necesario para su cuantificación el contar con varias observaciones diarias de nubosidad para un período largo de tiempo, mismas que se obtuvieron del SMN (1976).

En este trabajo se emplearon datos normales, es decir, de larga duración (mayores de 20 años).

En México el grado de nubosidad (masa de vapor acuoso suspendida en la atmósfera), se registra únicamente en 3 - categorías que son: (Ver Cuadro No. 18).

1. **Despejado:** Cielo con ausencia de nubes o cuando la can ti dad de ellas cubre menos de la tercera parte del mis mo.
2. **Medio nublado:** Cuando la cantidad de nubes que se obser va cubren de una a dos terceras partes de la bóveda - celeste.
3. **Nublado o cerrado:** Cielo cubierto de nubes, totalmente o

Cuadro No. 17. Datos de nubosidad (días despejados, medio nublados y nublados cerrados) mensual en el estado de Vera cruz.

E S T A C I O N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b>GRANJA, LA</b>													
Días despejados	13.61	13.50	15.05	15.95	15.52	9.66	8.17	12.68	8.57	13.95	13.45	12.73	152.84
Medio nublados	5.61	6.75	6.75	7.70	7.94	7.38	7.82	6.42	7.10	7.04	6.70	6.36	83.57
Nublados/cerrados	11.77	8.00	9.20	6.35	7.52	12.94	15.00	11.89	14.31	10.00	9.95	11.89	128.82
<b>LOMA FINA</b>													
Días despejados	4.68	4.66	5.72	6.88	6.22	5.22	3.94	8.57	5.70	5.00	4.42	4.20	65.20
Medio nublados	17.36	15.77	18.83	19.76	19.77	11.50	10.21	10.10	10.52	17.63	17.36	17.45	186.36
Nublados/cerrados	8.94	7.83	6.44	3.35	5.00	13.27	16.84	12.31	13.76	8.26	8.21	9.35	113.56
<b>MANLIO F. ALTAMIRANO</b>													
Días despejados	15.58	16.66	18.80	17.44	16.58	18.33	19.84	20.52	17.60	18.83	18.39	13.95	213.02
Medio nublados	7.83	5.95	6.80	7.40	8.70	8.08	7.92	7.52	7.17	7.70	6.04	9.50	90.61
Nublados/cerrados	7.58	5.62	5.40	5.16	5.70	3.08	3.24	2.95	5.21	4.45	5.56	7.54	61.49
<b>RINCONADA</b>													
Días despejados	14.95	14.25	17.52	16.52	15.58	15.20	15.82	17.04	14.54	14.24	15.15	15.16	185.97
Medio nublados	10.66	8.33	8.48	9.44	10.58	9.32	10.17	10.48	11.20	13.92	11.57	11.20	125.35
Nublados/cerrados	5.37	5.66	5.00	4.04	4.83	5.56	5.00	3.48	4.33	2.84	3.26	4.64	54.01
<b>S. DE DOBLADO</b>													
Días despejados	13.33	13.46	16.80	18.86	17.86	14.66	15.10	15.86	13.68	15.24	15.24	15.53	185.62
Medio nublados	9.80	7.26	7.50	6.43	8.40	9.30	9.73	10.00	9.58	9.51	8.65	7.36	103.52
Nublados/cerrados	7.86	7.50	6.70	4.70	4.73	6.16	6.16	5.13	6.72	6.24	6.10	8.10	76.10
<b>TIERRA BLANCA</b>													
Días despejados	13.04	11.86	16.66	19.79	20.04	17.92	14.84	19.07	13.15	18.57	15.20	18.20	198.96
Medio nublados	8.56	9.34	7.79	6.62	7.04	7.92	9.96	7.57	10.80	7.50	8.08	6.08	97.86
Nublados/cerrados	9.40	7.04	6.54	3.58	2.72	4.32	6.20	4.34	6.03	4.92	6.72	6.72	68.53
<b>VERACRUZ</b>													
Días despejados	7.50	8.89	9.53	10.40	8.73	3.83	2.63	3.73	2.30	5.23	7.30	6.83	76.90
Medio nublados	9.23	8.65	11.10	10.70	13.96	12.16	12.36	13.70	11.16	12.43	9.46	10.20	135.11
Nublados/cerrados	14.26	10.68	10.36	8.90	8.30	14.00	16.00	13.56	16.53	13.33	13.23	13.96	153.11
<b>VIGAS, LAS</b>													
Días despejados	14.00	14.58	17.07	20.71	19.07	12.78	9.66	12.73	7.60	14.06	13.00	11.81	167.34
Medio nublados	7.50	6.64	6.84	5.78	8.57	8.35	10.13	8.93	10.46	8.33	8.80	8.50	99.03
Nublados/cerrados	9.50	6.71	7.07	3.50	3.35	8.85	11.00	9.33	11.93	8.60	8.20	10.68	88.72

FUENTE: SMN (1976)

en más de las dos terceras partes del mismo.

Para convertir estas categorías a la escala de octavos o décimos, se tienen propuestas las siguientes codificaciones.

Cuadro No. 18. Codificación de nubosidad en México.

N u b o s i d a d	C o d i f i c a c i ó n	
	Octavas	Décimas
Días despejados	1	1
Días medio nublados	3	5
Días nublados/cerrados	7	9

FUENTE: Villalpando (1984).

Para obtener la nubosidad media (C) para un período determinado (1 día, 10 días, 1 mes, etc.), se puede calcular mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Décimas } C = \frac{(\text{No. días despejados} \times 1) + (\text{No. días medio nublados} \times 5) + (\text{No. de días nublados/cerrados} \times 9)}{\text{No. total de días}}$$

Con fines de ilustrar como se procedió en la estimación de radiación solar a partir del grado de nubosidad, se ejemplifica con la Estación Veracruz, Ver., para el mes de septiembre.

Latitud 19°12'

Nubosidad media C (Décimos) = 6.89

Equivalente de C en n/N = 0.41 (Ver Cuadro No. 19)

A = 0.29

B = 0.42

Ra = 14.82 (Ver Cuadro No. 20)

$R_s = (a+b n/N) R_a$

$R_s = (0.29 + 0.42 \times 0.41) 14.86$

$R_s = 6.86 \text{ mm H}_2\text{O/día}$

$R_s = 6.86 \times 58.6 = 401.99 \text{ cal/cm}^2/\text{día}$

De esta forma se obtuvo la cantidad de radiación  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$  que se recibe en las 8 Estaciones mencionadas. En el Cuadro No. 21 se puede observar que la Estación Manlio Fabio Altamirano es la que recibe mayor cantidad de radiación y la que recibe la menor cantidad es la de Veracruz.

En las Figuras 16 a 19 se muestra el Régimen de Radiación Solar para las estaciones Veracruz, Soledad Doblado, Manlio Fabio Altamirano y Rinconada.

### 3.8 Humedad relativa

De las Estaciones climatológicas utilizadas en este estudio, ninguna tenían registros de humedad relativa, por lo que ésta se obtuvo del Atlas del Agua (Tamayo, 1976) en donde se especifica que un volumen determinado de aire no puede contener como máximo sino una cantidad precisa de agua para cada determinada temperatura. Es común expresar esto indicando en gramos o mm de tensión, la cantidad de agua contenida en un metro cúbico o fijando el porcentaje que

Cuadro No. 19. Relación aproximada de nubosidad con n/N.

NUBOSIDAD (octavos)	0	1	2	3	4	5	6	7	8		
RELACION n/N	.95	.85	.75	.65	.55	.45	.30	.15	-		
NUBOSIDAD (décimas)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RELACION n/N	.95	.85	.80	.75	.65	.55	.50	.40	.30	.15	-

FUENTE: Villalpando (1984).

Cuadro No. 20. Radiación solar sobre una superficie horizontal al límite de la atmósfera ( $R_a$ ) expresado como mm de agua evaporable para una constante solar =  $2.00 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$

lat. n.	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
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	15.17	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
38°	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	12.30	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	13.01	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	11.12
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	15.43	15.63	15.58	15.25	14.38	13.25	12.47

Cuadro No. 21. Estimación del régimen de radiación solar en cal/cm<sup>2</sup>/día para los meses de enero a diciembre, a partir de la nubosidad.

E S T A C I O N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Granja, La	357.07	418.00	469.61	461.21	532.48	481.74	472.11	485.96	440.53	427.50	375.97	339.46	5261.84
Loma Fina	338.43	382.53	442.08	495.47	498.58	476.41	445.94	471.14	443.01	394.74	350.95	321.16	5060.55
M.F. Altamirano	374.78	439.41	502.66	537.70	550.41	576.46	573.98	564.76	512.54	463.23	408.93	334.54	5839.40
Rinconada	378.55	428.36	498.10	537.36	546.73	544.98	546.73	549.08	500.44	447.70	401.41	364.49	5743.93
S. de Doblado	367.36	417.94	489.08	545.73	558.04	540.11	537.78	533.61	490.91	441.73	395.44	359.61	5677.34
Tierra Blanca	362.42	414.49	490.77	518.84	540.43	565.66	535.79	555.91	491.90	466.56	396.19	357.43	5696.39
Veracruz	332.26	385.00	437.74	479.93	494.50	464.11	442.43	451.80	401.99	387.34	346.91	317.61	4941.62
Vigas, Las	363.34	428.76	486.18	557.26	573.27	515.16	493.06	498.25	443.60	430.90	379.60	321.61	5490.99

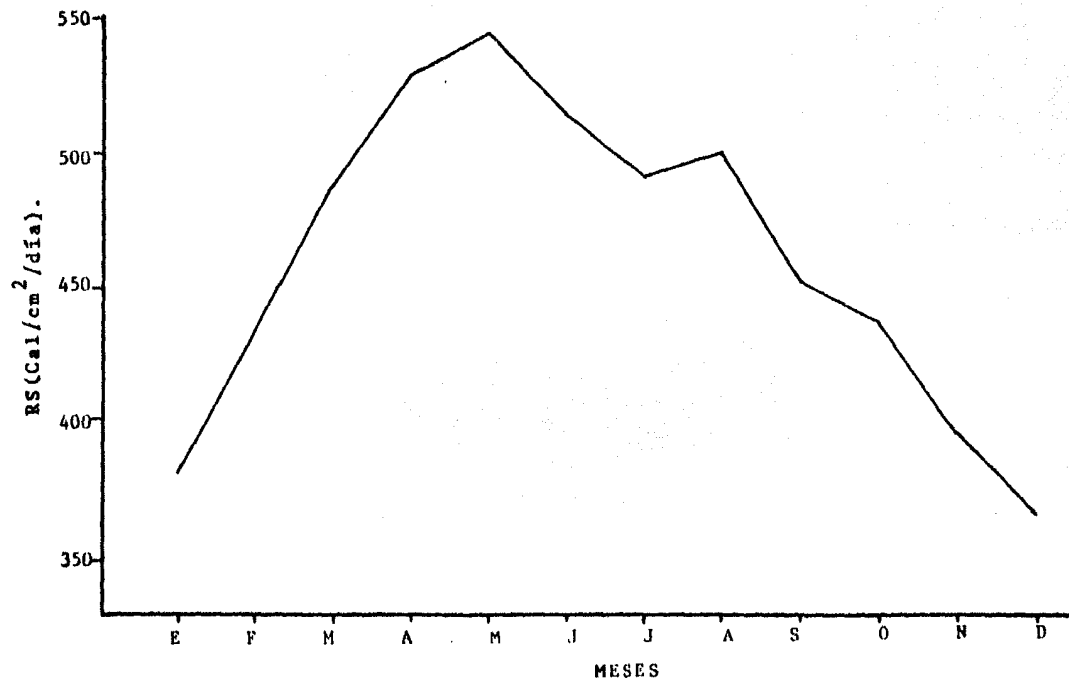


Figura No. 16 Gráfica de distribución de la Radiación Solar.  
Estación Veracruz, Ver.

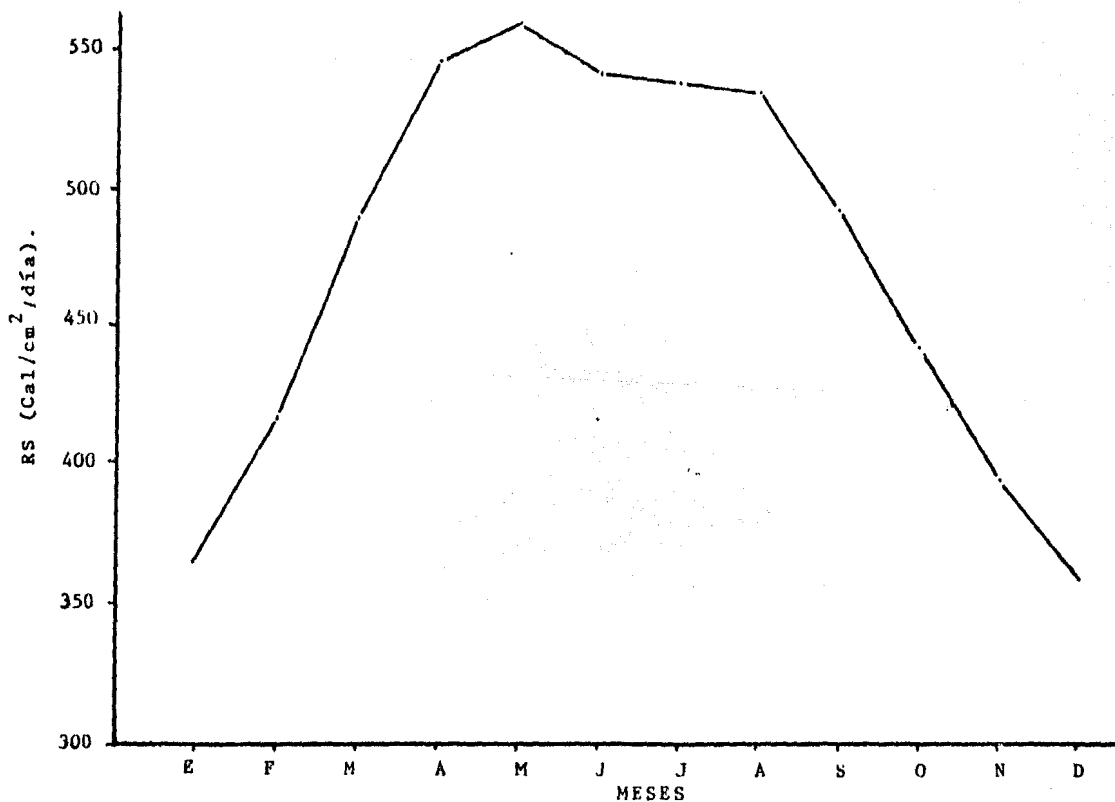
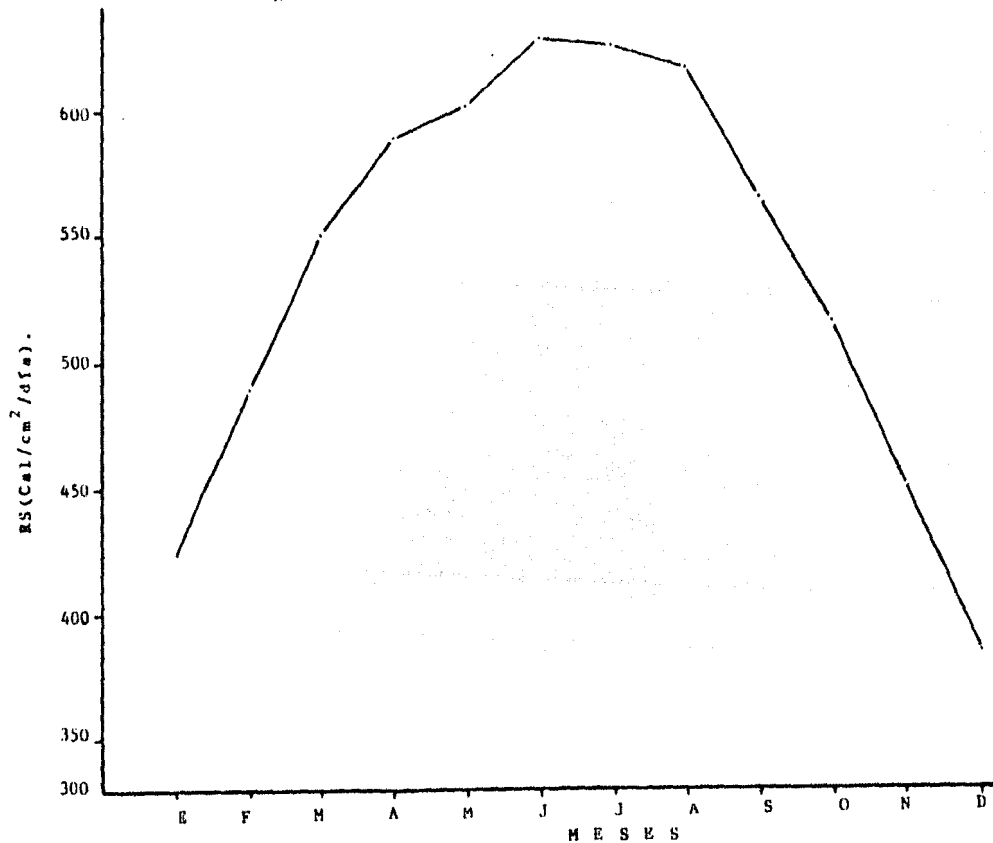


Figura No. 17 Gráfica de Distribución de la RS.  
Estación Soledad de Doblado, Ver.



Figura No.18 Distribución de la Radiación Solar. Estación Manlio Fabio Altamirano, Ver.



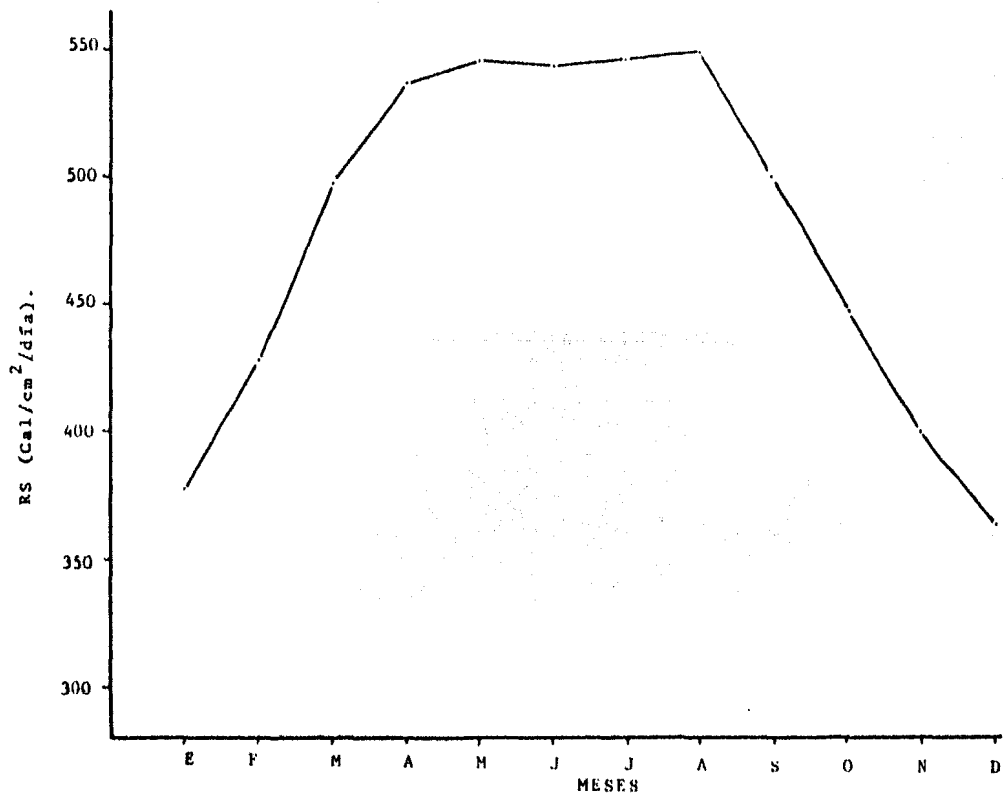


Figura No. 19. Distribución de la Radiación Solar. Estación Rinconada, Ver.

representa la cantidad de agua que existe en un metro cúbico en relación con la máxima cantidad que a esa temperatura es posible que la atmósfera contenga. A este valor, expresado en por ciento, se le conoce con el nombre de humedad relativa.

El análisis de la carta para valores medios anuales de la humedad relativa permite observar que el área estudiada es atravesada por 5 isolíneas (que unen puntos de igual porcentaje de humedad) que son las de 55, 60, 65, 70 y 75%. Tomando como referencia que la zona de mayor humedad relativa media anual (según esta fuente de información) es la de Chetumal, con un valor de 85% y la más baja corresponde a la Altiplanicie Septentrional y zona áridas que llegan a tener valores del 30 al 35% se considera esta zona con humedad relativa de media a alta, la parte norte del Estado de Veracruz tiene una humedad relativa media anual del 65%, incrementándose en la zona del Puerto de Veracruz al 75%.

### 3.9 Evapotranspiración

La evapotranspiración ha sido definida por Ruz (1985), como el cambio del agua del estado líquido al estado gaseoso. La evaporación (Ev), ocurre desde diversas superficies como suelo, plantas y superficies de agua libre. El movimiento de vapor de las cavidades subestomatales a la atmósfera se conoce como transpiración. Por lo que la evapotranspiración, según este autor (Et), es la suma del agua evaporada directamente de la superficie del suelo y la cantidad de agua

evaporada a través de los estomas. Otras pérdidas de agua a la atmósfera ocurren vía transpiración cuticular y gutación (pérdida nocturna de agua a través de estructuras especiales en algunos pastos), pero estas pérdidas son negligibles. Burgos y Vidal (sin año) indican que la evapotranspiración es el fenómeno inverso de la lluvia y su conocimiento nos permite establecer el grado en que las precipitaciones satisfacen las necesidades de agua en una región determinada. Ortíz (1984), define a la evapotranspiración Potencial (ETP), como la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubra todo el terreno cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo (es decir, cuando el suelo tiene un contenido óptimo de humedad o equivalente a capacidad de campo). La evapotranspiración Real (ETR), es la cantidad de agua perdida por el complejo planta-suelo en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas existentes. En estas últimas se incluye 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.

Existen varios métodos para estimar la Evapotranspiración potencial como son el de Penman, Thorntwaite, por la fórmula de Turc y la de Hargreaves. Ortíz (1984), Villalpando (1984), Rufz (1985), y Jiménez (1978) describen estos métodos en forma detallada.

### 3.9.1 Cálculo de la evapotranspiración por el método de Thornthwaite

La evapotranspiración potencial (ETP) en este estudio, se estimó según el método de Thornthwaite establecido en 1948 en E.U., porque además de indicarnos el grado en que las precipitaciones satisfacen las necesidades de agua en una región determinada, nos permite llevar a cabo el cálculo del clima y con estos mismos datos obtener las estaciones de crecimiento para cada estación. (Cuadro 22).

El cálculo de la evapotranspiración potencial del área en estudio (se realizó para todas las estaciones), requiere de datos de temperatura y duración del día, los cuales son fácilmente obtenidos. La aplicación del método se facilita aún más con unas tablas diseñadas por Thornthwaite y Mather (1957). Los pasos a seguir consisten en:

1. Obtención de la temperatura media mensual en °C, de la Estación Meteorológica correspondiente.
2. Precipitación mensual en mm o cm de la Estación correspondiente.
3. Índice de calor (IC). Está dado por la siguiente fórmula

$$ICM = \left(\frac{TE}{5}\right) 1.514$$

En donde:

ICM = Índice de calor mensual

Cuadro No. 22. Datos de evaporación promedio mensual en (mm).

E S T A C I O N	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Actopan	101.03	110.66	156.23	175.59	180.94	165.37	144.18	146.18	128.78	126.19	105.18	96.28	1637.24
Granja, La	84.12	98.41	144.01	169.34	184.06	160.89	150.65	149.95	132.13	113.89	91.47	76.79	1351.71
Loma Fina	90.63	101.03	137.89	153.13	158.51	137.17	117.79	125.53	111.81	112.11	94.44	87.06	1427.10
Madereros	97.19	113.57	164.01	181.87	197.24	177.66	151.29	151.17	128.48	113.68	90.54	85.83	1652.53
Prietas, Las	80.12	89.41	144.03	171.21	178.05	152.22	137.64	131.74	114.98	94.65	76.60	73.25	1443.90
Rincón Pacheco	91.11	101.29	148.66	173.31	186.23	162.15	151.73	146.52	130.60	109.42	86.98	84.67	1572.67
Puente Jula	100.15	108.95	136.71	152.39	166.91	160.58	140.59	137.90	131.57	117.25	100.84	96.98	1550.82
Veracruz	117.82	173.20	197.96	204.36	208.46	205.74	205.61	214.64	200.30	230.72	192.50	185.60	2396.91
Vigas, Las	89.75	104.90	152.56	167.70	180.31	157.65	132.68	137.40	120.67	100.60	86.40	81.02	1511.64
Villa J. Cardel	94.65	106.70	139.31	154.36	166.13	158.25	141.97	146.26	126.21	122.65	98.57	88.59	1543.70
Zempoala	100.94	114.18	146.68	159.48	167.72	159.92	146.55	143.88	133.71	128.79	110.47	91.90	1604.22
Capitán, El	94.47	100.34	140.31	166.49	171.20	155.53	135.12	129.31	122.51	110.75	90.36	79.81	1496.20
Faisán, El	97.96	102.73	130.33	146.81	161.03	157.90	151.97	143.73	141.88	125.10	98.17	98.00	1555.61
Mozambra	127.68	134.93	176.47	197.21	199.09	191.99	170.33	166.41	151.08	153.70	130.16	119.07	1918.12
Tejar, El	85.80	98.29	135.74	160.11	168.51	160.68	142.30	136.60	119.10	109.98	84.04	74.87	1476.02
Alvarado	101.89	111.39	154.28	167.30	178.91	169.24	151.60	156.76	139.69	135.81	104.84	98.38	1670.09

TE = Temperatura media mensual

Los valores de esta ecuación se encuentran tabulados en el manual de Jiménez (1968); la suma de los 12 valores mensuales (ICM) es igual al índice de calor anual (ICA).

4. Evapotranspiración potencial mensual sin corregir (EV). En el manual mencionado se encuentran estos valores tabulados para diferentes índices de calor anual (ICA) y de temperatura (TE).
5. Factor de corrección por latitud (FC). Este factor se debe a los diferentes valores de iluminación que ocurren a diferentes latitudes, lo cual influye en la evapotranspiración. Se obtiene por tablas para latitudes norte y sur respectivamente, en las que existe el valor de dicho factor para cada uno de los meses del año. Para el uso de estas tablas se utiliza el dato de latitud en la que se encuentre la Estación de que se trate.
6. Finalmente la Evapotranspiración potencial mensual corregida en mm o cm según la medida usada, se obtiene multiplicando el valor de la evapotranspiración potencial sin corregir (EV) por el factor de corrección por latitud (FV).

La evapotranspiración potencial se obtuvo para todo el año como se puede observar en el Cuadro No. 23 y se graficó solo para aquellas Estaciones que tienen el asterisco (\*), contra los datos de precipitación (mm) en donde se observa (gráficas Nos. 20 a la 29) que la precipitación es menor por lo general

Cuadro No. 23. Determinación de la evapotranspiración en el área de estudio por el método Thornthwaite.

ESTACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Actopan	62.51	65.70	100.01	133.87	160.46	155.32	145.35	145.53	133.31	114.10	83.79	65.36	1365.30
Granja, La	65.47	66.24	112.88	147.31	172.36	165.11	158.42	154.33	144.73	120.30	87.32	69.52	1464.39
I. de la Llave	72.77	72.18	106.39	147.31	169.61	165.11	163.81	159.83	145.75	132.50	96.06	81.03	1512.35
Loma Fina	56.62	59.85	107.94	146.47	169.61	162.58	156.06	153.45	141.37	120.90	88.72	65.07	1428.64
Madereros	65.89	67.50	105.06	148.05	169.10	161.70	153.54	151.80	136.17	115.50	81.11	65.55	1420.97
M. F. Altamirano	72.29	75.42	127.82	155.19	179.55	172.48	166.66	160.82	147.39	129.50	99.69	77.14	1563.95
Matatenatito	67.64	74.70	105.57	127.90	160.46	148.50	153.90	132.44	118.42	107.80	80.44	76.76	1354.53
Moreno Sur	59.80	61.92	92.39	133.35	156.24	147.73	123.39	134.97	116.79	107.90	79.14	61.75	1275.37
Palo Gacho	67.26	72.18	117.42	153.51	176.39	167.64	159.03	155.32	142.29	123.80	87.97	73.91	1496.72
Prietas, Las	68.76	71.55	114.33	151.20	168.75	161.70	156.63	155.10	140.76	123.00	86.95	71.25	1469.98
Rinconada	61.27	68.85	105.06	144.90	162.72	155.10	147.06	144.02	133.11	114.00	87.88	72.36	1396.33
Rincón Pacheco	57.30	74.25	115.87	151.20	174.72	168.30	159.33	158.40	143.82	126.00	90.24	72.67	1492.10
Puente Julia	62.13	65.43	102.27	135.13	167.01	158.07	159.03	154.33	138.00	120.90	86.30	71.15	1419.75
S. de Doblado	72.77	75.60	124.11	147.00	177.18	167.64	164.73	157.19	143.10	129.00	89.28	71.63	1519.23
Tierra Blanca	80.16	84.33	143.89	161.59	182.89	176.88	170.51	170.17	153.91	140.00	121.25	90.44	1676.12
Veracruz	62.79	64.26	91.77	123.06	159.55	159.83	163.81	160.82	144.84	131.60	91.41	72.01	1425.75
Vigas, Las	64.79	69.30	195.28	148.99	171.42	162.58	159.82	156.09	141.16	120.30	87.69	70.96	1548.38
Villa J. Cardel	44.84	44.82	67.87	92.50	116.16	113.08	105.45	100.76	93.43	79.50	59.24	50.44	968.09
Zempoala	66.88	69.84	109.90	148.26	172.21	168.52	166.66	154.00	142.80	139.30	99.23	74.86	1512.46
Capitán, El	61.37	63.99	108.97	151.72	172.21	165.11	160.96	158.07	143.10	122.80	85.37	69.63	1463.30
Faisán, El	62.79	79.02	105.47	138.18	164.18	159.83	161.76	154.33	142.29	123.00	91.41	74.19	1456.45
Mozambra	63.36	65.97	198.97	146.47	169.59	164.34	160.96	156.20	144.02	127.80	96.99	76.88	1480.95
Tejar, El	57.47	60.48	95.17	131.14	160.46	156.20	154.58	150.92	135.15	113.30	81.46	65.74	1362.07
Alvarado	71.34	73.17	119.89	151.72	172.21	168.52	159.60	165.99	151.57	133.80	99.21	77.23	1544.25



en los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre, en comparación con la evapotranspiración potencial, tiempo durante el cual se tendrían problemas por falta de agua para los cultivos.

En estas Gráficas se observan tres casos, que son:

1. Cuando la precipitación supera a la evapotranspiración potencial. Estos meses hay superávit de agua, por lo que la planta no padece, en absoluto sequía. El sobrante de agua según Gandullo (sin año), bien quedará retenido en el suelo si este tiene suficiente capacidad para ello, o se drenará a profundidades extraedafológicas.

Cuando la precipitación es igual a la evapotranspiración potencial. En estos meses la planta tampoco padece sequía. No hay exceso ni déficit de agua.

Cuando la precipitación es inferior a la evapotranspiración potencial. Son meses de sequía meteorológica, ya que según Gandullo (sin año), la eficiencia térmica exige una pérdida de agua superior a la que las lluvias mensuales aportan. Si el suelo no tiene, en ese momento, agua retenida en cantidad suficiente, existirá una sequía fisiológica y las plantas habrán de reducir sus procesos bióticos con retraso o paralización de su crecimiento y desarrollo. En último extremo y según la especie, esta sequía fisiológica puede llegar a ocasionar la marchitez permanente del vegetal. Si el suelo tiene agua retenida en cantidad suficiente, perderá parte de

este almacenaje ante las exigencias de la evapotranspiración.

El siguiente Cuadro No. 24 presenta una cifra aproximada de los requerimientos de humedad de varios cultivos. Esta cantidad de agua es la utilizada en evapotranspiración, no la cantidad de lluvia requerida. Ruíz (1985).

### 3.9.2 Estación de crecimiento

Es uno de los parámetros de mayor importancia en la evaluación de los recursos agroclimáticos en una región.

Según Frere y Popov (1980), el período de crecimiento es aquel en el cual el agua del terreno producida en su mayor parte por las lluvias, está a libre disposición del cultivo. Villalpando (1984), indica que la estación de crecimiento básicamente está determinada por la disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo y producción de cultivos.

En regiones tropicales la estación de crecimiento está determinada por el período de tiempo que existe humedad en el suelo para el desarrollo de cultivos. Mientras que en regiones templadas, además de la disponibilidad de humedad, la estación de crecimiento está definida por la disponibilidad de temperatura favorable (o ausencia de heladas). Ruíz (1985).

Cuadro No. 24. Requerimientos de humedad de varios cultivos (mm)

---

Alfalfa	800-1600
Algodón	700-1300
Arroz	500-700
Cacahuate	500-700
Café	800-1200
Cacao	800-1200
Caña	1500-2500
Camote	400-675
Cebolla	350-600
Col	380-500
Chícharo	350-500
Frijol	300-500
Girasol	600-1000
Higuerilla	500-700
Maíz	500-800
Mijo	300-500
Papa	500-700
Piña	700-1000
Remolacha	550-750
Sorgo	450-650
Soya	450-700
Tabaco	400-600
Yuca	500-800

---

FUENTE: Ruiz (1985).

### Estación de crecimiento en regiones tropicales:

Según Ruíz (1985), la estación de crecimiento se basa en un modelo simple de balance de humedad, comparando la precipitación (P) con la evapotranspiración potencial (ETP), en la que se determinan cuatro etapas que son:

1. Inicio del período de crecimiento: La determinación del inicio del período de crecimiento está basada en el comienzo de la estación lluviosa y se obtiene cuando  $P > 0.5 \text{ ETP}$ . El valor de 0.5 ETP no es casual, sino que fue determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de cultivos y cuando P es igual o mayor a 0.5 ETP, se satisface este hecho.
2. Período húmedo: Una estación de crecimiento normal se define cuando existe un período húmedo. El período húmedo es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial ( $P > \text{ETP}$ ). Cuando existe un período húmedo, no solamente se satisfacen las demandas de la evapotranspiración de los cultivos a una completa o máxima cobertura, sino también el déficit de humedad en el perfil del suelo.
3. Terminación de la Estación lluviosa: La estación lluviosa termina cuando  $P = 0.5 \text{ ETP}$ , después del período húmedo.

4. Terminación del período de crecimiento: La fecha de terminación de la estación de crecimiento depende de la cantidad de humedad almacenada en el suelo al finalizar la estación de lluvias. La duración de esta reserva dependerá de varios factores: a) profundidad del suelo, b) características físicas del suelo y c) patrón de desarrollo radical del cultivo, etc.

3.9.2.1 Determinación de la estación de crecimiento. La estación de crecimiento se determinó en base a la metodología que indica Ruíz (1985), Frere y Popov (1980), Villalpando (1984) y Ortíz (1984), obteniéndose estaciones de crecimiento con un período de duración de 136 a 193 días al año, ini<sup>ci</sup>ciando su mayoría en el mes de mayo y terminando en noviembre, tiempo durante el cual existe disponibilidad de agua y temperatura favorables para el desarrollo y producción de cultivos. En las Figuras 20 a la 25 se observa en forma gráfica en <sup>5a</sup>determinación y en el Cuadro No. 25 se indica el número de días duración de estación de crecimiento en el área de estudio.

Según Ortíz (1984), después de establecer el período con agua disponible para el desarrollo de cultivos, se evalúa este período en relación a la temperatura. Menciona que la FAO (1978), consideró a la temperatura media diaria (24 horas). Este autor señala para México la temperatura mínima media mensual, ambas con el valor de 6.5°C para establecer un límite de temperatura favorable para el desarrollo de

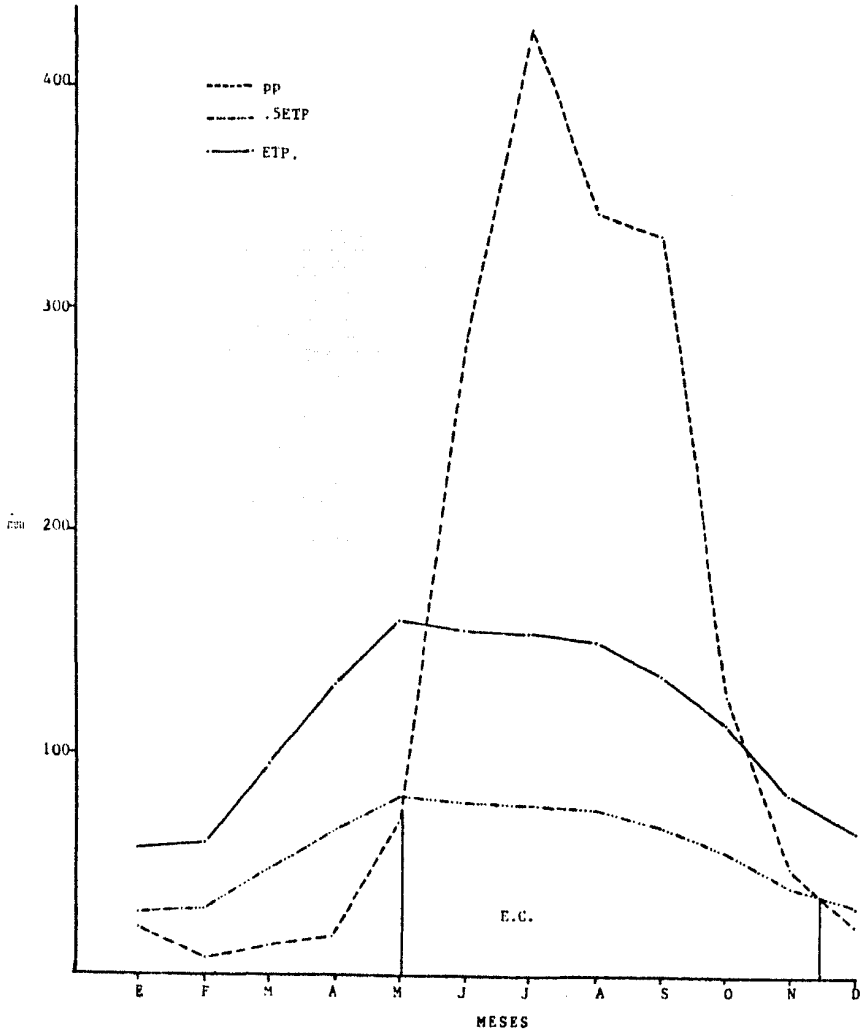
cultivos. De esta forma el período con temperaturas inferiores a 6.5°C le es restado al período con disponibilidad de agua. Como se puede observar en el Cuadro No. 26, la temperatura mínima no es limitante en ningún mes durante la estación de crecimiento en el área de estudio por ser mayores a 6.5°C.

Cuadro No. 25. Determinación de la estación de crecimiento en el área de estudio.

Nombre de la Estación	Estación de Crecimiento (días) con pp. al 50%
Actopan	142
Loma Fina	136
Rinconada	142
Puente Julia	166
Veracruz	198
Villa Jose Cardel	194
Zempoala	152
Faisán, El	164
Mozambra	142
Tejar, El	192

Los siguientes cultivos son algunos que para ejemplificar se han elegido como probables a sembrar durante las estaciones de crecimiento que se obtuvieron. Estos cultivos son los recomendados por el Campo Agrícola Experimental Coxtatla (SARH, 1982). Algunos de estos híbridos o variedades han sido generados en este campo, los que en general, son

Figura No. 20 ESTACION DE CRECIMIENTO (Precipitación al 50% de probabilidad)



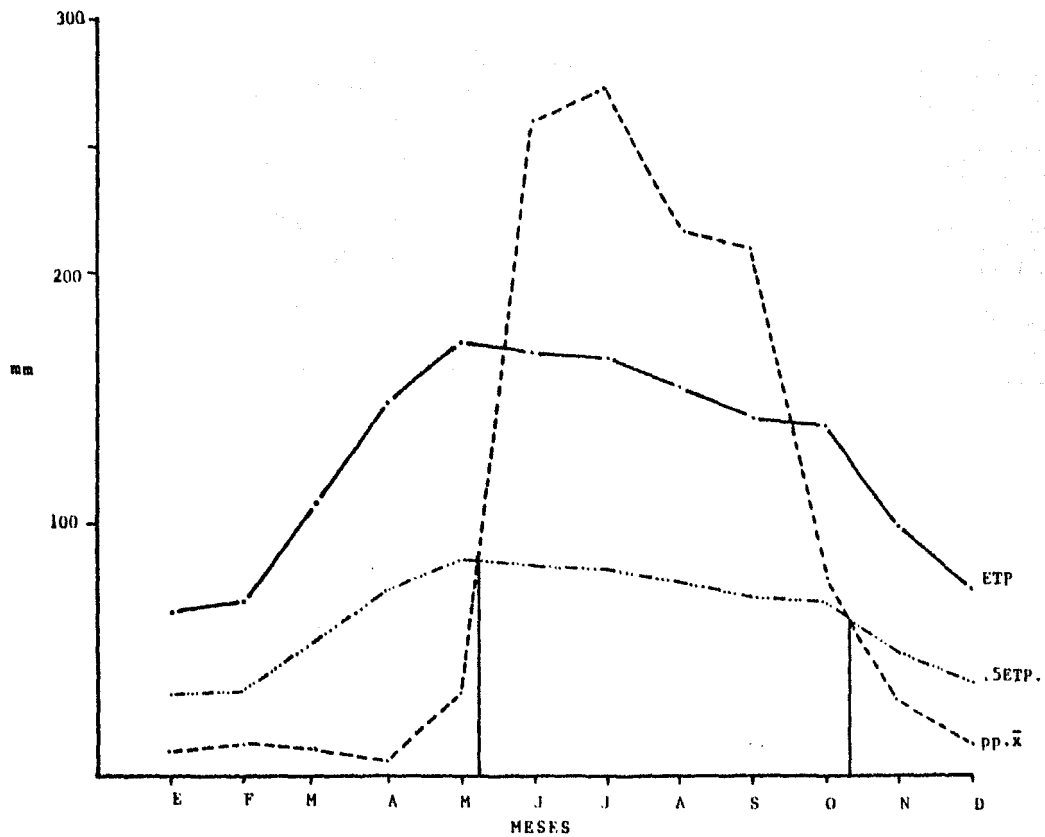
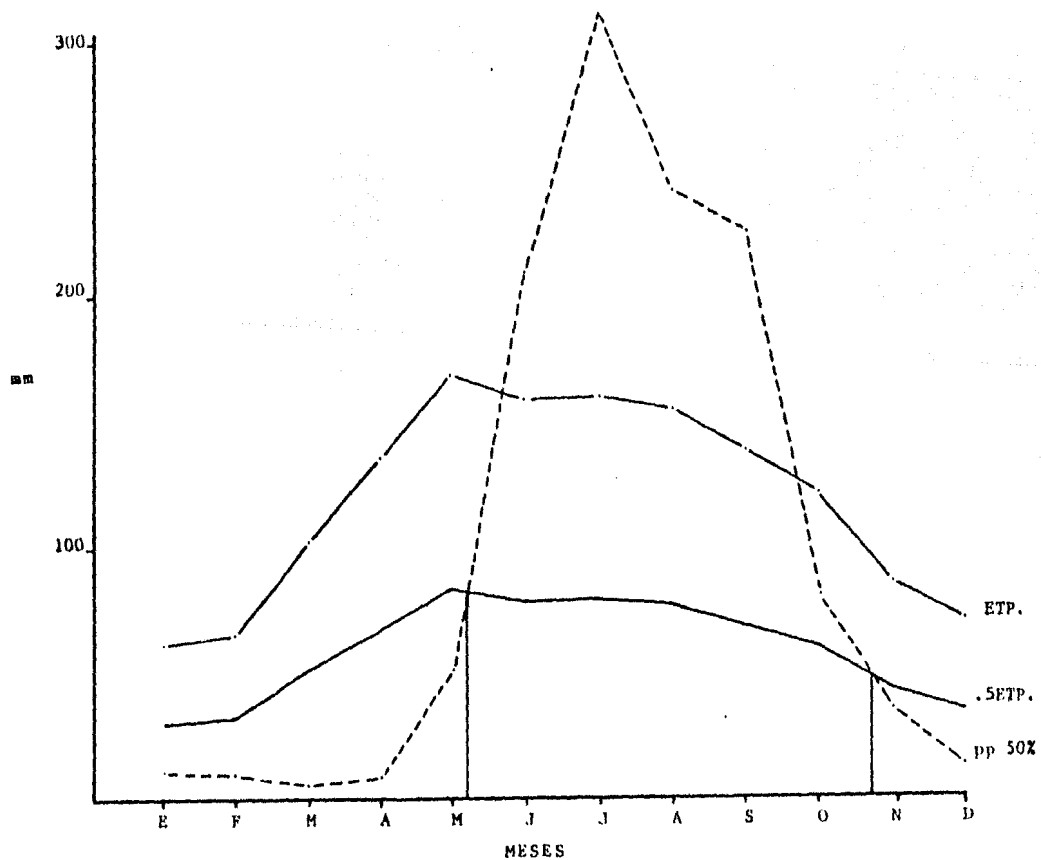


Figura No.21 Estación de crecimiento. (Precipitación al 50% de Probabilidad).  
Estación Zemboala, Ver.



Fig. 22. Estación de crecimiento. Estación Puente Julia, Ver.



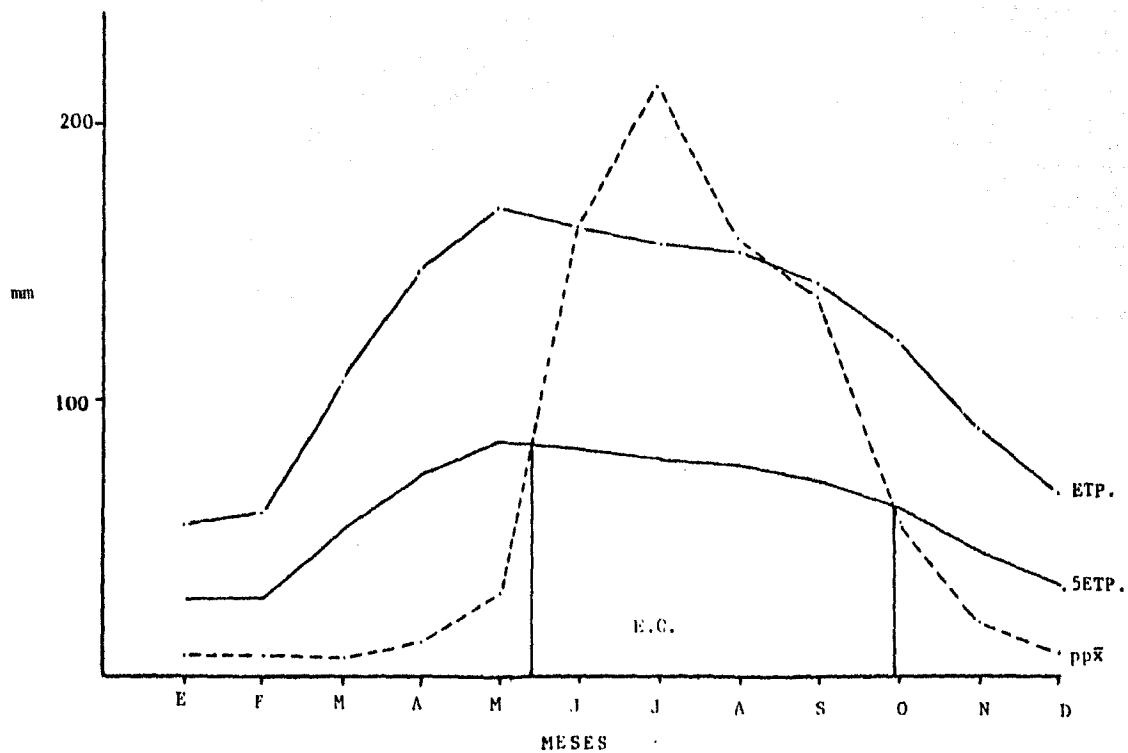


Fig. 23. Estación de crecimiento. Estación Loma Fina, Ver.

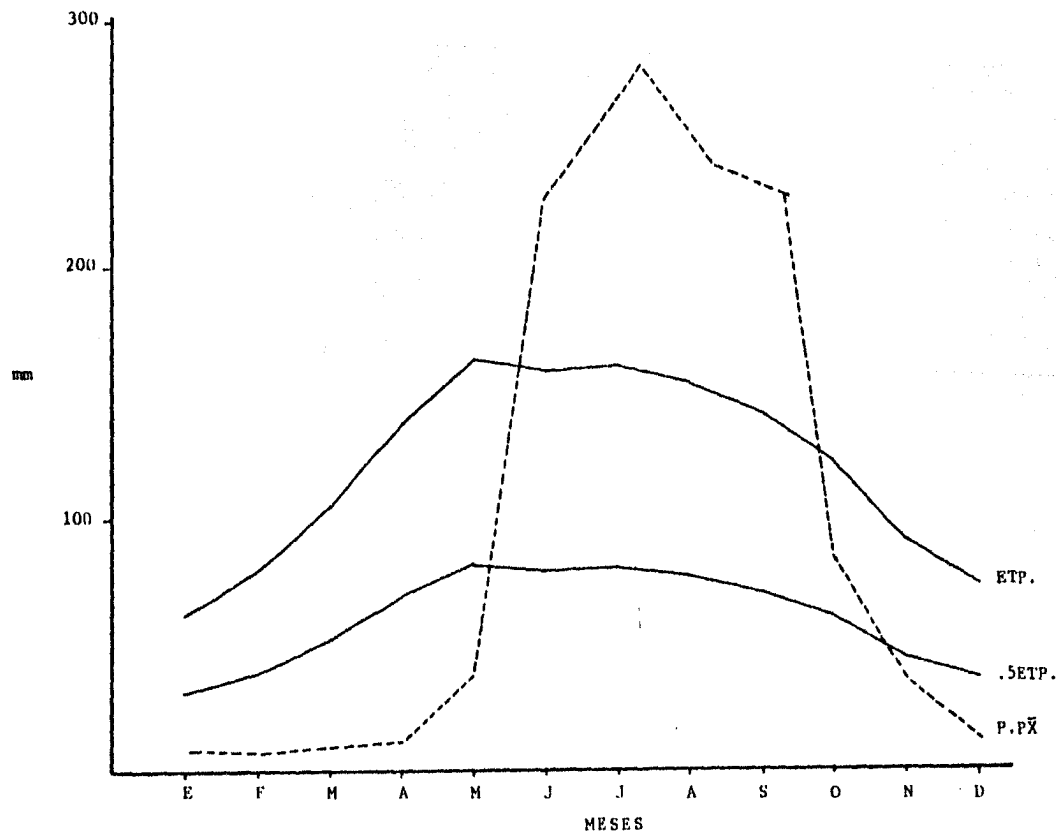


Fig. 24. Estación de crecimiento. Estación el Faián, Ver.

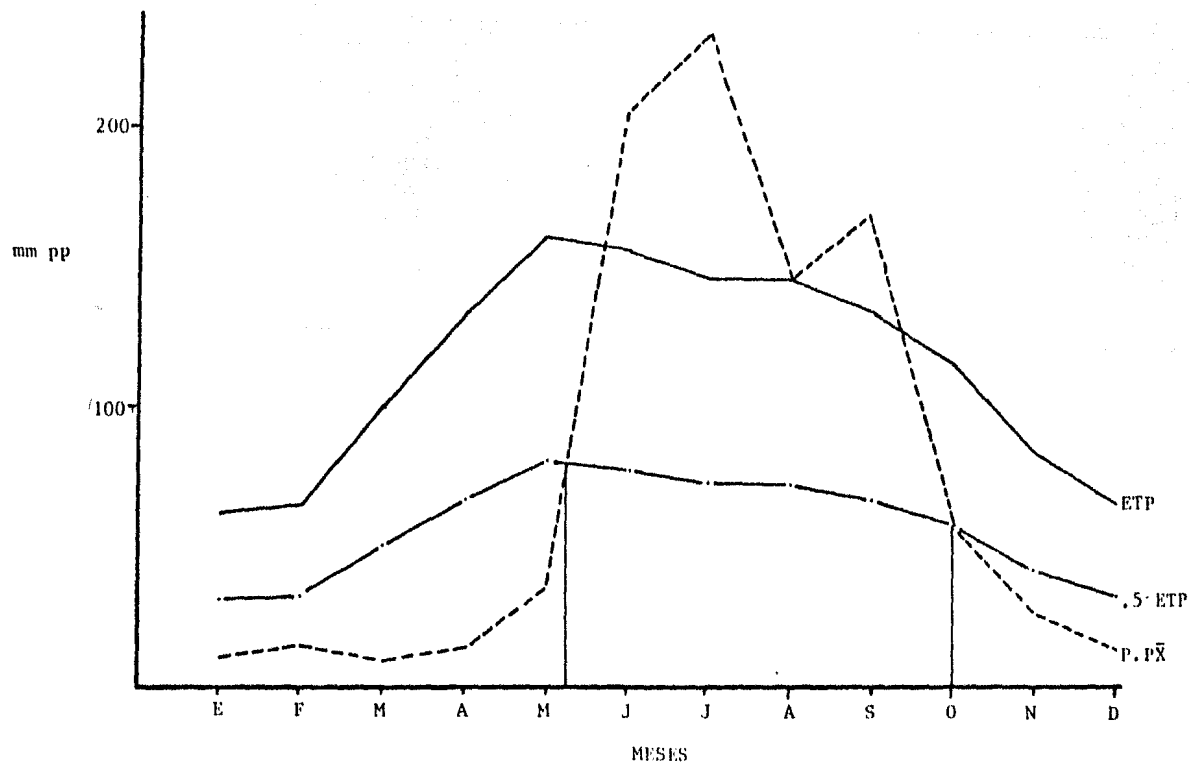


Fig. 25. Estación de crecimiento. Estación Actopan, Ver.

más eficientes en el aprovechamiento de los recursos naturales disponibles y también más resistentes a la acción negativa de los vientos que los cultivares nativos.

Cuadro No. 26. Temperaturas (°C) media, mínima y máxima durante la estación de crecimiento.

Nombre de la Estación	T E M P E R A T U R A S		
	Mínima	Media	Máxima
Actopan	20.9	26.6	32.06
Loma Fina	22.7	27.3	32.24
Rinconada	20.8	26.6	32.16
Puente Jula	21.5	26.9	33.01
Veracruz	23.4	26.8	29.9
Villa Jose Cardel	21.9	26.8	31.6
Zempoala	22.3	27.5	33.0
Faisan, El	21.5	27.0	32.28
Mozambra	22.5	27.6	32.64
Tejar, El	21.5	27.0	30.75

#### 1. MAIZ

Híbridos: H-511, H-510, H-507 y H-503. Su ciclo vegetativo durante el ciclo de temporal es alrededor de 55 a 60 días de floración, 90 a 100 días a la madurez fisiológica y de 120 a 130 días de la siembra a la cosecha.

Variedades: VS-525, V-522 y VS-521. Su ciclo vegetativo es similar al de los híbridos anteriores.

## 2. FRIJOL.

Variedades: Jamapa, Negro Veracruz. Estas variedades tienen un ciclo vegetativo de 90 días.

## 3. ARROZ: TEMPORAL

Variedades: Cica 4, Grijalva A-71 y Macuspana A-75. Los días a madurez para la primera es de 135 y 140 para las dos restantes.

## 4. ARROZ: Riego

Variedades: Sinaloa A-68, la cual tiene un ciclo vegetativo de 145 días durante el invierno y 135 días durante el verano.

## 3.10 Clasificación climática

## 3.10.1 Clasificación de Köppen

De acuerdo a Thewartha y Horn, citado por Rufz (1985), Köppen reconoce cinco grupos principales de clima, los cuales se supone coinciden con cinco grupos principales de vegetación:

GRUPOS	SIMBOLO	VEGETACION
Tropical lluvioso	A	Megatérmica
Seco	B	Xerófito
Templado lluvioso	C	Mesotérmica
Boreal	D	Microtérmica
Polar	E	Tundra

Subdividiendo posteriormente en diversos tipos de clima, de acuerdo a la estacionalidad de la precipitación o el grado de sequedad o frío, que son los siguientes:

GRUPO	POR PERIODO SECO	POR GRADO DE SEQUE DAD O FRIO
A	Af, Aw	
B		Bs, Bw
C	Cf, Cw, Cs	
D	Df, Dw	
E		Et, Ef

Según García (1973), los tipos de clima correspondientes a las estaciones ubicadas en el área de influencia del Campo Agrícola Experimental Cotaxtla, Ver. (con más de 20 años de registros), son:

NOMBRE DE LA ESTACION	TIPO DE CLIMA
Actopan	Aw"o(w)(I')
Granja, La	Aw"2(w)(I'')g
Ignacio de la Llave	Aw"2(w)(I'')
Loma Fina	Aw"o(w)(E)g
Madereros	Aw"2(w)(I')g
Manlio Fabio Altamirano	Aw"o(w)(E)g
Matatenatitlo	Am(f)(E)G
Moreno Sur	Aw"2(w)(I')
Prietas, Las	Aw"2(w)(I'')g
Rinconada	Aw"o(w)(I')g
Rincon Pacheco	Aw"2(w)(E)
Soledad de Doblado	Aw"2(w)(E)
Tierra Blanca	Aw"2(w)(I')
Veracruz	Aw"2(w)(I')
Vigas, Las	C(m)b'(I')g
Villa Jose Cardel	Aw"1(w)(I')
Zempoala	Aw1(w)(I')
Alvarado	Aw2(I')

Descripción de los grupos de clima:

Se explica solamente el clima A, por ser el que se encuentra en casi la totalidad del área de estudio.

GRUPO DE CLIMA A: Se caracteriza por tener la temperatura del mes más frío mayor de 13°C y es una precipitación relativamente alta.

- Tipo de clima Aw ó Tropical húmedo seco. Estación seca en el invierno, al menos un mes seco con menos de 60 mm de lluvia.
- Otros símbolos utilizados en la clasificación: Los símbolos m, w, s, y y g aparecen en los climas A. A continuación se describe el significado de cada uno de ellos.
- w' Lluvia máxima en otoño
- w'' Dos períodos de lluvia separados por dos períodos secos
- m Estación seca corta, pero la precipitación total es tan alta que el suelo es capaz de soportar vegetación de bosque lluvioso.
- i Isotermal. La diferencia de temperatura media mensual entre el mes más caliente y el mes más frío, es menor de 50°C.
- g El mes más caliente ocurre antes del solsticio y antes de que se inicien las lluvias de verano.



### 3.10.2 Clasificación climática de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite

La clasificación climática de Thornthwaite, considera a la evapotranspiración potencial como elemento básico, mismo que calcula en función de la temperatura, de la duración del día y del número de días del mes. A través de la evapotranspiración potencial y de la precipitación media, se llega a la determinación del clima y a la estimación del balance hídrico del lugar que se trate. Los datos necesarios para efectuar este sistema de clasificación son las temperaturas medias mensuales y las precipitaciones medias mensuales del lugar. Por lo que se refiere a la duración del día, lo que interesa es el tiempo de iluminación solar y el factor de corrección está calculado para cada mes según la latitud. A continuación se explica su obtención:

#### DATOS REQUERIDOS:

1. Evapotranspiración potencial, como ya se indicó, es la cantidad de agua que se perdería por evaporación y transpiración si el suelo estuviera saturado de agua. La cuantificación de este índice se explica en el punto 3.9.1.
2. Variación de la reserva de la humedad. Es la diferencia entre la precipitación media y la evapotranspiración potencial. Puede ser positiva si  $P > EP$ , ó negativa si  $P < EP$ .

3. Reserva de la humedad en el suelo. Es el valor del contenido de agua en el suelo para cada mes. La capacidad máxima de la reserva según Thornthwaite es de 10 cm. Es igual a la suma algebraica ante la reserva del mes anterior más la variación de la reserva de humedad del mes que se trate, hasta un máximo de 10 cm. El resto, si lo hay, se considera superávit de agua (s). Si resulta un valor negativo la reserva es cero. Esta lámina puede ser retenida por un suelo de aproximadamente 30 cm de profundidad de textura media.
4. Superávit de agua (s). Cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración potencial y hay un sobrante de agua una vez satisfecha la reserva de humedad en el suelo. Es la diferencia entre P y EP, restándole la cantidad de agua en el suelo. La suma de los valores mensuales en el superávit anual S.
5. Déficit de agua (d). Es la diferencia entre la evapotranspiración potencial y la evapotranspiración real. La suma de los valores mensuales da el déficit anual, D.
6. Evapotranspiración real (ER). Es la evapotranspiración que realmente se efectúa en función del agua disponible. Cuando la precipitación P es igual o mayor que la evapotranspiración potencial (EP), la evapotranspiración real es igual a la evapotranspiración potencial:

$$\text{si } P \geq EP; \quad ER = EP$$

Cuando la precipitación  $P$  es menor que la evapotranspiración potencial. La evapotranspiración real es igual a la precipitación más la reserva de humedad en el suelo del mes que se trate, o la del anterior en caso de que la del mes anterior sea cero. Hay que recalcar que la evapotranspiración real no puede exceder a la evapotranspiración potencial, de manera que si la suma de  $P$  más la reserva de humedad en el suelo sobrepasa  $EP$ , la evapotranspiración real será igual a  $EP$ . La suma de los valores mensuales de  $ER$  da la evapotranspiración real anual  $ER$ .

7. Escurrimiento ( $q$ ). Con base en datos observados en cuencas hidrográficas, Thornthwaite hizo las siguientes conclusiones:

- a) En general las cuencas solo permiten escurrir el 50% del superávit del agua habido en el mes.
- b) Del 50% restante, la mitad escurre el mes siguiente y la otra se infiltra o se evapora.

Así el escurrimiento que para un mes determinado es igual a la mitad del valor del superávit de agua de ese mismo mes, más la mitad de lo que dejó de escurrir el mes anterior.

8. Relación Pluvial, ( $RP$ )

$$RP = \frac{P - EP}{EP}$$

Donde:

P = Precipitación media mensual o anual

EP= Evapotranspiración potencial mensual o anual

Si  $PR = 0$ ;     P = EP

$RP > 0$ ;     P > EP

$RP < 0$ ;     P < EP

Otros índices a calcular son: Índice de Humedad, Índice Pluvial, Concentración Térmica en el verano. Ver Cuadros 27 y 28.

Cuadro No. 27. Clasificación del clima según Thornthwaite.

Estación meteorológica MOZAMBRA  
Estado de Veracruz

Latitud 19°30'  
Longitud 96°27'

C O N C E P T O	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
T°C	21.6	22.23	24.72	27.05	28.44	28.21	27.29	27.32	27.22	26.17	24.69	22.81	
p.p.	.982	1.22	9.64	.651	3.33	23.44	25.67	20.05	19.72	6.48	2.09	1.31	105.9
ETP	6.33	6.6	10.89	14.64	16.96	16.43	16.09	15.62	14.4	12.78	9.7	7.62	148.07
Variación de la Reserva	-5.35	-5.37	-9.93	-13.99	-13.62	7.01	9.58	6.43	5.32	-6.29	-7.60	-6.30	
Reserva	0	0	0	0	0	7.01	10	10	10	3.71	0	0	
S	0	0	0	0	0	0	6.59	6.43	5.32	0	0	0	S=18.34
d	5.35	5.37	9.93	13.99	13.62	0	0	0	0	6.3	0	0	D=54.57
er	.982	1.22	9.64	6.5	3.33	16.4	16.09	15.62	14.4	6.48	9.7	1.31	ER=87.14
q	0	0	0	0	0	0	3.29	4.86	4.26	1.33	0	0	q=13.74
Rp	-0.84	-0.81	-0.91	-0.95	-0.80	0.42	0.59	0.28	0.36	-0.49	-0.78	-0.82	

$$I_h = \frac{100 \times 18.34}{148.07} = 12.38\%$$

Categoría de humedad PG Semiseco

$$I_a = \frac{100 \times 54.57}{148.07} = 36.85\%$$

Regiones de humedad SC Moderada Demasía de agua invernal

$$I_p = 12.38 - (0.6 \times 46.24) = -15\%$$

Categorías de Temperatura TA Cálido

$$e = \frac{100 \times 48.03}{148.07} = 32.43\%$$

Regimen de Temperatura VA Regimen Normal de Calor

Cuadro No. 28. Clasificación del clima según C.W. Thornthwaite.

Estación meteorológica RINCONADA

Latitud 19°21'

Estado de Veracruz

Longitud 96°33'

C O N C E P T O	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL cm
T°C	21.69	21.90	24.69	26.72	27.76	27.24	26.02	26.10	26.13	25.06	23.50	21.93	
p.p.	1.20	1.22	1.35	1.49	4.32	20.09	21.32	14.84	15.60	5.71	2.34	1.40	90.88
EP	61	69	105.10	145	163	155	147	144	133	114	88	72	1396.1
Variación de la Reserva	-4.9	-5.68	-9.16	-13.01	-11.98	7.59	6.62	0.44	2.3	-5.69	-6.46	-5.8	273.4
Reserva	0	0	0	0	0	4.59	10	10	10	4.31	0	0	
S	0	0	0	0	0	0	1.21	.44	2.3	0	0	0	S= 3.95
d	4.9	5.68	9.16	13.01	11.98	0	0	0	0	1.38	2.15	5.8	D=54.06
er	1.20	1.22	1.35	1.49	4.32	15.5	14.7	14.4	13.3	10.02	6.65	1.4	ER=85.55
q	0	0	0	0	0	0	0.60	0.52	1.26	0.57	0.5	0	Q= 2.95
Rp	-0.80	-0.82	-0.87	-0.89	-0.73	0.29	0.45	0.03	0.17	-0.49	-0.73	-0.80	

$$I h = \frac{100 \times 3.95}{139.61} = 0.28$$

Categoría de Humedad PG Semiseco

Régimen de Humedad SB Moderada Demasia de agua invernal

$$I a = \frac{100 \times 54.06}{139.61} = 38.72\%$$

Categoría de Temp. TA Cálido

Régimen de Temp. VA Régimen Normal de color

$$I m = 0.28 - (.6 \times 38.7) = 22.9\%$$

$$C = \frac{100 \times 463}{1396.1} = 33.16\%$$

#### IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El presente estudio es un modesto intento que pretende dentro del área de la agroclimatología, contribuir a un mejor conocimiento del factor clima en relación con las plantas cultivadas para el área de influencia del CAECOT. Para lo cual se trató de dar una panorámica general de esta zona sin considerar los requerimientos de un cultivo agrícola individual, su análisis se basa en el manejo y transformación de la información histórica a nivel mensual de los diferentes elementos climáticos (temperatura, precipitación, etc.) a parámetros agroclimáticos como son: Evapotranspiración, Unidades Calor, Régimen y Distribución Solar, etc. Con estos datos es posible seleccionar cultivos que se adapten a estas condiciones, así se tiene por ejemplo para el caso de la cuantificación de unidades calor en las estaciones en donde se determinó, que existe un rango de 5 314 a 5 879 UC anual, estos límites corresponden a las estaciones El Tejar y Zempoala; una aplicación de estos datos puede efectuarse al compararlos con la suma de temperaturas que requiere algún cultivo agrícola y verificar si lo satisface o no en esta zona, en la actualidad se tiene ya determinados los requerimientos de Unidades Calor para algunos cultivos.

Se determinó las temperaturas cardinales de la zona las cuales se encuentran comprendidas entre los siguientes límites:

Temperatura mínima	14.82°C - 24.86°C
Temperatura media	20.36°C - 30.26°C
Temperatura máxima	24.41°C - 35.81°C

Los valores de precipitación mensual se emplearon para determinar la estación de crecimiento, además se ejemplificó la metodología para la obtención de probabilidades de lluvia; sin embargo, es importante señalar que un conocimiento de la precipitación total mensual es útil pero su estudio probabilístico a nivel decenal o semanal son más valiosos y nos dan bases más firmes para la toma de decisiones en la agricultura como es por ejemplo programar épocas de siembra. La prueba de bondad y ajuste que se usó para definir que distribución se usaría para el cálculo de probabilidad de lluvia fué la de Kolmogorov-Smirnov y se encontró que al aplicar dicha prueba que la distribución Galton presentó el mejor ajuste, por otra parte no se consideró la distribución Gamma incompleta la cual según Villalpando (1984) es una curva versátil que se ajusta a los datos de precipitación de una manera extraordinaria, por su complejidad en su obtención en forma manual. Los valores de precipitación se graficaron contra los datos de evaporación ( Ver apéndice ) observándose que de enero a mayo y de octubre a diciembre sus valores son menores en tiempo durante el cual se tendría problemas por falta de agua para los cultivos.



El régimen de radiación solar se estimó a partir del grado de nubosidad unicamente para ocho estaciones termopluiométricas por ser las que contaban con registros de número de días despejados, medio nublados y nublados cerrados, la radiación solar también puede ser estimada a partir de la insolación; la razón por la cual se estimó por el primer método es por la ausencia de registros de insolación para un período de tiempo largo. Se detectó un rango de 4 941.62 a 5 839.40 cal/cm<sup>2</sup>/anual en estas estaciones, correspondiendo el primero a la estación Veracruz en donde se tiene el valor más alto para el mes de mayo con un promedio de 494.50 cal/cm<sup>2</sup>/día, y el último se presenta en la estación Manlio F. Altamirano en donde se obtuvieron los valores más altos de radiación solar anual y durante el mes de junio se tiene un promedio de 576 cal/cm<sup>2</sup>/día. Con esos datos se elaboraron las gráficas 16 a la 19 en donde se visualiza su distribución durante el año y corresponden a las estaciones Soledad Doblado, Veracruz, Rinconada y Manlio F. Altamirano

El cálculo de la evapotranspiración potencial se efectuó por el método de Thornthwaite, la razón por la cual se usó fue por los pocos datos meteorológicos que requiere, existen además otros métodos como son por ejemplo el de radiación solar, Penman modificado en donde se necesita un mayor número de componentes para su obtención (humedad relativa, insolación, déficit de saturación de vapor, etc). La evapotranspiración se utilizó además para determinar la estación de crecimiento la cual está en función de la disponibilidad de agua

y temperaturas favorables para el desarrollo y producción de cultivos, su duración es para las estaciones Actopan, Rinconada y Mozambra de 142 días; en el caso de Loma Fina 136, Puente Jula 166, Veracruz 198, Villa José Cardel 194, Zempoala 152, El Faisán 164 y El Tejar con 192 días, en las figuras 20 a la 28 se puede apreciar su inicio y terminación donde se tendría un 50% de probabilidad de que cultivos como maíz y arroz complementaran sus ciclos satisfactoriamente, haciendo énfasis en que se requieran estudios más específicos donde intervengan datos de suelo, requerimientos del cultivo, probabilidades de lluvia a diferentes niveles, 75 y 80% para conocer con mayor precisión y confiabilidad lo antes expuesto.

El clima Aw es el que se presenta en casi toda ésta área según la clasificación de Köppen y corresponde a un clima tropical húmedo-seco con estación seca en el invierno y al menos un mes seco con menos de 60 mm de lluvia.

## V. BIBLIOGRAFIA

- Aspiazú, C. 1971. Pronóstico de fases de cultivos de maíz dentado mediante sumas de temperatura. Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires, Argentina.
- Azzi, G. 1971. Ecología Agraria. Instituto Cubano del Libro. La Habana, Cuba.
- Banrural. 1981. La agrometeorología en la determinación de áreas factibles de abrirse al cultivo. Reproducido por INIA como documento de circulación interna. México. 170 p.
- Burgos, J. J. y A. L. Vidal. (sin año). Los climas de la República Argentina, según la nueva clasificación de Thornthwaite. Meteoros No. 1. Argentina. 29 p.
- Carrillo L. A. y D. E. Casas. 1974. Predicción de lluvia y su aplicación en la agricultura. Chapingo, México. 170 p.
- De Fina, A. L. y A. C. Rabelo. 1973. Climatología y Fenología Agrícola. EUDEBA. 3a ed. Buenos Aires, Argentina 281 p.
- Frere M., J. Q. Rijks y J. Rea. 1978. Estudio agroclimatológico de la zona andina. Nota Técnica No. 61. Ginebra, Suiza.
- \_\_\_\_\_ y G. V. Popov. 1980. Pronóstico de cosecha basado en datos agrometeorológico. FAO. Producción y Protección Vegetal. No. 17. Roma. 66 p.
- Jiménez L. V. 1968. Cálculo del clima de acuerdo al segundo sistema de Thornthwaite. SARH. Publicación No. 7. México. 92 p.
- Gandullo, J. M. (sin año). Apuntes de Meteorología y Ecología. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Sección de Publicaciones, Madrid, España.
- García, E. 1963. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.

- Gómez M. S. B. 1984. Estudio Agroclimático del Distrito de Temporal No. VI. Tehuacán, Puebla. Tesis Ing. Agrónomo. UACH. Dpto. de Zonas Áridas. México. 180 p.
- Grebet, P. 1977. El clima y la producción agrícola. La bioclimatología. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Dpto. en Suelos. Tirado Interno. No. 62. Buenos Aires, Argentina. 27 p.
- Mora, G. M. 1984. Estudio fenoclimatológico en líneas y variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) bajo 3 condiciones en el bajío. Tesis Ing. Agrónomo ITA. No. 7. Morelia, Mich. p. 10-12.
- Ortiz, S. C. A. 1984. Elementos de agrometeorología cuantitativa. UACH. Dpto. de Suelos. Chapingo, México. 235 p.
- Papadakis, J. 1960. Geografía Agrícola Mundial. Salvat Editores. S.A. Barcelona, Madrid.
- Ramos, S. A. y E. L. Hernández. 1968. Ecología de la alfalfa en México. Revista de Fitotecnia Latinoamericana. IICA Bogota, Colombia 5(2). p. 27-49.
- Romo G.M. y R.H. Arteaga. 1982. Meteorología Agrícola. UACH. Dpto. de Irrigación. Chapingo, Méx. 442 p.
- Rzedowsky, J. 1979. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432 p.
- Ruiz V. J. 1985. Reunión de Investigadores Zona Sur. SARH-INIA.
- SARH. 1982. Guía para la asistencia técnica agrícola. Campo Agrícola Experimental Cotaxtla. INIA. México. 160 p.
- \_\_\_\_\_. 1979. Centro de Investigaciones del Golfo Centro. Campo Agrícola Experimental Cotaxtla "Marco de Referencia de Fruticultura mango y papaya". México.
- \_\_\_\_\_. 1982. Ciclos de cultivo. México.
- SRH. 1971. Mapa de suelos de la República Mexicana, según el sistema de clasificación FAO-UNESCO. Dirección de Agrología, Méx.
- \_\_\_\_\_. 1973. Definición de las Unidades de Suelos para el Mapa de Suelos del Mundo. Proyecto FAO-UNESCO. Dirección de Agrología. México.

- S.M.N. 1976. Normales climatológicos. Período de 1941-1970. México. 791 p.
- Tapia J. C. Y Ramón A. C. 1961. Zonas de vegetación en la parte central del estado de Veracruz. Agr. Téc. No. 11. México. p. 22-26.
- Tamayo, J. L. 1976. Atlas del agua de la República Mexicana. SRH. México.
- Thom, H. C. S. 1971. Some methods of climatological analysis W.M.O. Technical note No. 81. Genova Switzerland. 53 p.
- Villalpando I. J. F. 1984. Metodología de Investigación en Agroclimatología. SARH. Consejo Directivo de Investigación Agrícola, Pecuaria y Forestal. México.
- UNAM. 1985. Memoria de la I Reunión Nacional de Agroclimatología. México. 313 p.

## APENDICE

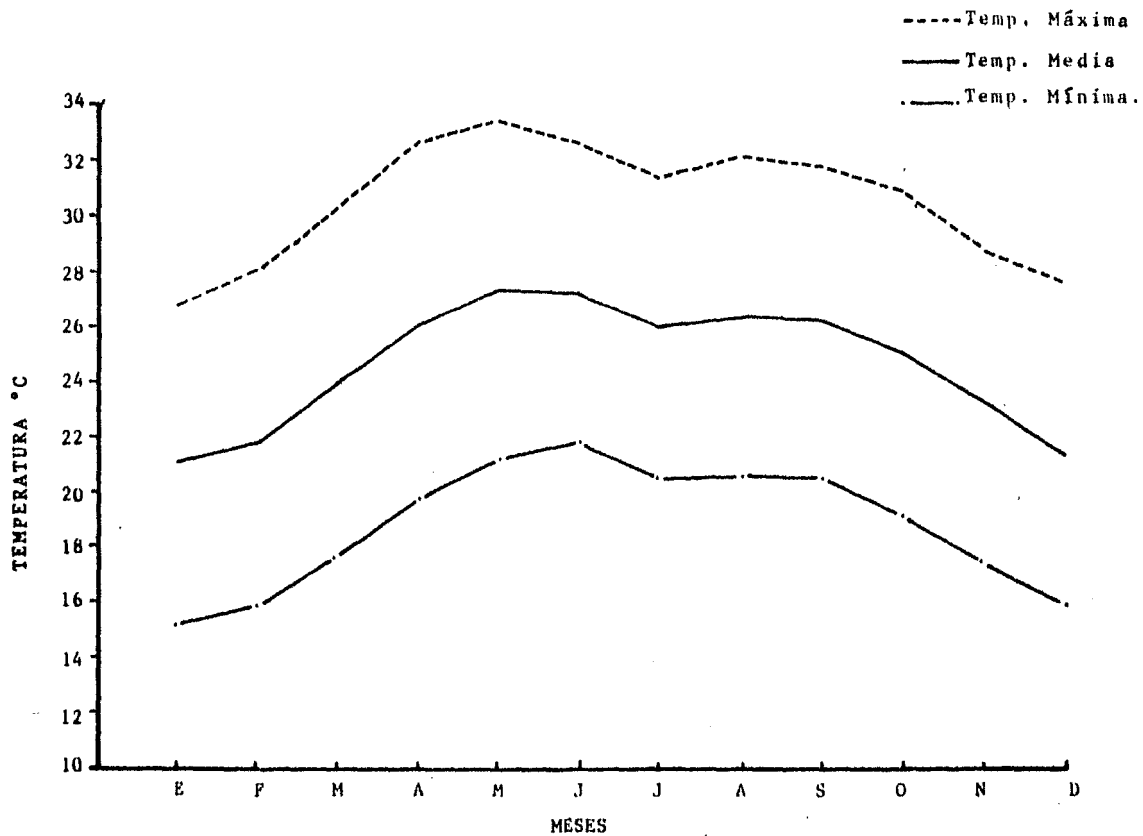


Fig. 1A. Temperatura mínima, media y máxima. Est. Actopan.

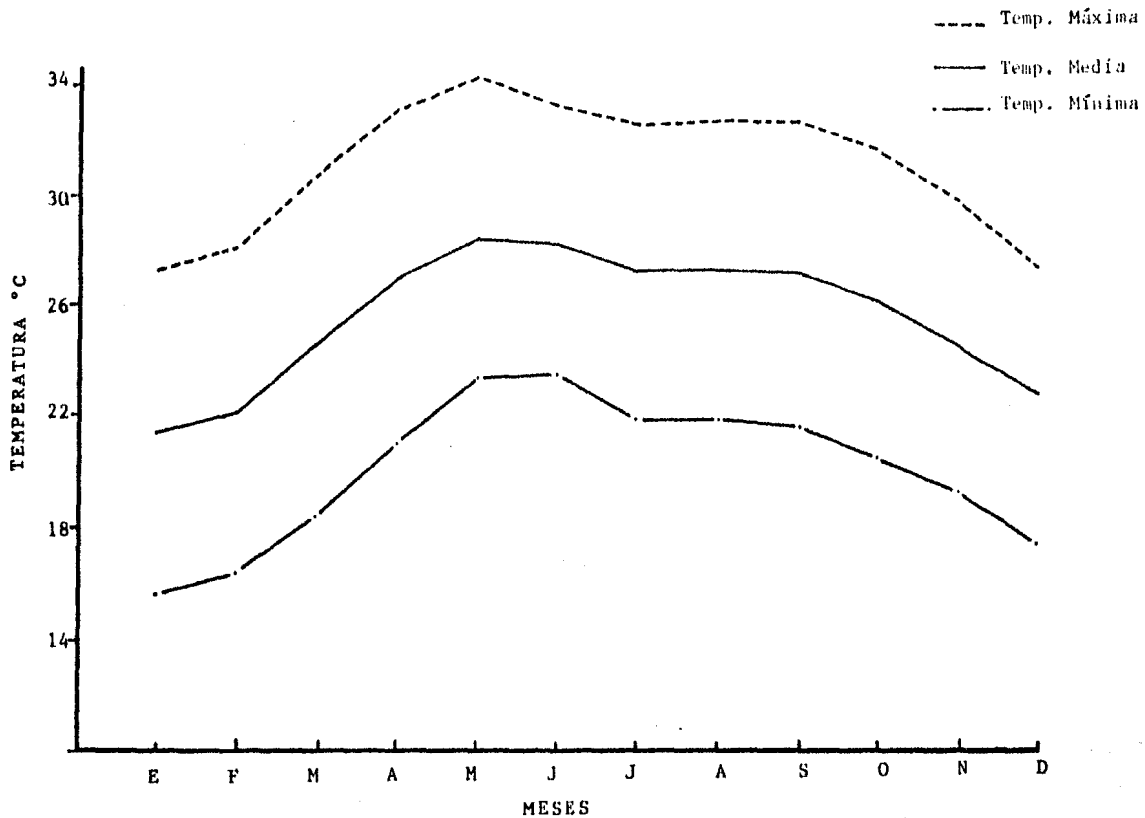


Fig. 2A. Temperatura mínima, media y máxima, Est. Mozambra.



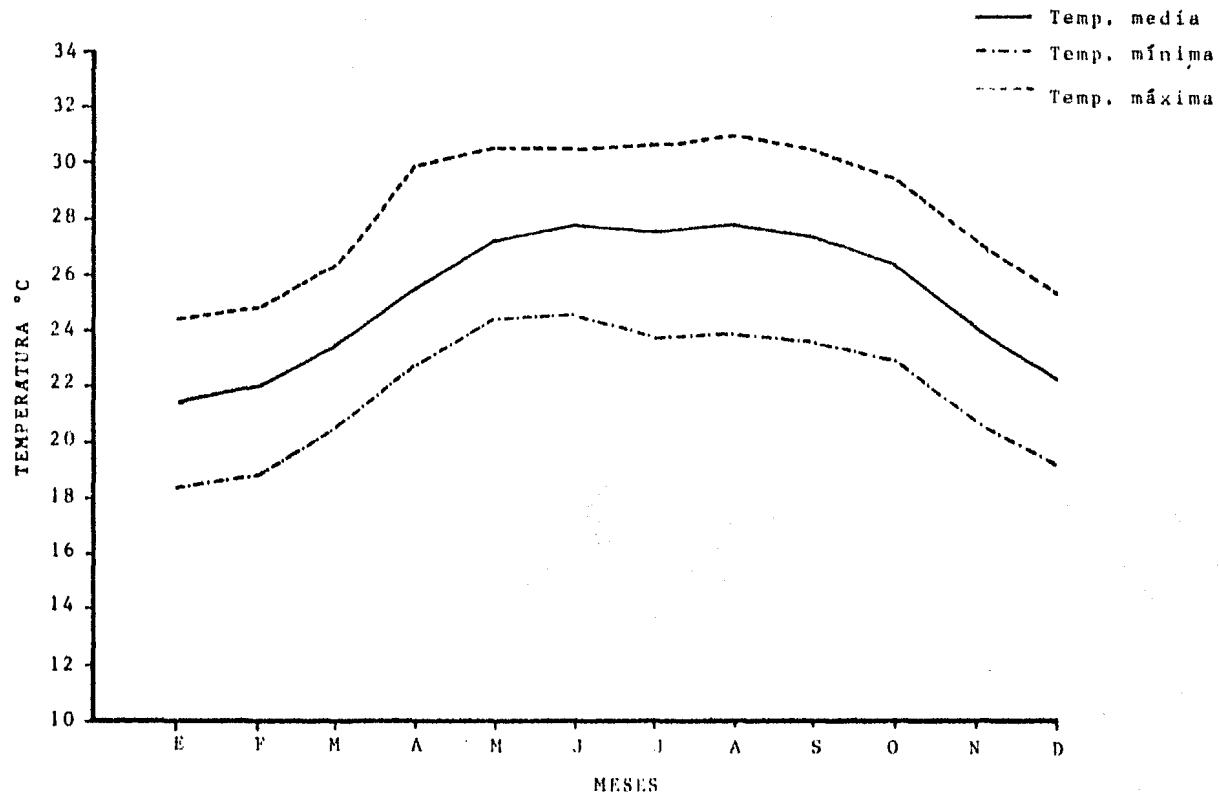


Fig. 3A. Temperatura mínima, media y máxima. Est. Veracruz.

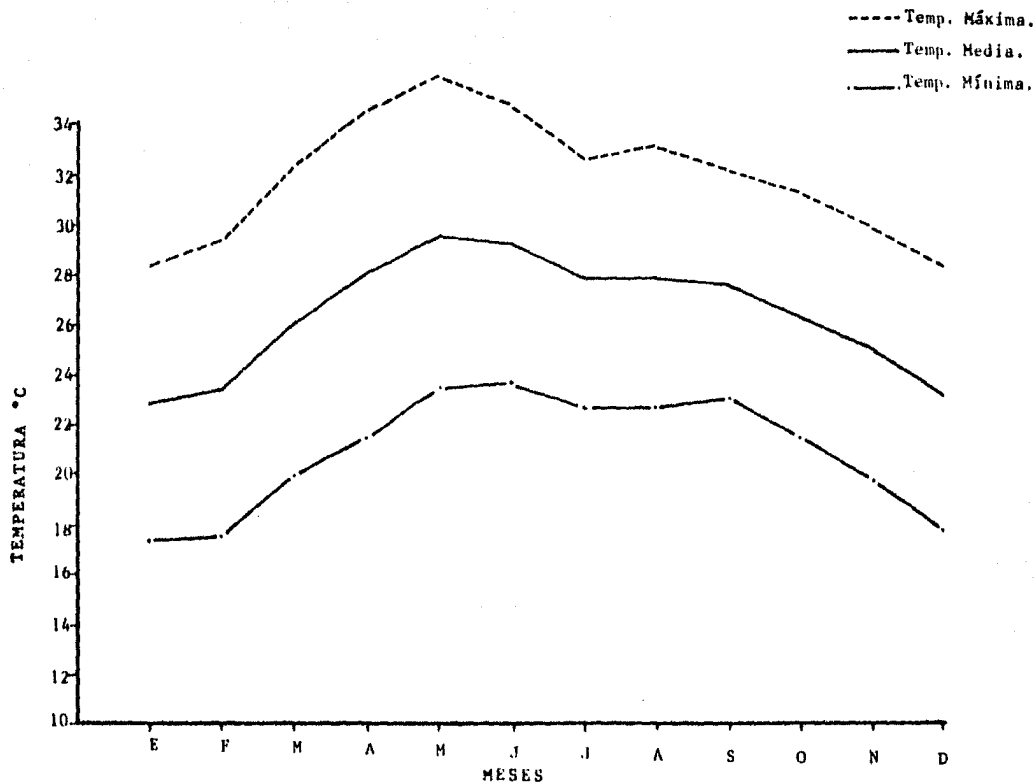


Fig. 4A. Temperatura mínima, media y máxima. Est. Manlio Fabio Altamirano.

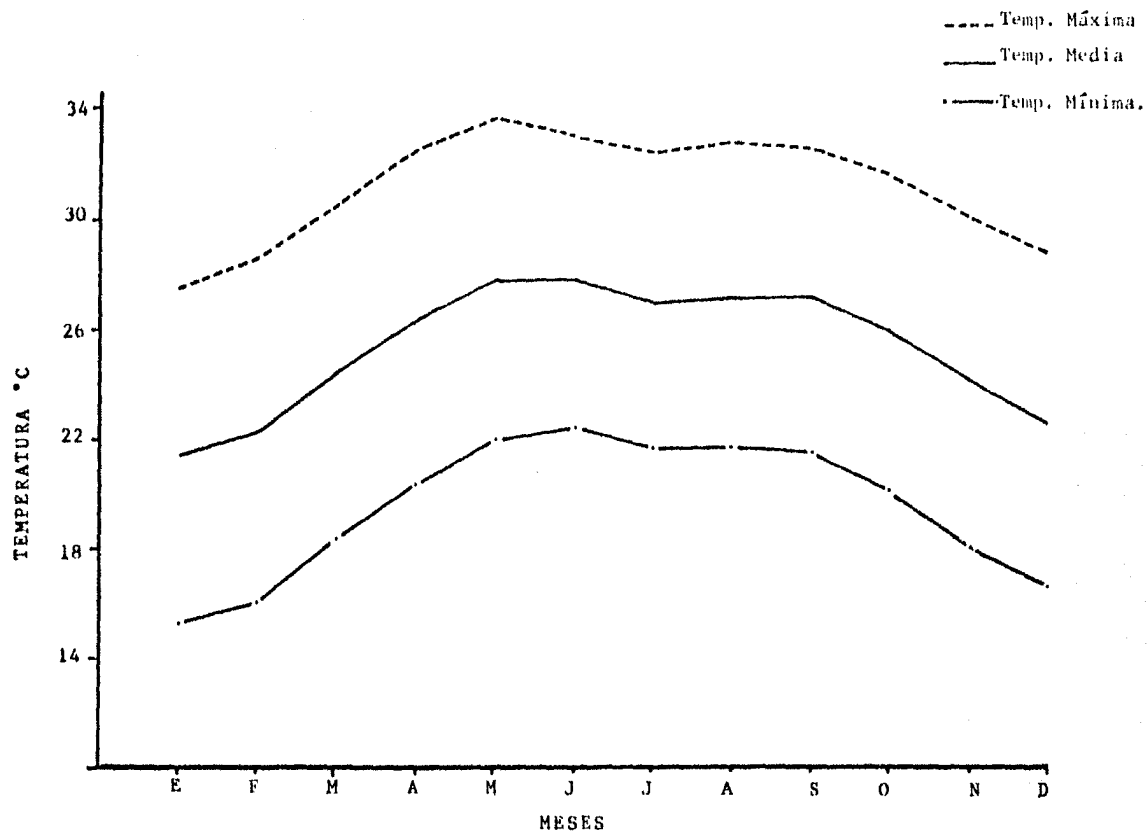


Fig. 5A. Temperatura mínima, media y máxima. Est. El Faisán.

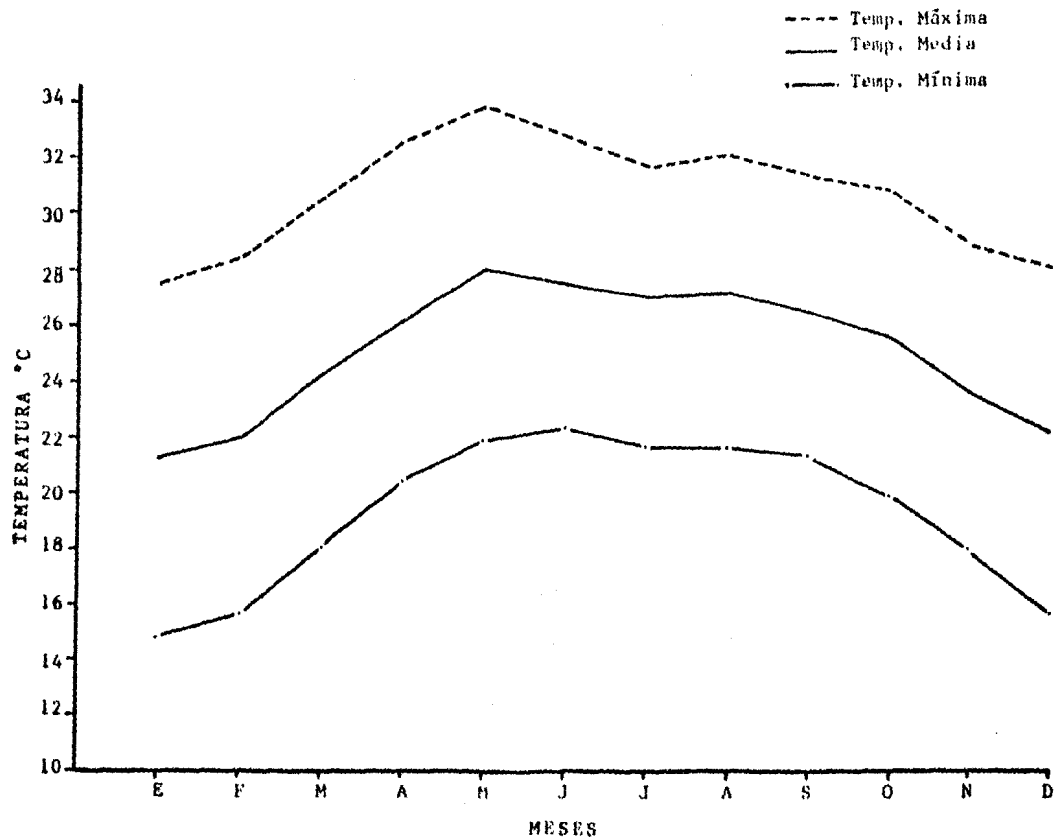


Fig. 6A. Temperatura mínima, media y máxima. Est. Puente Jula.

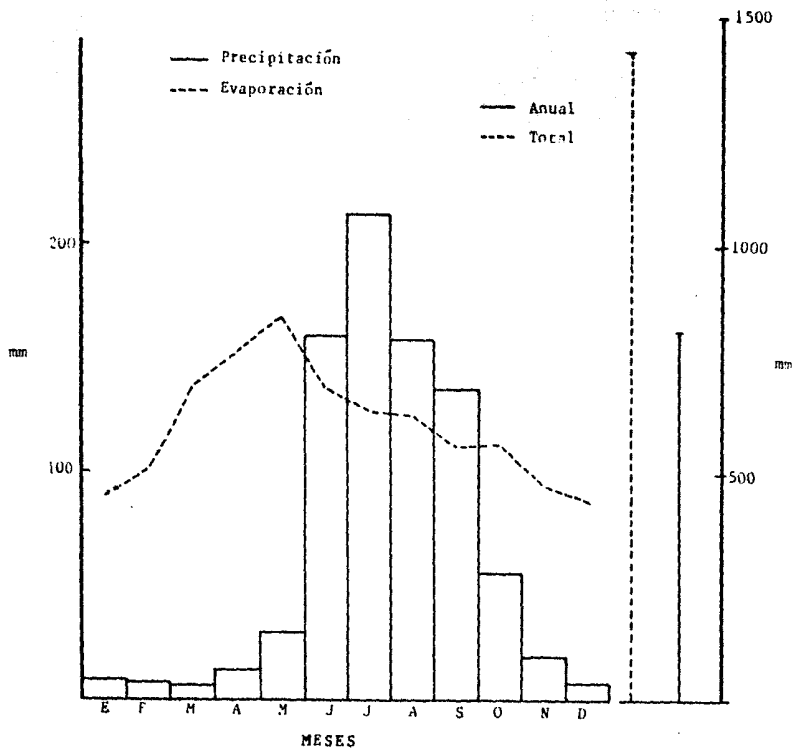


Fig. 7A. Precipitación y evaporación. Est. Loma Fina.

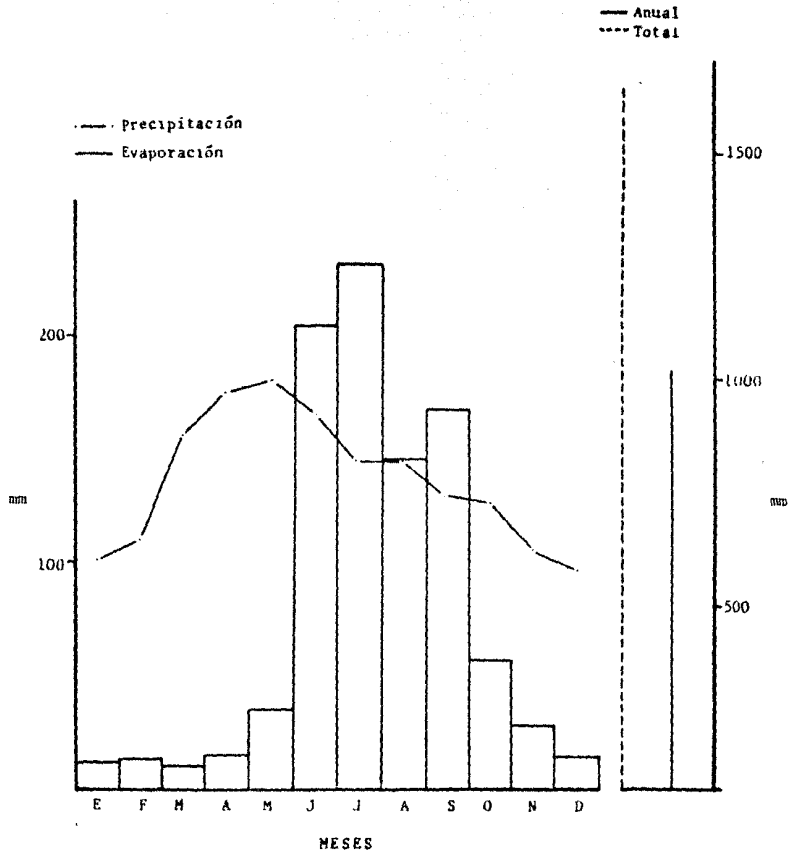


Fig. 8A. Precipitación y evaporación. Est. Actopan.

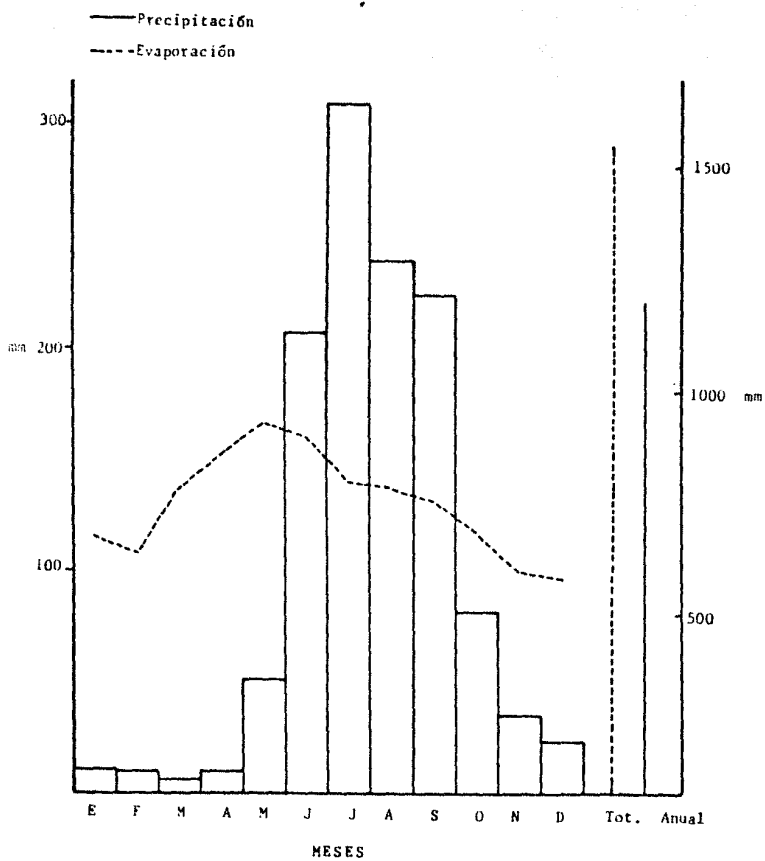


Fig. 9A. Precipitación y evaporación. Est. Puente Jula.

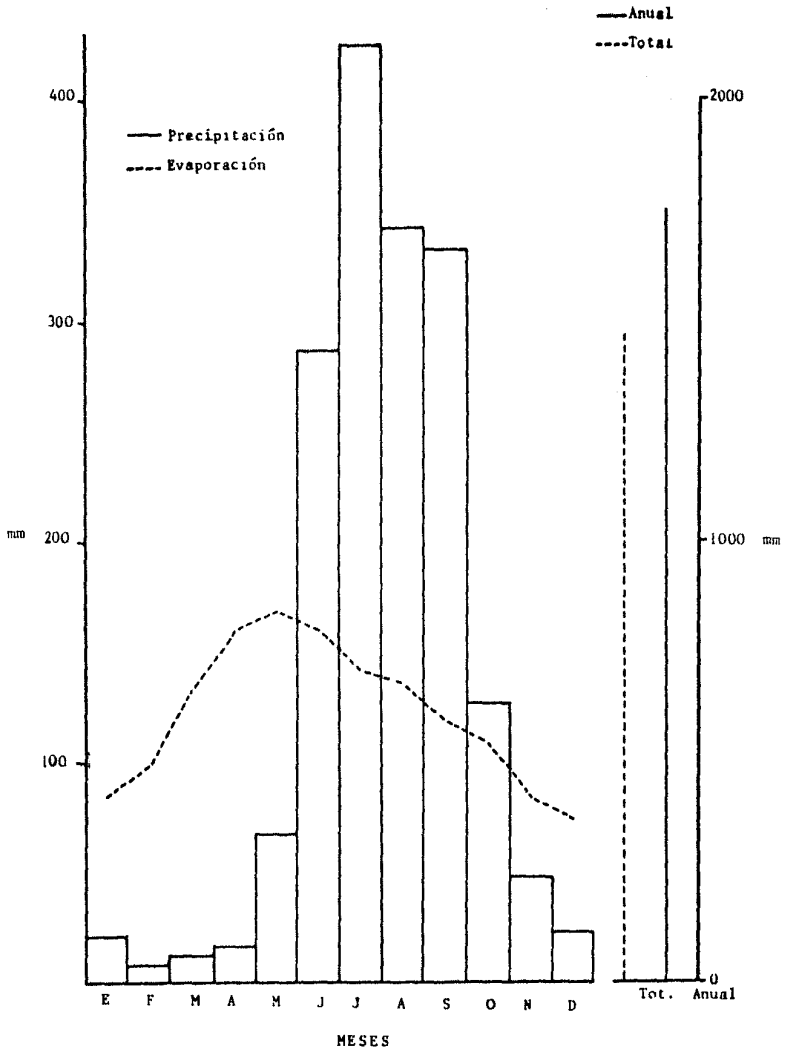


Fig. 10A. Precipitación y evaporación. Est. El Tejar.



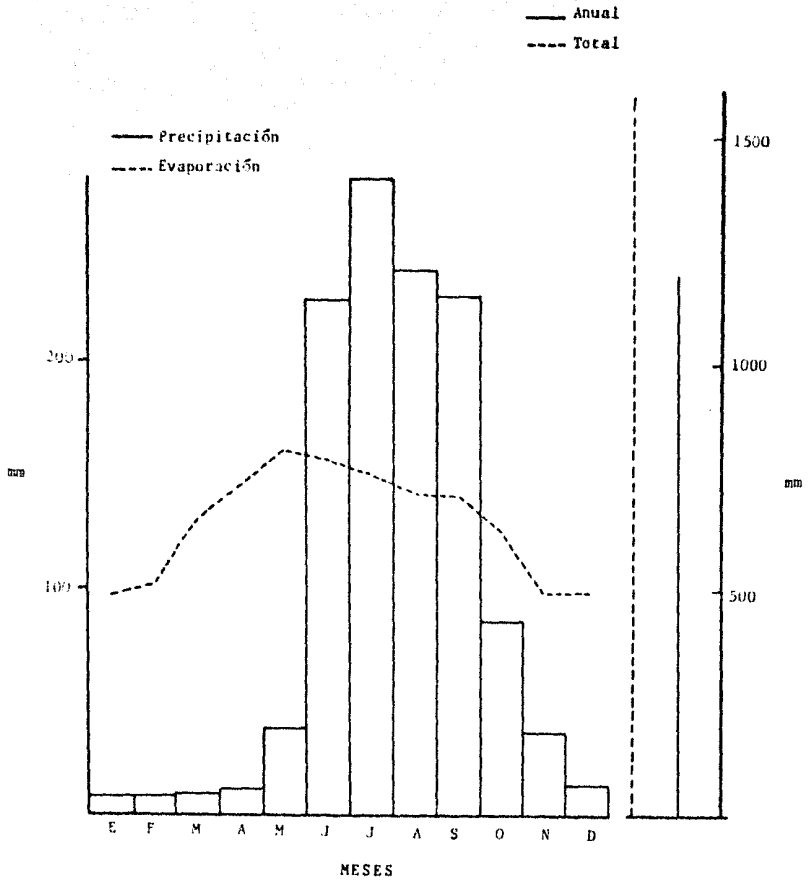


Fig. 11A. Precipitación y evaporación. Est. El Faisán.

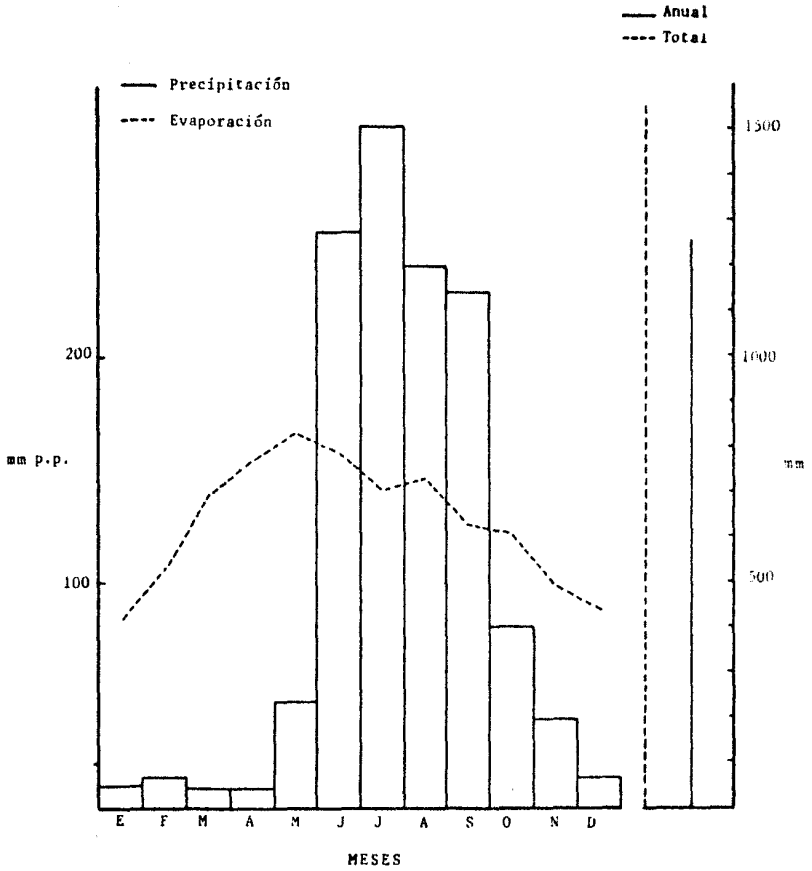


Fig. 12A. Precipitación y evaporación. Est. Villa José Cardel.

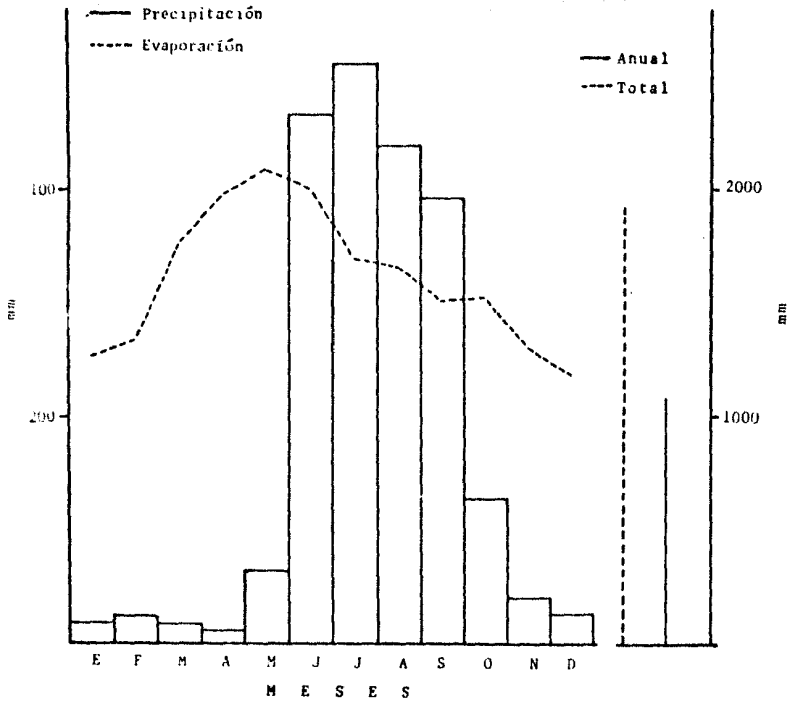


Fig. 13A. Precipitación y evaporación. Est. Mozambra.

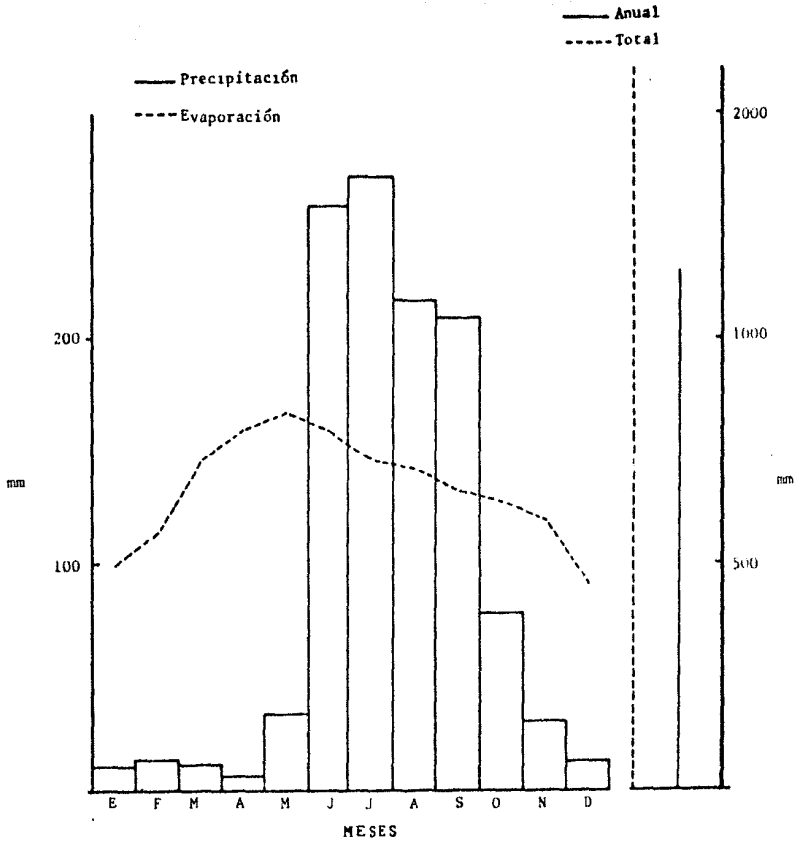


Fig. 14A. Precipitación y evaporación, Est. Zempoala.