

12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

2ej

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"CARACTERIZACION AGROCLIMATICA DE LA ZONA DE INFLUENCIA DE LA ESTACION METEOROLOGICA ALMARAZ, EN CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO AGRICOLA PRESENTA : FRANCISCO GABRIEL FLORES FLORES

ASESOR ING. GUSTAVO MERCADO M.

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1996.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

266388-



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 esta 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.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD NACIONAL
 AVENIDA DE
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento de
 Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA F.E.S.-CUAUTITLAN
 P R E S E N T E .

AT'N: Q. María del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la F.E.S.-C

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el:

Trabajo de Tesis

"Caracterización Agroclimática de la Zona de Influencia de la Estación
 Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcallí, México"

que presenta el pasante: Francisco Gabriel Flores Flores
 con número de cuenta: 8718277-2 para obtener el TITULO de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E.
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 9 de marzo de 1998

PRESIDENTE	Ing. Eduardo García de la Rosa	
VOCAL	Ing. Edgar Ornelas Díaz	
SECRETARIO	Ing. Gustavo Mercado Mancera	
PRIMER SUPLENTE	M. en C. Adelina Albanil Encarnación	
SEGUNDO SUPLENTE	Ing. Javier Vega Martínez	

DEDICATORIAS.

A MI MADRE:

GLORIA FLORES DIAZ, POR SU APOYO Y A QUIEN ME HA ENSEÑADO QUE TODAS LAS COSAS SE HACEN CON AMOR Y DEDICACION; Y QUE EL TRABAJO ES EL UNICO CAMINO PARA SALIR ADELANTE, A ELLA LE DEBO ESTE EXITO. ADEMAS DE LA CONFIANZA, QUE CONSTITUYEN PARA MI LA MEJOR HERENCIA RECIBIDA.

A MI ABUELA:

VICTORIA DIAZ CORTE, POR SUS ENSEÑANZAS DESDE EL INICIO DE MIS PRIMEROS ESTUDIOS, POR SU ESFUERZO Y DEDICACION PARA HECERME UN HOMBRE DE PROVECHO HACIA EL CAMPO.

A MI ESPOSA E HIJO:

MARIA GEORGINA OLIVAS REYES, CON AMOR, POR SU COMPRESION, APOYO, Y TOLERANCIA. POR DARME SIEMPRE LO MEJOR Y SEMBRAR EN MI EL ESPIRITU DE LA SUPERACION

A OSCAR ALEJANDRO FLORES OLIVAS CON CARIÑO, PORQUE ERES LO MEJOR QUE ME HA SUCEDIDO. SIEMPRE HAS SIDO UN ALIENTO PARA QUE LOGRE MEJORES COSAS EN LA VIDA.

A MIS HERMANOS:

JOSE, ADELAIDA, MARINA, REFUGIO, LIBIA Y LORENA POR EL APOYO QUE RECIBI DE ELLOS CON TODA SINCERIDAD.

A MIS SUEGROS:

FRANCISCO OLIVAS NAVARRO Y JUVENTINA REYES OLIVAS POR SU APOYO MORAL.

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS DOY GRACIAS POR SABERME GUIAR POR EL CAMINO Y DARME LA OPORTUNIDAD DE SEGUIR ADELANTE.

AGRADESCO AL ING. GUSTAVO MERCADO MANCERA POR SUS ENSEÑANZAS DEDICACION Y PACIENCIA ADEMAS DE UN GRAN MAESTRO Y AMIGO.

AL LIC. EN ADMON. CESAR ANTONIO PRIETO SOLORZANO Y AL M.V.Z. JOSE LUIS S. PRIETO LYONS POR SU APOYO EN LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO.

A LOS PROFESORES DEL JURADO POR SUS COMENTARIOS PARA ENRIQUECER LA TESIS; ING. EDUARDO GARCIA DE LA ROSA, ING. EDGAR ORNELAS DIAZ, ING. GUSTAVO MERCADO MANCERA, M.C. ADELINA ALBANIL ENCARNACION E ING. JAVIER VEGA .

A MIS COMPAÑEROS QUE DURANTE ESTOS AÑOS ME APOYARON Y PARTICIPARON CONMIGO, ING. SANCHEZ CRUZ JUAN CARLOS, JOSE CARRILLO ARREOLA, CORTEZ JIMENEZ MINERVA Y CUEVAS ALVARES MANUEL.

A LA UNAM FES- CUATITLAN QUE ME HABRIO LAS PUERTAS DEL SABER PARA INTEGRAR MIS CONOCIMIENTOS Y SER UN HOMBRE DE PROVECHO A LA SOCIEDAD.

A MIS COMPAÑEROS DEL FIDELIST UNIDAD LOS REYES EN ESPECIAL AL C. LUIS ANTONIO CARRASCO FLORES POR EL APOYO BRINDADO PARA LA TERMINACION DEL PRESENTE TRABAJO.

AL SEÑOR CARLOS RICO POR LA CONFIANZA Y BRINDARME LA
OPURTUNIDAD DE TERMINAR EL PRESENTE TRABAJO.

A MI MADRINA ANGELA DENICIA MORALES POR LA OPURTUNIDAD QUE
ME BRINDO PARA MI SUPERACION.

CONTENIDO

i	INDICE DE GRAFICAS
ii	INDICE DE FIGURAS
iii	INDICE DE CUADROS
iiii	INDICE DE ANEXOS
iiii	RESUMEN

	PAGINA
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos.....	3
II. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Definición de Agroclimatología y Agrometeorología.....	4
2.2. Aplicaciones de la Agrometeorología y Agroclimatología.....	6
2.3. Descripción de la Estación Meteorológica Almaraz	8
2.3.1. Antecedentes de su instalación y manejo.....	12
2.3.2. Instrumental con la cual esta dotada la estación.....	13
2.4. Métodos para el cálculo de las variables agroclimáticas del presente estudio.....	15
2.4.1. Cálculo de Unidades Térmicas.....	15
2.4.2. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial.....	17
2.4.3. Cálculo de la Estación de Crecimiento.....	23
2.4.4. Cálculo de Horas Frio.....	25
2.4.5. Cálculo de la Probabilidad de Lluvia.....	27
2.4.6. Cálculo de la Probabilidad de Helada.....	29

III. MATERIALES Y METODOS.....	32
3.1. Descripción y Ubicación del lugar de estudio.....	32
3.1.1. Características Climáticas.....	34
3.1.2. Características Edáficas.....	35
3.2. Metodología.....	36
3.2.1. Datos Climáticos.....	36
3.2.2. Métodos Empleados en el Presente Estudio.....	36
3.3. Variables Evaluadas.....	37
3.3.1. Comportamiento de la Temperatura al Abrigo.....	37
3.3.2. Marcha de la Temperatura Mínima al Intemperie.....	37
3.3.3. Comportamiento de la Evaporación	37
3.3.4. Manifestación de la Precipitación	37
3.3.5. Comportamiento del Viento	38
3.3.6. Grado de la Nubosidad	38
3.3.7. Comportamiento de la Radiación Solar	38
3.3.8. Comportamiento de la Insolación	38
3.3.9. Marcha de la Temperatura del Suelo	38
3.3.10. Marcha de la Presión Atmosférica	39
3.3.11. Comportamiento de la Humedad Atmosférica	39
3.3.12. Días con Granizo	39

3.3.13. Días con Helada	39
3.3.14. Días con Tormenta Eléctrica	39
3.3.15. Días con Niebla	40
3.3.16. Días con Rocío	40
3.3.17. Días con Lluvia Apreciable	40
3.3.18. Días con Lluvia Inapreciable	40
3.3.19. Días con Nubosidad	40
3.4. Parámetros Determinados.....	41
3.4.1. Evapotranspiración Potencial.....	41
3.4.2. Probabilidad de Ocurrencia de Helada.....	41
3.4.3. Probabilidad de Ocurrencia de Lluvia.....	41
3.4.4. Horas Frío.....	41
3.4.5 Estación de Crecimiento Por Disponibilidad de Humedad y Temperatura.....	42
3.4.6. Constante Térmica.....	42
3.4.7 Fórmula Climática.....	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	43
4.1. Comportamiento de la Temperatura al Abrigo.....	43
4.2. Marcha de la temperatura mínima al Intemperie.....	44
4.3. Comportamiento de la Evaporación.....	46

4.4. Manifestación de la Precipitación.....	47
4.5. Comportamiento del Viento.....	49
4.6. Grado de la Nubosidad.....	51
4.7. Comportamiento de la Radiación Solar.....	52
4.8. Comportamiento de la Insolación.....	53
4.9. Marcha de la Temperatura del Suelo.....	54
4.10. Comportamiento de la Presión Atmosférica.....	55
4.11. Comportamiento de la Humedad Atmosférica.....	56
4.12. Días con Granizo.....	57
4.13. Días con Helada.....	58
4.14. Días con Tormenta Eléctrica.....	59
4.15. Días con Niebla.....	60
4.16. Días con Rocío.....	61
4.17. Días con Lluvia Apreciable.....	62
4.18. Días con Lluvia Inapreciable.....	63
4.19. Días con Nubosidad.....	64
4.20. Evapotranspiración Potencial.....	65
4.21. Probabilidad de Ocurrencia de Heladas.....	66
4.22. Probabilidad de Ocurrencia de Lluvia.....	69
4.23. Horas Frio.....	70

	PAGINA
4.24. Estación de Crecimiento por Disponibilidad de Humedad y Temperatura.....	72
4.25. Constante Térmica.....	75
4.26. Fórmula Climática.....	78
V. CONCLUSIONES.....	80
VI. BIBLIOGRAFIA.....	83
VII. ANEXOS.....	86

INDICE DE GRAFICAS

PAGINA

GRAFICA 1. Marcha de la Temperatura al Abrigo. Estación Almaraz. 1987-1997.....	44
GRAFICA 2. Temperatura Mínima al Intemperie. Estación Almaraz. 1987-1997.....	45
GRAFICA 3. Comportamiento de la Evaporación. Estación Almaraz. 1987-1997.....	46
GRAFICA 4. Precipitación Media. Estación Almaraz. 1987-1997.....	48
GRAFICA 4a. Precipitación Anual. Estación Almaraz. 1988-1996.....	48
GRAFICA 5. Recorrido del Viento. Estación Almaraz. 1987-1997.....	50
GRAFICA 5a. Dirección Promedio del Viento. Estación Almaraz. 1987-1997.....	50
GRAFICA 6. Grado de Nubosidad. Estación Almaraz. 1987-1997.....	51
GRAFICA 7. Radiación Solar Global. Estación Almaraz. 1987-1997.....	52
GRAFICA 8. Comportamiento de la Insolación. Estación Almaraz. 1987-1997.....	53
GRAFICA 9. Temperatura del Suelo. Estación Almaraz. 1987-1997.....	54
GRAFICA 10. Presión Atmosférica .Estación Almaraz. 1987-1997.....	56
GRAFICA 11. Humedad Atmosférica. Estación Almaraz. 1987-1997.....	57
GRAFICA 12. Días con Granizo. Estación Almaraz. 1987-1997.....	58
GRAFICA 13. Días con Helada. Estación Almaraz. 1987-1997.....	59
GRAFICA 14. Días con Tormenta Eléctrica. Estación Almaraz. 1987-1997.....	60
GRAFICA 15. Días con Niebla. Estación Almaraz. 1987-1997.....	61
GRAFICA 16. Días con Rocío. Estación Almaraz. 1987-1997.....	62

GRAFICA 17. Días con Lluvia Apreciable. Estación Almaraz. 1987-1997.....	63
GRAFICA 18. Días con Lluvia Inapreciable. Estación Almaraz. 1987-1997.. ..	64
GRAFICA 19. Días con Nubosidad. Estación Almaraz. 1987-1997.....	65
GRAFICA 20. Evapotranspiración Potencial. Estación Almaraz. 1987-1997.....	66
GRAFICA 21. Probabilidad de Ocurrencia de Primera y Ultima Helada. Estación Almaraz. 1987-1997.....	68
GRAFICA 21a. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Estación Almaraz. 1987-1997.....	68
GRAFICA 22. Probabilidad de Ocurrencia de Lluvia Anual. Estación Almaraz. 1987-1997.....	70
GRAFICA 23. Horas Frío Acumuladas. Estación Almaraz. 1987-1997.....	71
GRAFICA 24. Estación de Crecimiento Normal. Estación Almaraz. 1987-1997.....	72
GRAFICA 24a. Estación de Crecimiento al 70% . Estación Almaraz. 1987-1997.....	74
GRAFICA 25. Unidades Térmicas Acumuladas. Ciclo P-V. 1988-1997.....	77
GRAFICA 25a. Unidades Térmicas Acumuladas. Ciclo O-I. 1988-1997.....	77
GRAFICA 25b. Promedio Anual Unidades Térmicas. Estación Almaraz. 1988-1997.....	78

INDICE DE FIGURAS

PAGINA

FIGURA 1. Localización de la FES-Cuautitlan, UNAM, Rancho Almaraz, Cuautitlan, Edo de Mexico.....	11
FIGURA 2. Componentes de la Estación de Crecimiento.....	24
FIGURA 3. Localización del Municipio de Cuautitlan Izcalli.....	33

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. Coeficiente de ajuste "C" para estimar la Evapotranspiración potencial como función de la evaporación medida en tanque tipo "A".....	21
CUADRO 2. Duración de Cada Etapa Fenológica y Temperatura Media, Precipitación, Evapotranspiración y Diferencia de Precipitación y Evapotranspiración en Cada una de ellas, por Tratamiento, del Cultivo de Frijol, Ciclo P-V, 1997.....	95
CUADRO 3. Requerimientos Térmicos del Cultivo de Frijol, por Tratamiento y Etapa Fenológica. P-V, 1997.....	98
CUADRO 4. Acumulación Total de U.T., para la Aparición de Cada Fase Fenológica por Tratamiento, del Cultivo de Frijol, Ciclo P-V, 1997.....	99

INDICE DE ANEXOS

	PAGINA
ANEXO 1. Concentrado de datos climáticos promedio mensual de la Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, México.	87
ANEXO 2. Horas Frío Calculadas por el Método de Weinberger.....	91
ANEXO 3. Horas Frío Calculadas por el Método de Utha.o.Richardson.....	92
ANEXO 4. Trabajo Realizado en la Zona de Estudio en el Cultivo de Frijol.....	95

RESUMEN

iiii

El presente estudio se realizó con datos diarios, de 10 años de recopilación de la Estación Meteorológica Almaraz, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM; ubicada a los 90° 11' 42" de longitud Oeste y 19° 41' 35" de latitud Norte, a 2,252 msnm; en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de México; con el objetivo de realizar la caracterización agroclimática de la zona de influencia de dicha estación. Por varios métodos estadísticos se determinaron los valores promedio mensuales y anuales, así como, el número y porcentaje de días con fenómenos meteorológicos; además de los valores de las principales variables agroclimáticas, como probabilidad de ocurrencia de helada a un 20% de probabilidad, con los métodos de Da Mota, Normal y Pajaro Ortiz, este último con una probabilidad de 12% y 11.7%, para el caso de última y primera helada, respectivamente. En el caso de la lluvia con un 70% de probabilidad se analizó por medio de la Distribución Acumulada y Normal. Las horas frío se obtuvieron por el método de Richarson; (UTHA), Weinberger y Da Mota.

La constante térmica se determinó con el método residual, para los ciclos Primavera-Verano, Otoño-Invierno y promedio anual, con tres temperaturas base: 4.5°C, 6°C y 10°C; por el método de la FAO se obtuvo la estación de crecimiento de la zona y se estableció el tipo de clima empleando la clasificación de Köppen modificada por García.

Los resultados obtenidos muestran que el comportamiento de la temperatura al abrigo promedio es de 14.8°C, mínima de 6.3°C y máxima de 23.1°C; por lo que respecta a la temperatura mínima al intemperie, se tiene que a menor altura del

suelo se presentan las más bajas temperaturas, teniendo los siguientes promedios anuales: 3.0°C a 15cm; 3.5°C a 33cm; 3.7°C a 55cm; 4.1°C a 80cm y 4.1°C a 100cm. El comportamiento de la evaporación es de 1,440.24 mm anuales una precipitación promedio anual de 609.2 mm. En tanto al comportamiento del viento, la velocidad promedio anual a 30cm es de 54.7 Km/día; 124.4 Km/día a 2mts; 151.6 Km/día a 4mts y 171.8 Km/día a 6mts. La dirección dominante es del NE con 49.7% de frecuencia al año y el Sur con 1.5% es la menor frecuencia.

El grado de nubosidad promedio durante el año es de 4 Octas, en cuanto a la radiación solar promedio anual es de 470.67 cal/cm²/día, con un máximo valor de 537.97 cal/cm²/día y un mínimo de 388.18 cal/cm²/día, así mismo, la insolación promedio anual es de 7.78 hrs.

La temperatura del suelo evaluada a 3 profundidades, presentó un promedio anual de 16.3°C a 10cm, 16.9°C a 20cm y 16.2°C a 50cm. La presión atmosférica promedio anual es de 584.8 mmHg.

La humedad atmosférica tiene un promedio anual del 67.7%. El número de días con granizo promedio es de 3.7 al año; 25 días con helada; con tormenta eléctrica son 44.5 días; 79.7 días con niebla; 227.9 días con rocío; lluvia apreciable total en el año es de 111.1 días y con lluvia inapreciable se tienen 12.8 días; el grado de nubosidad con 100.6 días despejados, 114.9 días nublados y 151.3 días medio nublados. El valor total promedio anual de la ETP por el método del tanque de evaporación es de 1080.2 mm, y por el método de Thornthwaite es de 715.3 mm anual. Las horas frío acumuladas promedio en la zona son de 607 horas.

Con los datos anteriores se obtuvo que el inicio de la estación de crecimiento se ubica en la primera quincena de Mayo y el fin de ella en la primera quincena de Octubre, con un total de 203 días libres de helada al año.

La constante térmica para el ciclo primavera - verano con una temperatura base de 4.5°C, 6°C y 10°C fue de 2,156.54 U.T., 1,899.28 U.T. y 1,734.04 U.T. respectivamente, mientras para el ciclo otoño - invierno fue de 1,537.69, 1284.2 y 582.592 U.T.

Así, el clima de la zona es templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco largo, con un porcentaje de lluvia invernal de 6.17%, poca oscilación de temperatura, el mes más caliente es Junio y sin sequía intraestival.

I. INTRODUCCION

La predicción del clima en la actividad agrícola y ganadera es de suma importancia, para el mejoramiento genético de plantas y animales así como su rendimiento no obstante de ello, algunos investigadores se han preocupado por estudiar las relaciones de los elementos del clima y su influencia en la producción agropecuaria.

En lo general existen pocos estudios agroclimáticos, que se destinan para la planeación agrícola por lo que de ahí nace la inquietud de realizar una caracterización agroclimática de la zona de influencia de la Estación Meteorológica "Almaraz" de la F.E.S.-Cuautitlán. Con datos del periodo de 10 años, Julio 1988 - Julio 1997

La importancia de la Agrometeorología es relevante para una zona por las ventajas que tendría para el productor, su utilización en la planeación de la producción, esto es, tomando medidas necesarias en caso de heladas, realizando calendarios para las labores de cultivo, así como para atenuar el efecto de fuertes granizadas, vientos, lluvias excesivas, predicción de problemas fitosanitarios así como el manejo del riego, entre otros.

En cuanto a las predicciones agroclimáticas son de suma importancia para la planeación de la agricultura, realizándose la definición de áreas de uso de tierras para su apertura, las de limitaciones de los cultivos a introducir, la estratificación de áreas por riesgos climatológicos y la adaptación de cultivos.

Las predicciones meteorológicas juegan un papel importante dentro de la agricultura, las cuales ayuda a contrarrestar las adversidades atmosféricas que dañan a la producción, el cálculo de las probabilidades de que ocurran en un lugar eventos desfavorables para un cultivo, ofrece soluciones más firmes, por lo tanto, la agricultura de un lugar será más racional cuanto más se apeguen los eventos atmosféricos que la caracterizan; por lo que es necesario tener datos climáticos y una serie de observaciones meteorológicas que en lo posible sean de 10, 30 ó 40 años.

Las estadísticas tomadas para el presente trabajo, incluyeron datos de 10 años de observaciones meteorológicas diarias, considerando los valores promedio para calcular el periodo libre de heladas, la temperatura media del mes más cálido, y la del mes más frío, la precipitación media anual, la presión atmosférica, días con los principales fenómenos meteorológicos, entre otros, para así obtener los valores promedio de cada mes, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general.

a) Caracterizar agroclimáticamente a la zona de influencia de la Estación Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.

1.1.2. Objetivos particulares.

a) Evaluar el comportamiento de las variables climáticas que en la Estación Meteorológica Almaraz se han recopilado en un periodo de 10 años, Julio de 1987-Julio de 1997.

b) Determinar los valores promedio de Temperatura, Evaporación, Precipitación, Temperatura del Suelo, Nubosidad, Presión Atmosférica, Humedad Relativa, Viento y Número de Días con los principales meteoros para caracterizar el área de influencia de la Estación Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.

c) Establecer los valores promedio de las principales variables agroclimáticas, en un periodo de 10 años.

II. REVISION DE LITERATURA.

2.1. Definición de Agroclimatología y Agrometeorología.

El estudio de la Agrometeorología y Agroclimatología es de suma importancia para el productor, en la planeación de actividades operativas de los cultivos, por lo que a continuación se mencionan las definiciones de algunos autores:

Romo (1989), define a la Agroclimatología como la ciencia que se encarga de estudiar las leyes y principios que relacionan los elementos y factores del clima con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas cultivadas.

El mismo autor define a la Agrometeorología como la ciencia que se encarga de estudiar las leyes y principios que relacionan los fenómenos meteorológicos con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas cultivadas.

En 1951 en el encuentro que llevaron a cabo los agrometeorólogos en Moscú, se definió a la Agrometeorología como una ciencia investigadora de las condiciones meteorológicas, climatológicas e hidrológicas la cual debe ser significativa para la agricultura, debido a sus interacciones con los objetivos y procesos de la producción agrícola, (Mavi, 1986).

Para el año de 1993, Villalpando, las define y separa como actividades operativas y de planeación.

Dentro de la Agrometeorología engloba a las actividades operativas son:

- a) Programación de fechas de siembra.
- b) Pronóstico de fases fenológicas.
- c) Pronóstico de plagas y enfermedades.
- d) Pronóstico de heladas.
- e) Manejo de maquinaria para prácticas agrícolas.
- f) Manejo de ambientes controlados, e invernaderos.

Y en las actividades de planeación que corresponde a la Agroclimatología da puntos a seguir:

- a) Definición de áreas de uso de la tierra.
- b) Zonificación de cultivos.
- c) Adaptación de cultivos y animales.
- d) Manejo de praderas y animales.

La Organización Meteorológica Mundial, OMM, en su guía de prácticas agrometeorológicas, establece que la meteorología agrícola trata de la acción mutua que se ejerce entre los factores meteorológicos e hidrológicos, por una parte, y la agricultura en su más amplio sentido, incluida la horticultura, la ganadería y la silvicultura, por otra. Su objeto es detectar y definir dichos efectos para después aplicar los conocimientos que se tienen de la atmósfera a los aspectos prácticos de la agricultura. Su campo de interés se extiende desde la capa del suelo, donde se hallan las más profundas raíces de las plantas y árboles, pasando por la capa de aire próximo al suelo en la que los cultivos, árboles y animales que se desarrollan, hasta alcanzar los más elevados niveles de la atmósfera que interesa a la aerobiología, siendo esta última capa de gran interés para el transporte de semillas, esporas, polen e insectos.

Además del clima natural y sus variaciones locales, la meteorología agrícola trata de las modificaciones del medio ambiente, como las producidas por las, barreras rompevientos de protección, riego y medidas contra heladas, de las condiciones climáticas durante el almacenamiento, tanto en el interior como sobre el terreno, de las condiciones del ganado y en los edificios agrícolas y por último en el interior de los vehículos durante el transporte de los productos, (OMM, 1982).

Para Ayllón, (1988), la meteorología agrícola, se aplica en la selección de cultivos acordes a los diferentes tipos de climas, estudia la capa superficial del aire comprendida desde el suelo hasta los primeros metros de altura, o sea, el espacio aéreo en que viven las plantas, y la relación del tiempo atmosférico con las cosechas, inundaciones y plagas.

De lo anteriormente expuesto es imprescindible realizar estudios agroclimáticos y agrometeorológicos que permitan conocer la relación de los cultivos con el clima; que entre otras cosas ayuden a evitar pérdidas de cosechas, adecuar los cultivos y sus variedades a zonas con clima óptimo, o bien, realizar las labores agrícolas de tal manera que no se arriesgue al cultivo a factores climáticos negativos, (Gómez, 1981).

2.2 Aplicaciones de la Agrometeorología y Agroclimatología.

Por el nulo contacto de la red meteorológica con agricultores extensivos o de zonas distantes, poco se puede esperar de las predicciones meteorológicas para resolver sus problemas; sin embargo, las estadísticas climatológicas dan una base firme para encarar en forma racional, la agricultura de un lugar.

Romo, 1989, señala aspectos importantes, en particular cuando se abocan a algunas aplicaciones en la producción agrícola, teniendo así a la Agrometeorología en la:

- a) Previsión y combate de heladas.
- b) Predicción en la aparición de plagas y enfermedades.
- c) Calendarización en base a las condiciones atmosféricas y biológicas, de los momentos oportunos de preparación de tierras, laboreo, aplicación de agroquímicos y cosecha.
- d) Prevenir a los agricultores del peligro de granizadas, vientos, huracanes y lluvias excesivas.
- e) Aviso de incendios en los bosques.
- f) Control de insectos y enfermedades.
- g) Momento oportuno del riego.

Además señala algunas aplicaciones de la Agroclimatología en el sector primario:

- a) Apertura racional de nuevas zonas a la agricultura y la ganadería.
- b) Zonificación de cultivos.
- c) Introducción de nuevas especies y variedades.
- d) Determinación de las adversidades climáticas para cada cultivo en base a su fenología, con el objeto de tomar medidas que tiendan a eliminarlos o atenuarlos.
- e) Proyección de los calendarios de siembra y cosecha.
- f) Trazo y diseño y operación de sistemas de riego.
- g) Modificaciones microclimáticas, cortinas rompevientos e invernaderos.

- h) Predicción de rendimientos.
- i) Transporte y almacenamiento de productos agrícolas.
- j) Planeación del aprovechamiento y conservación del suelo.
- k) Determinación de las necesidades y características bioclimáticas y ecofisiológicas de los cultivos.
- l) Planificar la explotación de agostaderos, bosques y selvas así como programas de reforestación.

La sola enunciación de los puntos que anteceden pone en evidencia que el cultivo racional del suelo es posible cuando se conoce la modalidad climática del lugar, para lo cual, previamente, es ventajoso saber cómo se observan y miden los diversos fenómenos atmosféricos: viento, insolación, lluvia, rocío, entre otros, según las enseñanzas de la meteorología, (Mavi, 1986).

2.3 Descripción de la Estación Almaraz.

De acuerdo con lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial, las estaciones meteorológicas se clasifican de acuerdo con su finalidad, a la información que suministran, al nivel al cual se refiere la observación y el lugar de observación.

De acuerdo a su finalidad las estaciones meteorológicas pueden clasificarse en:

- A) Sinópticas.
- B) Climatológicas.
- C) Agrometeorológicas.
- D) Especiales.
- E) Aeronáuticas.
- F) Satélites.

Y según la información que suministran, el número de instrumentos establecidos y de la cantidad de datos que se registran, las estaciones meteorológicas se clasifican como:

- a) Principales.
- b) Ordinarias.
- c) Auxiliares.
 - c1) Transitorias.
 - c2) Operacionales.

- Por su nivel de observación:

- a) Superficie.
- b) Altitud.

- Por el lugar de Observación:

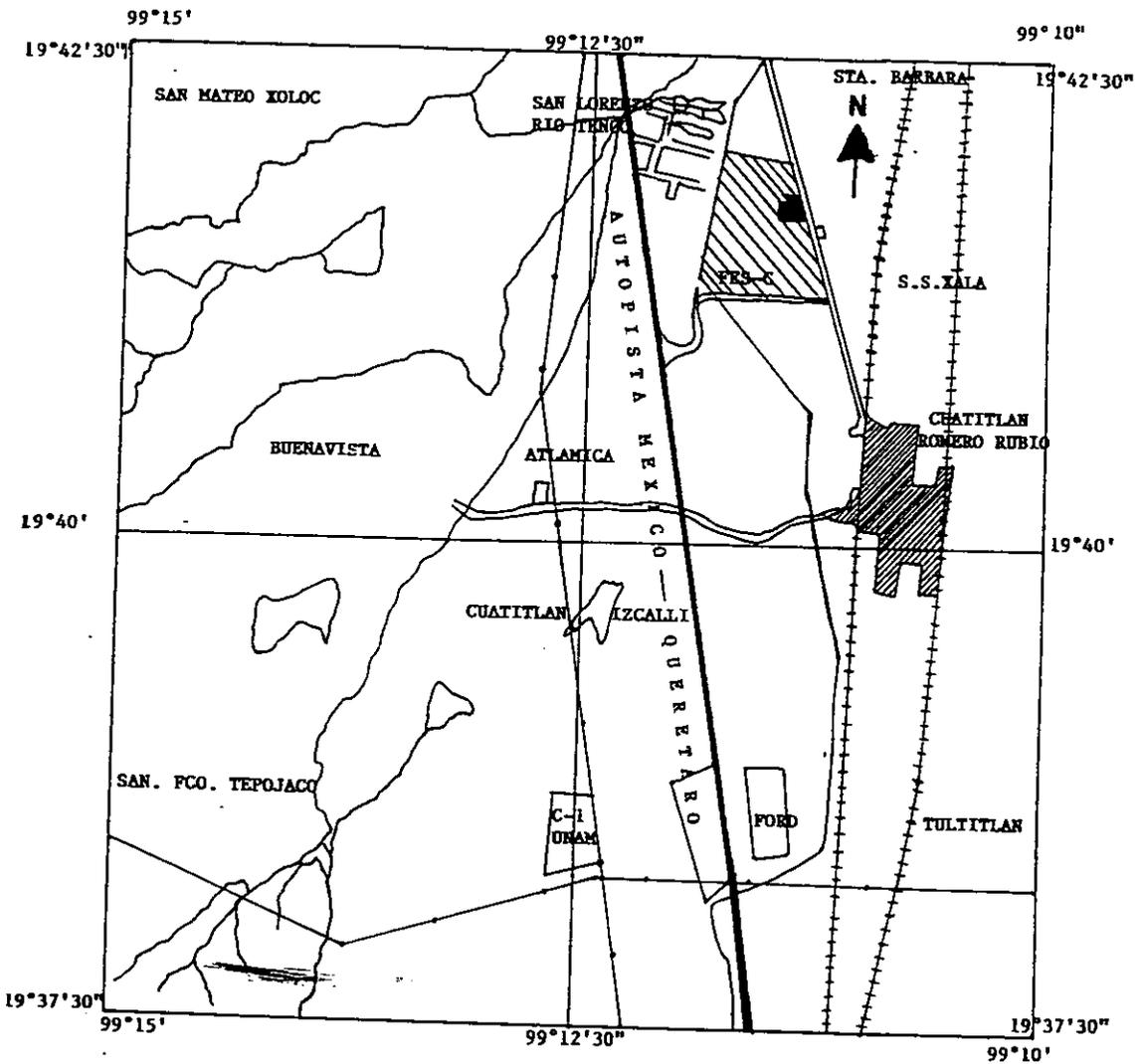
- a) Terrestres.
- b) Marítimas.
- c) Aéreas.

La Estación Meteorológica Almaraz por no pertenecer y contar con un registro en el Servicio Meteorológico Nacional y la OMM; no puede señalarse como cualquiera de las estaciones antes señaladas; pero de acuerdo al reporte técnico de la OMM, la Estación Almaraz se puede ubicar dentro de las estaciones ordinarias, de carácter climatológico, de superficie y terrestre que son aquellas cuya información define las condiciones climatológicas, locales o características especiales de uno o varios elementos meteorológicos. Su tendencia general la definen las estaciones

principales, con las cuales se establecen correlaciones de manera que sea posible conocer las variaciones interzonales.

La Estación Meteorológica Almaraz se ubica en la parcela No 14 del campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, en una superficie de 152 m² y orientada al Norte, en la Longitud Oeste de 99° 11' 42" y Latitud Norte 19° 41' 35", a una altura de 2,252 m.s.n.m; figura 1.

FIG. 1 LOCALIZACION DE LA FES - CUATITLAN, UNAM, RANCHO ALMARAZ. CUATITLAN. EDO DE MEXICO



INGENIERIA AGRICOLA.

2.3.1. Antecedentes de la Instalación y Manejo.

En la Estación Meteorológica Almaraz, perteneciente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, se han estado realizando diversos trabajos con carácter didáctico y de investigación en el área de climatología agrícola que ofrecen un valioso soporte informativo y técnico, para el personal interesado en el área.

Creada hace más de 15 años, en 1981, la estación meteorológica de la FES-C tiene también entre sus objetivos, conocer el comportamiento y los factores que originan los fenómenos climáticos, para que a través del manejo de éstas y otras variables se obtenga información precisa que permita coadyuvar en el desarrollo de proyectos del área de Ingeniería Agrícola, Veterinaria y otras áreas afines, apoyado esto con un banco de información climática que abarca el periodo de Julio de 1987 hasta la fecha.

La estación Almaraz facilita normalmente y de manera simultánea la información para su uso en investigaciones y apoyo a la docencia, así como a Instituciones Gubernamentales y Privadas de la zona de influencia; estando equipada para tomar datos en superficie en un rango de 0.5 mts de profundidad del suelo, temperatura, hasta 6 mts de altura, recorrido del viento, viento y siendo el área de influencia hasta 8 Km a la redonda de la estación, donde las condiciones de topografía y vegetación son similares, considerándose a la información climática de la estación como representativa del lugar. Ordinariamente se recaban datos cada 3 horas para su banco de datos. El personal que labora en la estación Almaizar posee nivel de Licenciatura y además estudiantes de Servicio Social de la carrera de Ingeniería Agrícola.

2.3.2. Instrumental con que Cuenta la Estación.

La estación Almaraz cuenta con diferentes instrumentos de lectura directa y de registro. Así mismo se llevan a cabo observaciones visuales de fenómenos meteorológicas que se presentan durante el día. Este instrumental se ha sujeto a revisiones y calibraciones periódicas para asegurar la confiabilidad de la información que se obtiene, además de estar de manera continua la comparación del comportamiento del instrumental de lectura directa con el de registro para mantener la uniformidad de la información que de ellos se obtiene.

A continuación se enlistan los instrumentos y unidades de medición para los elementos del clima que se registran en la estación.

Para el registro de la temperatura expresada en grados celsius, se cuenta con:

- * Termómetro de mínima modelo Rutherford.
- * Termómetro de máxima modelo Negretti.
- * Termómetro de máxima y mínima tipo Six.
- * Termómetro de mercurio para el suelo.
- * Termógrafo.

Para la humedad atmosférica expresada en porcentaje se cuenta con:

- * Psicrómetro de onda.
- * Psicrómetro de ventilación natural.
- * Higrógrafo.

En el caso de la Presión Atmosférica, que es medida en milímetros de mercurio mmHg se tiene:

- * Barómetro de mercurio tipo Fortín.
- * Barógrafo.

La Precipitación se mide en milímetros y se cuenta con:

- * Pluviómetro.
- * Pluviógrafo.

Para la Evaporación que se mide en mm se tiene:

- * Evaporógrafo.
- * Evaporímetro o Tanque de Evaporación.

El recorrido del viento se mide en mts/día y se registra con:

- * Anemógrafos a 2, 4 y a 6 metros de altura.
- * Anemómetro totalizador de 30 cm.
- * Velela para determinar su dirección de acuerdo a la rosa de los vientos.

La Insolación se mide en horas y minutos, y se tiene para ello un Heliógrafo tipo Campbell-Stokes; y para la Radiación Solar, en $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$, se cuenta con un Actinógrafo tipo Robiszch.

2.4. Métodos para el Cálculo de las Variables Agroclimáticas del Presente Estudio.

A continuación se mencionan los métodos empleados para obtener los valores de algunas variables agroclimáticas evaluadas en el presente trabajo.

2.4.1. Cálculo de Unidades Térmicas.

Romo (1989), define a las Unidades Térmicas, U.T., como la cantidad de temperatura acumulada que necesita una especie vegetal para completar su ciclo vegetativo; así mismo todas las plantas deben "consumir" o "acumular" determinada cantidad de calor medida en grados-día o unidades térmicas desde la germinación hasta la madurez.

Las unidades térmicas de una especie cultivada en diferentes regiones climáticas es la misma, sólo que serán cubiertas en diferentes cantidades de tiempo dependiendo de los regímenes térmicos que se presentan.

Los métodos para el cálculo de Unidades Térmicas, U.T., son:

- 1) Método directo.
- 2) Método residual.
- 3) Método exponencial.
- 4) Método termofisiológico.
- 5) Método de los triángulos y de los trapecios.
- 6) Método de Thom.

Para el cálculo de unidades térmicas en la presente investigación se utilizó el método residual que consiste en lo siguiente:

**** Método Residual.**

Los parámetros que se requieren para calcular unidades térmicas por este método son temperaturas máximas, mínimas y una temperatura base que depende de cada especie vegetal y debajo de la cual el crecimiento y desarrollo se inhiben.

La acumulación de U.T. en este método, se supone que ocurre en forma lineal, aunque esto no es estrictamente cierto, sin embargo, la aproximación lineal ha dado buenos resultados en la práctica. Para calcular las U.T. por este método, se emplea la siguiente ecuación:

$$U.T. = \sum_{j=i}^n \left(\frac{T \text{ máx.} + T \text{ min.}}{2} \right) - T \text{ base}$$

Donde:

- U.T. = Unidades Térmicas
- T. máx. = Temperatura máxima
- T. min. = Temperatura mínima
- T. base = Temperatura base
- i = Días, decenas, etc..... 1,2,3.....n.

Así se pueden obtener las U.T. por cada etapa fenológica y el total que en el ciclo del cultivo se acumulen.

2.4.2. Cálculo de la Evapotranspiración Potencial.

Ortiz (1987) utilizó el significado que la OMM publicó en 1966 el cual menciona que.

* E_v = Evaporación potencial, y que es la cantidad de vapor de agua que puede ser emitida desde una superficie libre con agua.

* E_t = Evapotranspiración, es la suma de las cantidades de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas.

Trava (1976), citado por Aguilera y Martínez, (1990), mencionó que este proceso requiere el intercambio de aproximadamente 600 calorías por gramo de agua que se evapora. Los factores que afectan la evaporación de una superficie libre de agua son principalmente climáticos y la naturaleza de la superficie evaporante.

Evapotranspiración Potencial, ETP, es la máxima cantidad capaz de ser pérdida por una capa continua de vegetación que cubre todo el terreno, cuando es ilimitada la cantidad de agua suministrada al suelo.

La estimación de la Evapotranspiración se clasifica en métodos directos e indirectos:

Los métodos directos, proporcionan directamente el consumo total de agua requerida, utilizando para ello aparatos e instrumentos para su estimación.

Estos son aplicables en zonas donde hay una agricultura establecida y proporciona valores cercanos a la realidad y sirven para ajustar los parámetros de los métodos empíricos; los métodos directos son:

- a) Gravimétrico
- b) Lisimétrico
- c) Evapotranspirométrico de Thornthwaite.
- d) Atmómetros.

En los Métodos Indirectos, se estima el consumo de agua a través de todo el ciclo vegetativo, mediante la utilización de fórmulas empíricas.

Los métodos indirectos están basados en datos climáticos; para la estimación de la ETP o ET se utilizan datos históricos, meteorológicos y de cultivo. Dichas predicciones se basan en datos esperados y la exactitud de las estimaciones depende fundamentalmente de las ecuaciones que son utilizadas para describir las leyes de la física que gobiernan los procesos y de la confiabilidad de los datos climatológicos y del cultivo.

Existen métodos propuestos por varios investigadores que de acuerdo con los factores climáticos, son considerados en:

- a) Métodos de radiación
- b) Métodos basados en la temperatura
- c) Métodos de humedad relativa

Para el cálculo de la ETP en la estación Almaraz se utilizó el método de Thornthwaite y el método del Tanque.

El método de Thornthwaite para la estimación de la ETP, es probablemente el más usado a nivel mundial, debido a que exige sólo el uso de una variable meteorológica, que es la temperatura; la fórmula empleada es la siguiente:

$$ETP = 1.6 (T/I)^a$$

Donde:

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

T = Temperatura media del aire en °C

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

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

$$a = 0.000000675 I^3 + 0.0000771 I^2 + 0.0792 I + 0.49239$$

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

$$ETP^0 = ETP \times f$$

En el método basado en dispositivo evaporimétrico, Tanque de Evaporación, Chavez (1973), citado por Aguilera y Martínez, 1990, mencionó que frecuentemente se encuentra estrecha proporcionalidad entre la evaporación, medida por ejemplo en un Evaporímetro estándar, y la evapotranspiración de un cultivo bien provisto de agua.

Esto se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son originados por las mismas causas y factores. Son fenómenos cualitativamente semejantes, pero no se comportan de ese modo en forma cuantitativa. Los efectos del clima en la vegetación son cualitativamente diferentes que en un evaporómetro y el factor de proporcionalidad entre ambos varía al cambiar el tipo de evaporómetro. Además Chavez (1973), realizó trabajos en Arizona que, muestran los coeficientes de ajustes de la fórmula que se usan para la estimación de la evaporación potencial, como función de la evaporación medida en tanque. Dicha fórmula empleada es:

$$ETP = C * E_v$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

E_v = Evaporación medida en tanque.

C = Coeficiente de ajuste, dimensional.

El coeficiente C depende de factores como el tamaño, la forma, el color y el estado de conservación del tanque; así como la turbiedad y profundidad del agua.

Según Palacios (1977), citado por Aguilera y Martínez, 1990, este tipo de tanque ha resuelto parte de las variaciones o inconsistencias del coeficiente C, sin embargo, uno de los problemas mayores en la estimación de C, es la ubicación del tanque y el medio que lo rodea, como se muestra en el cuadro 1.

CUADRO 1. Coeficiente de ajuste "C" para estimar la evaporación potencial como función de la evaporación medida en tanque tipo "A"

TANQUE		TANQUE RODEADO DE PASTO VERDE		
HUM.REL. % PROMEDIO		BAJA < 40	MEDIA 40-70	ALTA > 70
VIENTO Km/día	VIENTO SUP. DISTANCIA A LA VEGETA- CION m			
	0	0.55	0.65	0.75
LIGERO < 175	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.70	0.80	0.85
	1000	0.75	0.85	0.85
	0	0.50	0.60	0.65
MODERADO 175-425	10	0.60	0.70	0.75
	100	0.65	0.75	0.80
	1000	0.70	0.80	0.80
	0	0.45	0.45	0.50
FUERTE 425-700	10	0.55	0.55	0.60
	100	0.60	0.60	0.65
	1000	0.65	0.60	0.65
	0	0.40	0.45	0.50
MUY FUERTE > 700	10	0.45	0.55	0.60
	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.55	0.60	0.65

FUENTE: PALACIOS (1977)

CUADRO 1. continua

TANQUE		TANQUE RODEADO DE TIERRA SECA			
HUM.REL. % PROMEDIO		BAJA < 40	MEDIA 40-70	ALTA > 70	
VIENTO Km/día	VIENTO SUP. DISTANCIA A LA TIERRA SECA m				
		0	0.70	0.80	0.85
LIGERO < 175		10	0.60	0.70	0.80
		100	0.55	0.65	0.75
		1000	0.50	0.60	0.70
		0	0.65	0.75	0.80
MODERADO 175-425		10	0.55	0.65	0.70
		100	0.50	0.60	0.65
		1000	0.45	0.55	0.60
		0	0.60	0.65	0.70
FUERTE 425-700		10	0.50	0.55	0.65
		100	0.45	0.50	0.60
		1000	0.40	0.45	0.55
		0	0.50	0.60	0.65
MUY FUERTE > 700		10	0.45	0.50	0.55
		100	0.40	0.45	0.50
		1000	0.35	0.40	0.45

FUENTE: PALACIOS(1977)

2.4.3. Calculo de la Estación de Crecimiento.

La estación de crecimiento de una zona es considerada como el número de días que en un año o ciclo agrícola existe la disponibilidad de agua, así como también temperaturas óptimas para el desarrollo de los cultivos establecidos o los que se vayan a establecer, (FAO, 1978).

De ahí la importancia del cálculo del periodo de crecimiento que se basa en un modelo simple de balance de agua, comparando la precipitación con la evapotranspiración potencial, ETP.

El periodo de crecimiento por disponibilidad de agua, consta de varios elementos los cuales se pueden observar en la figura 2, y estos son:

a) Inicio del periodo de crecimiento.

El inicio del periodo de crecimiento esta basado en el comienzo de la estación lluviosa. Especificamente se obtiene cuando $P=0.5$ ETP. El valor de 0.5 ETP no es casual y fue determinado considerando las necesidades de agua para la germinación de cultivos y cuando P es igual o mayor a 0.5 de la ETP, se cumple lo anterior.

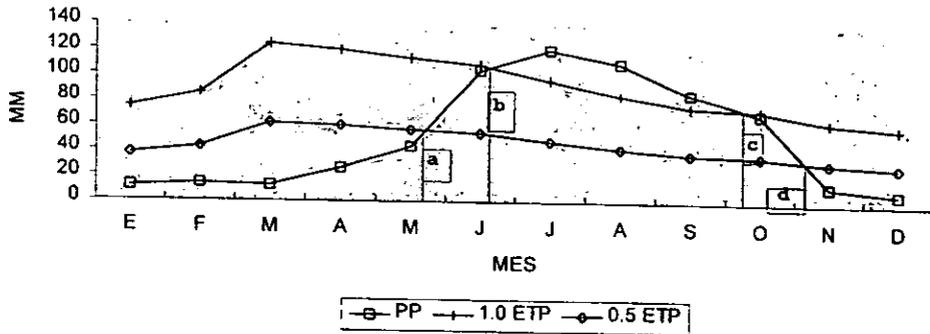
b) Periodo húmedo.

Un periodo de crecimiento normal se define cuando existe un periodo húmedo. El periodo húmedo es el intervalo de tiempo en el cual la precipitación es mayor a la evapotranspiración potencial, $P>ETP$.

c) Terminación de la estación lluviosa. La estación lluviosa termina cuando la $P = 0.5$ ETP después del periodo húmedo.

d) Terminación del periodo de crecimiento, la terminación del periodo de crecimiento coincide con la terminación de la estación de lluvias, $p = 0.5$ ETP.

FIGURA 2. COMPONENTES DE LA ESTACION DE CRECIMIENTO



a= Inicio del periodo de crecimiento.

b= Inicio del periodo húmedo.

c= Fin del periodo húmedo.

d= Fin del periodo de crecimiento.

El periodo de crecimiento es determinado por la disponibilidad de temperatura ya que debe establecerse en el periodo comprendido con agua disponible para el desarrollo del cultivo.

La FAO (1978), consideró a la temperatura media diaria, 24 horas, y Ortiz en 1981 para México, a 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 periodo con temperaturas inferiores a 6.5°C, es restado al periodo con disponibilidad de agua.

En el presente trabajo se consideró al periodo de crecimiento por temperatura como el Periodo Libre de Heladas, PLH, al 20% de probabilidad, estimado por varios métodos.

2.4.4. Cálculo de Horas Frío.

Romo (1989), señala que las bajas temperaturas que presentan las plantas es frecuentemente medido en "Horas Frío", sobre todo en frutales caducifolios.

Por lo tanto se dice que una hora frío es aquella en la cual la temperatura del aire es igual o inferior a 7°C. La cantidad de horas frío que normalmente se acumulan en una localidad durante el invierno, consiste en contar las horas durante las cuales la temperatura ambiente fue de 7°C o menor.

Romo en (1989) cita, que los métodos directos, termógrafo y huerto fenológico, no siempre podrán ser usados debido a las condiciones especiales del país, en cambio, los métodos indirectos que consisten en estimaciones de las horas frío en función de los datos de la temperatura máxima, mínima y media, se muestran más accesibles y sólo restaría seleccionar los métodos que mejor se adaptaran a las condiciones de estudio. Entre ellos se puede señalar a los siguientes.

a) Métodos directos

- * Método del huerto frutícola.
- * Método del termógrafo.

b) Métodos indirectos

- * Método de F.S. Da Mota.
- * Método del Dr. Weinberger.
- * Método de Richarson, UTHA.
- * Método de P. Crosa-Raynaud.
- * Método del Dr. R.H. Sharpe.

Para el cálculo de horas frío en la estación meteorológica Almaraz fueron utilizados los métodos de Da Mota, Dr. Weinberger y UTHA.

El de F.S. Da Mota se ubica dentro de los métodos indirectos y es el que mejores resultados ha dado en México. Utiliza una fórmula obtenida de un estudio de correlación entre las temperaturas media mensual, para los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero.

$$H_f = 485.1 - 28.52\bar{X}$$

Donde:

H_f = Horas frío mensuales

\bar{X} = Temperatura media mensual

El de Weinberger se basa en un estudio de correlación, entre el número de horas frío y el promedio de temperatura media de Diciembre y Enero, anexo 2. En esas tablas basta con comparar la temperatura media combinada de éstas, 2 meses, con los valores calculados para obtener una estimación del número de horas frío acumuladas.

Método de Richardson, UTHA. El modelo de Richardson, conocido ampliamente como el modelo de UTHA, marco un hito en la evaluación del descanso invernal. Todos los sistemas anteriores habían trabajado sólo en el plano de la temperatura, por medio de umbrales, un umbral frío y posteriormente un umbral calor, el modelo de Unidades Frío utiliza un concepto de efecto que cambia a través de la temperatura, es decir, ya no es estática la evaluación. La incorporación del plano efecto de la temperatura a través de las unidades permite una observación más real de la actividad del descanso, (Villalpando, 1991).

Se considera la temperatura máxima y mínima del día de los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero y por medio de tablas que permiten hacer el cálculo con ajuste regular, anexo 3.

2.4.5. Cálculo de la Probabilidad de Lluvia.

La probabilidad de agua precipitada en la agricultura, se define como la cantidad de lluvia en un periodo breve o largo; así como la frecuencia que es captada ya sea en un volumen superior o inferior a ella.

Existen métodos para el cálculo de probabilidad de lluvia y a continuación se en listan algunos:

- a) Distribución acumulada.
- b) Distribución normal.
- c) Distribución de Galton.
- d) Distribución Gama-Incompleta.

Para el cálculo de probabilidad de lluvia en el presente estudio se utilizó la distribución acumulada y normal, que se mencionan a continuación.

*) Distribución acumulada.

Se obtiene la probabilidad de ocurrencia de lluvia mediante la fórmula siguiente:

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

Donde:

N = Número de orden.

n = Número de años.

F = Probabilidad de ocurrencia de lluvia mayor o igual a un valor establecido, P (X ≥ X₀).

**) Distribución Normal.

La distribución normal es una de las funciones más sencillas que se utilizan para deducir la probabilidad de lluvia. No se describirá aquí la teoría de la distribución normal. Las características de esta son el cálculo de la media y la desviación estándar de los datos para calcular los valores de Z.

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\delta}$$

Donde:

X = Dato ordenado.

\bar{X} = Media aritmética.

δ = Desviación estándar

2.4.6. Cálculo de la Probabilidad de Helada.

El periodo libre de heladas, PLH, para un año dado, está determinado por el número de días que transcurren entre la helada más tardía ó última y la helada más temprana o primera.

Se consideran varios años y en cada uno de ellos se obtiene su periodo libre de heladas y posteriormente se promedian los valores obtenidos, así resulta el promedio libre de heladas.

En caso de que se presenten años sin heladas aparecen periodos libres de heladas de más de 365 días, lo que no representa ningún inconveniente si al efectuar la división se hace siempre entre el número total de años estudiados, aún cuando sólo hubiera helado en una parte de ellos.

La probabilidad de ocurrencia de una helada, 0°C o menos, después de una determinada fecha en la primavera o antes de una determinada fecha en el otoño, esta dada por la fórmula consignada por Da Mota, (1977) y que se enuncia a continuación:

$$P = C * I$$

Donde:

$$I = \frac{m + 1 - x}{m + 1}$$

$$C = m / n$$

Donde:

P = Probabilidad de ocurrencia de una helada.

C = Constante.

I = Índice de cálculo.

n = Número de años estudiados.

m = Número de años con heladas.

x = Número de orden de la fecha de ocurrencia ordenando las fechas de ocurrencia en orden creciente.

Pájaro y Ortiz, (1988), citado por Albanil, (1995), mencionan que disponiendo de información sobre el número de días con heladas en el mes, es posible emplear este método el cual consiste en graficar en el eje X a los meses del año y en el eje Y al número de días con heladas totales los que se acumulan al final de cada mes, de tal forma que es posible construir la gráfica respectiva.

Entrando con dos días con heladas para el primer semestre del año y con 0.8 días con helada para el segundo semestre y al interceptar la gráfica construida, la ordenada de la intercepción corresponde a la fecha en las cuales se tienen probabilidades de 12.1 % y 11.7 % de ocurrencia de helada, respectivamente.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1. Descripción y Ubicación Geográfica del Lugar de Estudio.

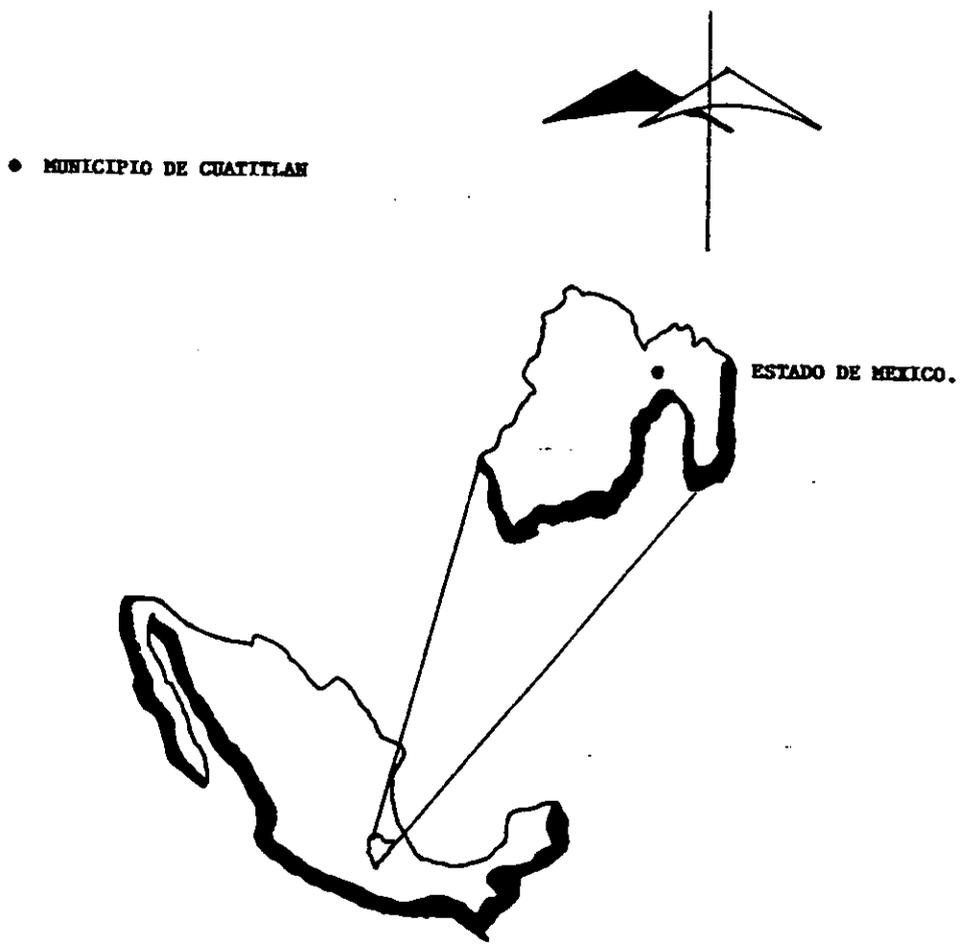
El Municipio de Cuautitlán está situado dentro de la provincia geológica del eje Neovolcánico, donde las elevaciones que se pueden observar al Suroeste y Oeste del municipio forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte Alto y Monte Bajo. Al suroeste, la sierra de Guadalupe separa el Valle de Cuautitlán del Valle de Tlalnepantla.

Así mismo las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, FES-C, se ubica dentro del Municipio de Cuautitlán Izcalli, al Noroeste de la Cuenca del Valle de México y al Oeste de la cabecera del municipio de Cuautitlán de Romero Rubio, Estado de México.

Dentro de las instalaciones de la FES-Cuautitlán, se ubica la estación meteorológica Almaraz y tomando como referencias las coordenadas de la misma, la FES-C en su campo 4 se localiza a los $99^{\circ} 11' 42''$ de longitud Oeste y $19^{\circ} 41' 35''$ de latitud Norte.

Geográficamente se encuentra a 2.5 Km al Noroeste de la cabecera del municipio de Cuautitlán de Romero Rubio; colindando así al sur con este municipio; al sureste con el municipio de Melchor Ocampo; al Norte con el municipio de Teoloyucan y al Oeste con el municipio de Tepotzotlán, Figura 3.

**FIG. 3 LOCALIZACION DEL MUNICIPIO DE CUATITLAN IZCALLI,
MEXICO**



3.1.1. Características Climáticas.

Reyna en 1978, en su estudio sobre las características climático frutícolas en Cuautitlán, Edo. de México, determinó que de acuerdo con el sistema de Köppen modificado por García, el clima para la región de Cuautitlán corresponde a C(w₀) (w) b(i'); templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano e invierno seco, menos de 5% de la precipitación anual, con verano largo y fresco, con poca oscilación de temperatura.

En dicho estudio se consigna que la temperatura media anual es de 15.7 °C, con una oscilación media mensual de 6.5°C; siendo enero el mes más frío, con una temperatura promedio de 11.8°C y junio el mes más caliente, con 18.3°C promedio.

La temperatura máxima promedio es de 26.5°C en el mes de Abril y la temperatura mínima promedio de 2.3°C en Enero. El promedio de horas frío oscila entre 800 y 820 al año y la constante térmica o grados calor promedio es de 1,250 anualmente. Con una precipitación en verano, concentrada del mes de Mayo a Octubre, con un invierno seco y un régimen promedio anual de 605 mm; siendo Julio el mes más lluvioso con 128.9 mm y Febrero el mes más seco con 3.8 mm y con una probabilidad de lluvia invernal menor del 5%. Además esta zona presenta un promedio anual de días con heladas de 64 días; las heladas empiezan en Octubre y terminan en Abril; pueden presentarse heladas tempranas en Septiembre y tardías en Mayo; con una frecuencia de granizadas muy bajas que pueden observarse durante el verano.

3.1.2. Características Edáficas.

Los suelos de la FES-Cuautitlán, como la mayor parte de los suelos de la zona, son de formación aluvial y se originaron a partir de depósitos de material ígneo derivado de las partes altas que circundan la zona.

Son suelos relativamente jóvenes, en proceso de desarrollo; presentando un perfil de apariencia homogénea en el que se aprecian fenómenos de iluviación o eluviación muy marcados, por lo que es difícil diferenciar horizontes de diagnóstico a simple vista. Son suelos profundos, con más de 1 metro de profundidad.

De acuerdo con el sistema de clasificación FAO-DENTENAL, (S.P.P., 1981), estos suelos han sido clasificados por Orlando de la Teja, (1982), como Vertisoles Pélicos, Vp. Son suelos con textura fina, arcillosa; suelos pesados, difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan; forman grietas profundas cuando se secan y pueden ser impermeables al agua de riego o de lluvia.

3.2. Metodología.

3.2.1. Datos Climáticos.

Los datos utilizados para la realización del presente trabajo; fueron los recopilados durante Julio de 1987 a Julio de 1997 en la estación meteorológica "Almaraz"; considerándose datos diarios y mensuales de:

humedad relativa máxima, mínima y media; días con rocío, tormenta eléctrica, con cielo despejado, medio nublados, nublados, heladas, granizo, niebla y precipitación; viento a 2, 4, 6 mts y 30 cm de altura; presión atmosférica máxima, mínima y media; temperatura máxima, mínima y media; temperatura del suelo a 10, 20 y 30 cm de profundidad; nubosidad en Octas; comportamiento de la precipitación; temperatura mínima al intemperie a 15, 33, 55, 80 y 100 cm del suelo; horas de insolación; radiación solar.

3.2.2. Métodos Empleados en el Presente Estudio.

Los métodos empleados para calcular las variables agroclimáticas fueron los siguientes:

- a) Unidades Térmicas, U.T. - Método Residual.
- b) Evapotranspiración, ETP. - Thornthwaite y Tanque de Evaporación.
- c) Estación de Crecimiento. - Método de la FAO, (1978).
- d) Horas Frio. - F.S. Da Mota y Dr. Weinberger.
- e) Probabilidad de Lluvia. - Distribución Acumulada y Normal.
- f) Probabilidad de Helada. - F.S. Da Mota, Pájaro y Ortiz.

3.3. Variables Evaluadas.

A continuación se mencionan las variables evaluadas en el presente estudio.

3.3.1. Comportamiento de la Temperatura al Abrigo.

Se consideraron los valores máximos, mínimos y medios promedio de cada mes, de toda la serie de datos.

3.3.2. Marcha de la Temperatura Mínima al Intemperie.

Fueron tomados los valores a 100, 80, 55, 33 y 15 cm de altura del suelo expresados en grados centígrados, promedio para cada mes del periodo de estudio.

3.3.3. Comportamiento de la Evaporación.

Fueron promediados los datos de evaporación mensual del periodo comprendido de Julio de 1987 a Julio de 1997 y expresados en mm.

3.3.4. Manifestación de la Precipitación.

La relación de datos de precipitación tomados del pluviómetro se realizaron sumatorias y promedios mensuales, expresados en mm.

3.3.5. Comportamiento del Viento.

Se calcularon los valores del recorrido del viento promedio mensual a 30 cm, 2, 4, y 6 mts del suelo de la estación Almaraz, expresados en Km/día. Además se evaluó la dirección dominante del viento, considerando los 8 puntos cardinales a saber: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW.

3.3.6. Grado de la Nubosidad.

Los registros de la base de datos de la estación Almaraz en cuanto a la nubosidad se contabilizaron por octas, realizando el promedio mensual.

3.3.7. Comportamiento de la Radiación Solar.

Los datos que se obtuvieron de radiación solar fueron obtenidos por medio del actinógrafo, tipo Robisztsch, por día y posteriormente el promedio mensual y anual.

3.3.8. Comportamiento de la Insolación.

Del registro heliográfico se cuantificaron las horas de insolación diarias para obtener el promedio mensual.

3.3.9. Marcha de la Temperatura del Suelo.

Los registros de temperatura obtenidos durante el periodo de los 10 años investigados se resumieron y obtuvieron valores promedio mensual.

3.3.10. Marcha de la Presión Atmosférica.

Se relacionaron los datos de presión atmosférica, máxima, mínima y media, para obtener el promedio mensual de la serie de datos en cuestión, expresados en mmHg.

3.3.11. Comportamiento de la Humedad Atmosférica.

Fueron promediados los datos recopilados de la estación Almaraz de humedad atmosférica máxima, mínima y media, expresada en porcentaje.

3.3.12. Días con Granizo.

Se realizó la sumatoria de los días con presencia de granizo y se determinó el promedio mensual para toda la serie de datos.

3.3.13. Días con Heladas.

Se consideraron los meses con presencia de helada para así cuantificar el número de días por mes y tener al final un promedio mensual.

3.3.14. Días con Tormenta Eléctrica.

Fueron contabilizados los días de los meses que presentaron tormenta eléctrica y obtener así el promedio mensual.

3.3.15. Días con Niebla.

Se procedió a contar el número por mes para realizar la sumatoria mensual y su promedio en toda la serie de datos.

3.3.16. Días con Rocío.

Fueron considerados los días con rocío así como el promedio mensual de los 10 años.

3.3.17. Días con Lluvia Apreciable.

Se efectuó el conteo de número de días con lluvia apreciable por mes y por año, esto es, días con pp igual o mayor a 0.1 mm.

3.3.18. Días con Lluvia Inapreciable.

Se contabilizó el número de días con lluvia inapreciable, esto es, menor de 0.1 mm.

3.3.19. Días con Nubosidad.

Se cuantificaron los meses, de la serie de 10 años con presencia de cielos despejados, medio nublados y nublados, considerando como:

- a) Cielo despejado = 0 - 3 Octas.
- b) Cielo medio nublado = 4 - 6 Octas.
- c) Cielo nublado = 7 - 8 Octas.

3.4. Parámetros Determinados.

Para llevar a cabo la determinación y elaboración de gráficas de los parámetros, se tomaron los datos de temperatura, evaporación, heladas y precipitación, de la estación Almaraz, y a continuación se describen brevemente.

3.4.1. Evapotranspiración Potencial.

La estimación de la evapotranspiración se realizó por 2 métodos, uno el de Thornthwaite y el segundo por el Tanque de Evaporación, considerando en este último el coeficiente con valor de 0.75.

3.4.2. Probabilidad de Ocurrencia de Helada.

La probabilidad de ocurrencia de helada se realizó por la fórmula de Da Mota, Pájaro y Ortiz.

3.4.3. Probabilidad de Ocurrencia de Lluvia.

Fue determinada la probabilidad de lluvia al 75% por medio de la Distribución Acumulada y Normal.

3.4.4. Horas Frío.

Se realizaron los cálculos con los métodos del Dr. Weinberger, Da Mota y UTHA.

3.4.5. Estación de Crecimiento por Disponibilidad de Humedad y de Temperatura.

Por disponibilidad de humedad, se empleó el método de la FAO, considerando para ello la ETP, 0.5 ETP y Pp promedio mensual para obtener así los componentes de la estación de crecimiento y su duración. También se determinó esta con el valor de Pp al 70% de probabilidad de ocurrencia, los valores de ETP y 0.5 de ETP como en el método de la FAO.

Por otro lado, por disponibilidad de temperatura, se consideró al periodo libre de heladas al 20% de probabilidad, como sinónimo de la estación de crecimiento.

Y así con el método anterior, tener el periodo favorable para el desarrollo del cultivo, por disponibilidad de humedad y temperatura.

3.4.6. Constante Térmica.

Se determinó por el método residual, considerándose las temperaturas base de 4.5°, 6° y 10°C por ciclo; Primavera-Verano y Otoño-Invierno, además del valor promedio anual.

3.4.7. Fórmula Climática.

Considerando al sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García, se determinó en base a la información climática de la estación Almaraz, la fórmula climática que describe el tipo de clima que en la zona se presenta.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION.

De toda la serie de datos climáticos evaluados, se determinaron sus valores medios, así como, la realización de gráficos para interpretar sus respectivos comportamientos durante el año.

Así, las gráficas siguientes representan cada uno de los diversos fenómenos meteorológicos que integrados constituyen y caracterizan la zona de estudio.

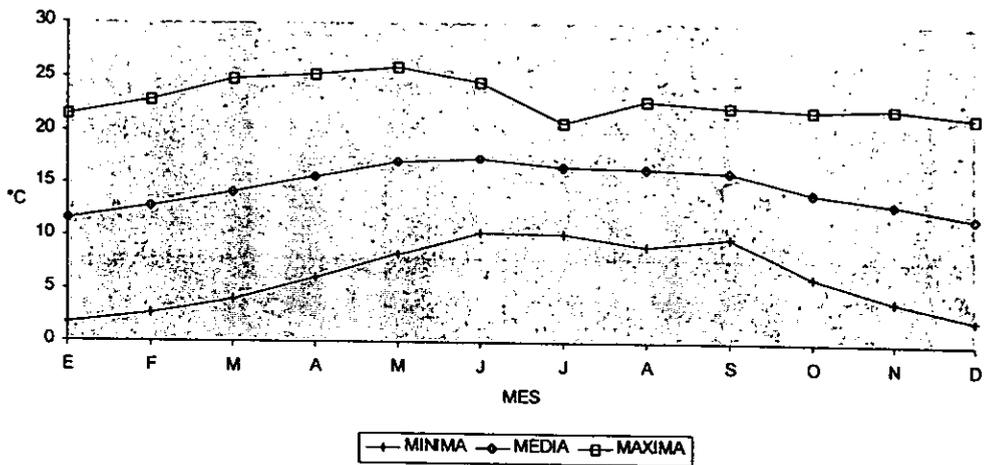
4.1. Comportamiento de la Temperatura al Abrigo.

La marcha de la temperatura sigue una línea ascendente a partir del primer periodo de calentamiento que comprende del 21 de Marzo al 21 de Junio; en este primer periodo se encuentra el mes más caliente del año, Junio con 17.4°C de promedio; teniendo un descenso de temperatura en el 2° periodo del 21 de Junio al 23 de Septiembre, esto se debe a la presencia del periodo de lluvias y aumento de días nublados en el mes de Julio.

Al terminar los 2 periodos de calentamiento inician los dos de enfriamiento que comprenden del 23 de Septiembre al 21 de Diciembre y del 21 de Diciembre al 21 de Marzo, en los cuales empieza a descender la temperatura, dando paso a heladas y días con cielos despejados; presentándose en el 2° periodo el mes más frío, Enero, con una mínima promedio de 1.8°C, y temperatura media de 11.6°C, gráfica 1.

Los valores extremos de temperatura son: máxima de 31.8°C registrado el 22 de Mayo de 1995 y mínima de -6.9°C registrado el 12 de Enero de 1997 y la temperatura promedio obtenida es de 14.8°C, máxima promedio de 23.1°C y la mínima promedio de 6.3°C. Finalmente se tiene una oscilación térmica de 5.8°C.

GRAFICA 1. MARCHA DE LA TEMPERATURA AL ABRIGO. ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



4.2 Marcha de la Temperatura Mínima al Intemperie.

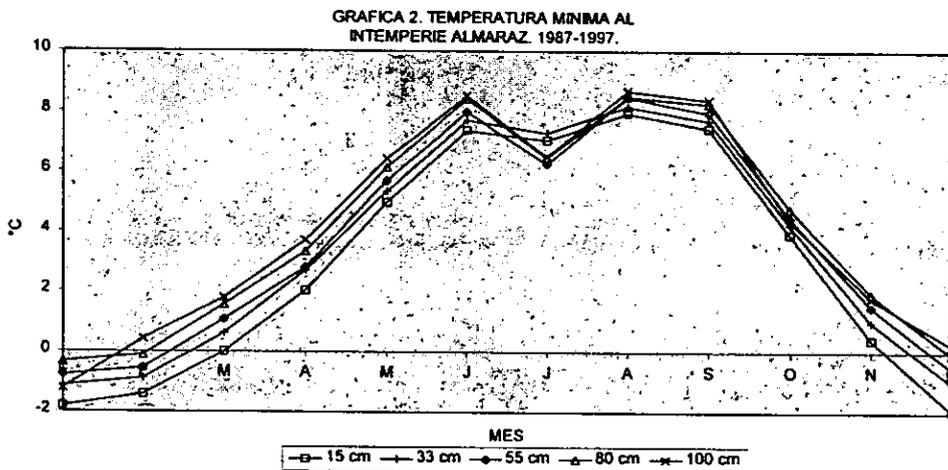
En las gráfica 2 se muestra el comportamiento de la temperatura mínima al intemperie, donde a menor altura se presentan las más bajas temperaturas durante el año; pero en el 2º periodo de calentamiento se tiene un ascenso de temperatura por la presencia de humedad en el ambiente, esto hace que se retenga el calor a nivel superficial, la mayor temperatura tiende a estabilizarse, pero a niveles

superiores se pierde calor por el gradiente de temperatura, que es un descenso promedio de 0.65°C por cada 100 mts de incremento en altitud (García, 1980).

Los promedios de temperatura en cada altura son:

ALTURA DEL SUELO	T°C
15 cm	3.0°C
33 cm	3.5°C
55 cm	3.7°C
80 cm	4.1°C
100 cm	4.1°C

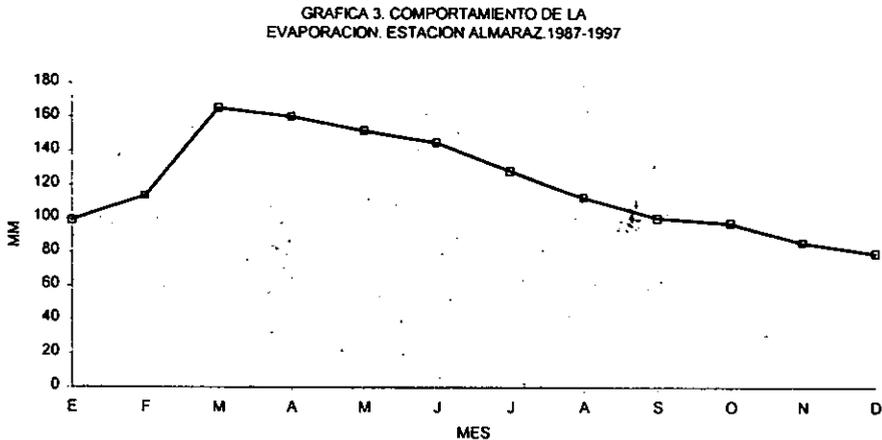
Esto nos muestra de manera general la presencia de inversiones de temperatura la mayoría de los días del año, acentuándose su presencia en la época invernal y con ello agudizando la presencia y efecto de las heladas, producto de la condición geográfica del Valle en el cual se encuentra la estación meteorológica Almaraz.



4.3 Comportamiento de la Evaporación.

El gráfico 3, se puede observar que al inicio del periodo cálido del año la evaporación llega de un máximo a un mínimo, hasta alcanzar un punto de saturación en el ambiente que trae consigo el aumento de humedad presente en la atmósfera y que se ha de visualizar en forma de precipitación, cuando los niveles de saturación se descompensan y son capaces de vencer los niveles de gravedad. En la época fría hay descenso de radiación y menor manifestación de calor y por consiguiente menores niveles de la evaporación.

La evaporación media registrada en la estación es de 1,440.24 mm anuales, teniendo el mayor valor en Marzo con 165.51 mm, y un menor valor de 79.69 mm en Diciembre.



4.4. Manifestación de la Precipitación.

La gráfica 4, muestra el comportamiento de la precipitación, pp, durante el año, en donde a medida que hay incremento de humedad en la época cálida del año y cuando alcanza sus máximos niveles de calentamiento la atmósfera, se incrementa en tal forma la humedad, que el vapor de agua se condensa por efecto de la presencia de núcleos de condensación y formación de gotas de agua capaces de vencer su estabilidad y gravedad para precipitarse en la época de verano con mayor intensidad.

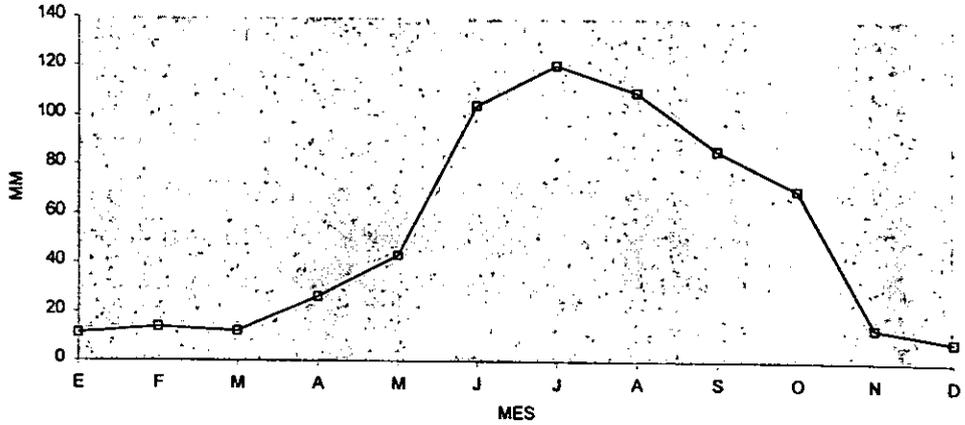
Pero la variabilidad de ocurrencia de la pp a través del tiempo nos hace pensar que el valor medio pudiera ser erróneo, ya que como se ve en la gráfica 4a, el valor total anual varía considerablemente de un año a otro.

Así vemos que en 1992 el total fue de 880.2 mm, mientras que en 1988 fue de 326.9 mm, por lo cual se recomendaría realizar un estudio de la pp pero con valores modales, o bien, expresar el porcentaje de probabilidad de ocurrencia de ella.

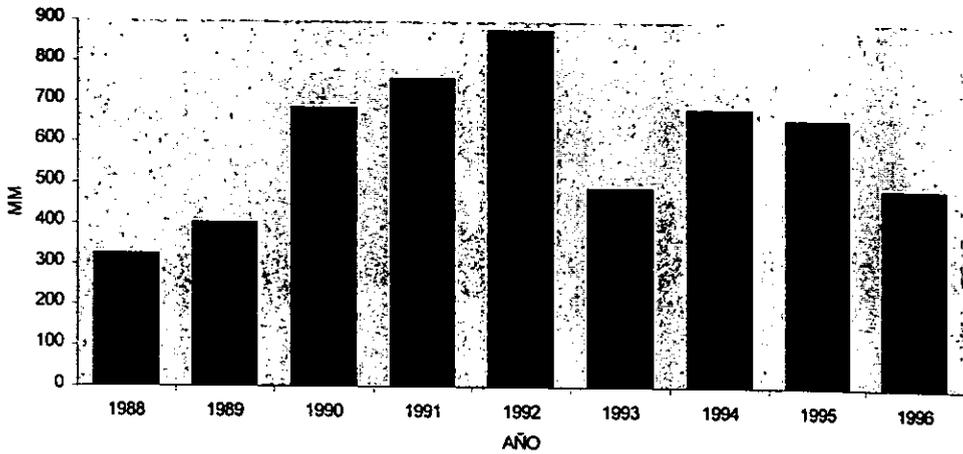
Para fines del presente estudio, el valor extremo de pp ocurrida en 24 horas fue de 90.1 el día 10 de Octubre de 1992, y el valor promedio anual es de 609.2 mm.

El mes más lluvioso es Julio con 120.58 mm y el mes más seco Diciembre con 8.67 mm.

GRAFICA 4. PRECIPITACION MEDIA.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



GRAFICA 4a. PRECIPITACION ANUAL.
ESTACION ALMARAZ. 1988-1996.



4.5 Comportamiento del Viento

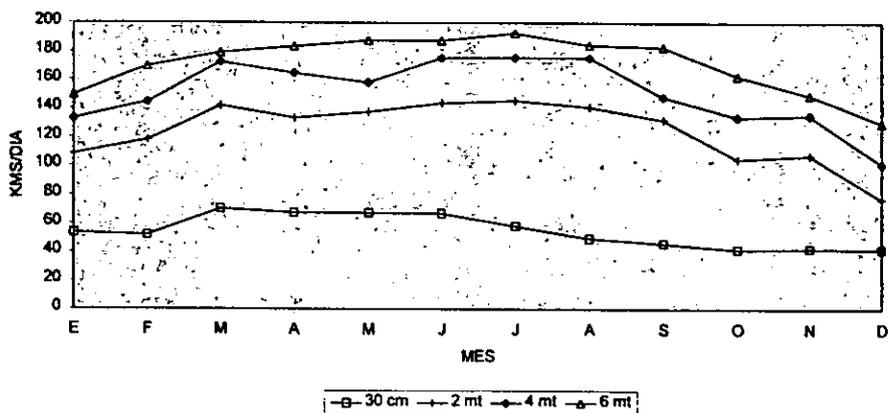
De este elemento climático, se evaluó la velocidad a 30 cm, 2, 4 y 6 metros de altura del suelo, así como, su dirección dominante a 2 metros de altura, obteniendo lo siguiente.

a) Velocidad: A niveles superficiales disminuye la velocidad del viento, gráfica 5, ya que se encuentran múltiples obstáculos en su desplazamiento, además de que tiende a ser más estable la temperatura, por lo tanto, las variaciones en la presión atmosférica son mínimas. A mayor altura el viento se desplaza libremente y tiende alcanzar velocidades mayores y por lo tanto el aligeramiento de las partículas, que ocasionan los movimientos horizontales y verticales del aire.

Los valores promedio anual obtenidos fueron:

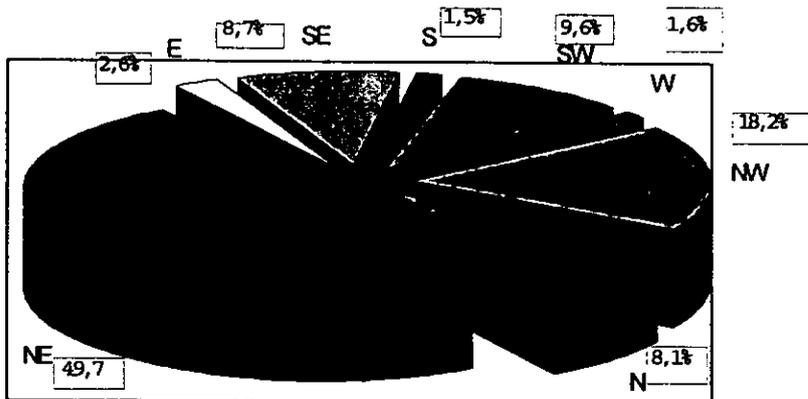
ALTURA DEL SUELO	RECORRIDO
30 cms	54.7 Km/día
2 mts	124.4 Km/día
4 mts	151.6 Km/día
6 mts	171.8 Km/día

GRAFICA 5. RECORRIDO DEL VIENTO.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



b) Dirección: La dirección del viento, gráfica 5a, muestra que el viento dominante es de dirección NE con un 49.7% de frecuencia, mientras que la dirección Sur, con 1.5%, es la menor frecuencia en la zona de estudio.

GRAFICA 5a. DIRECCION PROMEDIO DEL VIENTO. ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

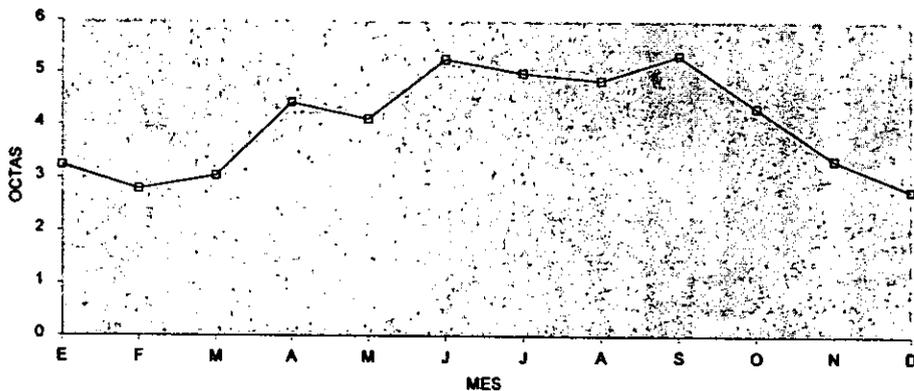


4.6. Grado de Nubosidad.

En la gráfica 6, observamos el grado de nubosidad promedio durante el año, producto del enfriamiento adiabático del aire, de tal manera que el vapor de agua se condensa y forma nubes; esto se ve en los dos periodos de calentamiento, donde en el primero por el gradiente de temperatura va siendo mayor el número de octas y así mismo para el segundo periodo de calentamiento la temperatura aumenta y cuanto mayor es la cantidad de vapor que pueda contener, y al llegar a este máximo puede aumentar la condensación en forma de pequeñas gotitas de agua o de cristales de hielo que constituyen las nubes; por consiguiente, en los 2 periodos frios la nubosidad es menor por el descenso de temperatura y evaporación.

El valor promedio es de 4 octas, siendo los meses de Julio a Septiembre con valores promedio de 5 octas presentándose hasta 8 octas y el valor mínimo promedio de 3 octas en los meses de Noviembre a Marzo, no excluyendo la posibilidad de observar cielos totalmente despejados en esta época del año.

GRAFICA 6. GRADO DE NUBOSIDAD.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

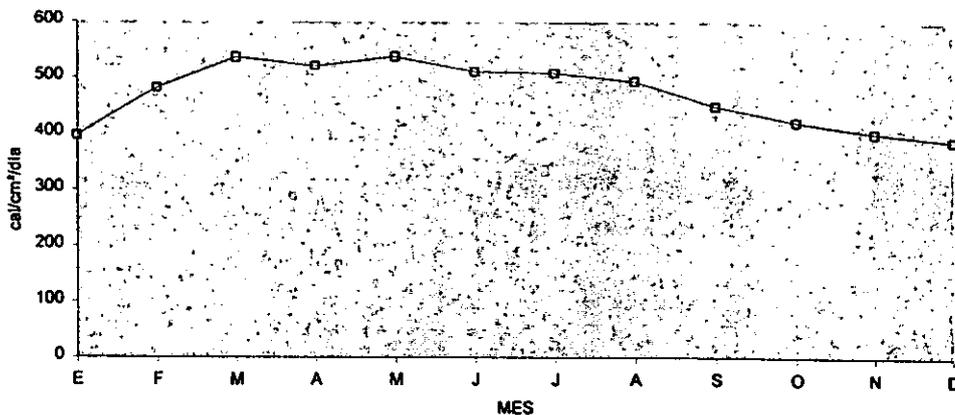


4.7. Comportamiento de la Radiación Solar.

En relación a la radiación solar global promedio mensual, gráfica 7, se presenta la mayor intensidad en la época de primavera y la menor en la época invernal.

Esto es producto de la posición de la superficie terrestre con respecto a los rayos solares, así como la latitud de la zona; se observa un máximo valor en Mayo de 537.95 cal/cm²/día, disminuyendo de Junio a Septiembre por la presencia de nubes y así paulatinamente en los siguientes meses del periodo invernal, siendo Diciembre el que tiene el menor valor con 388.18 cal/cm²/día. El valor promedio anual fue de 470.67 cal/cm²/día.

GRAFICA 7. RADIACION SOLAR GLOBAL.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



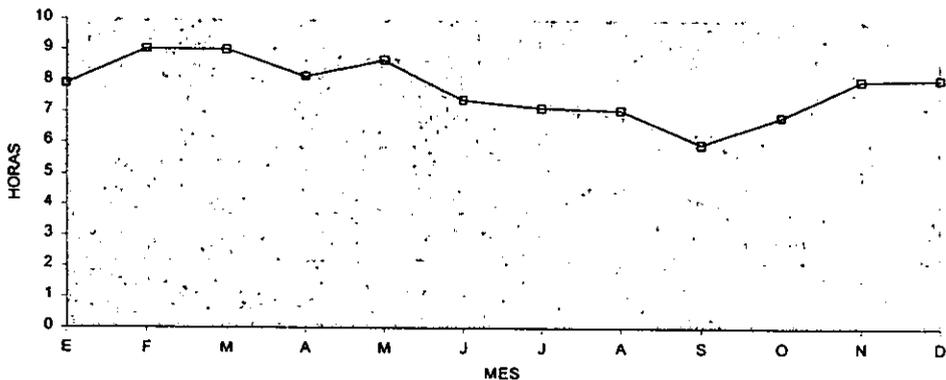
4.8. Comportamiento de la Insolación.

La gráfica 8, ilustra el comportamiento de la insolación promedio mensual. Dicha fluctuación de la insolación se observa con mayor duración en los meses de Febrero y Marzo por la poca presencia de nubes, así como el inicio de la estación de primavera; presentándose un descenso en el Verano, por la ocurrencia de la época de lluvias y consecuentemente en los siguientes dos periodos la insolación disminuye a medida que los días son más cortos y las noches más largas.

Sin embargo, si comparamos los dos periodos del año, Primavera-Verano y Otoño-Invierno, la duración de la insolación es diferente motivado por el grado de nubosidad que en ellos se presentan, esto es en Primavera-Verano, la duración de la insolación es menor aunque la duración del día sea mayor y viceversa para el periodo de Otoño-Invierno.

El promedio de insolación anual es de 7.78 hrs. y el mes con mas horas de insolación fue Febrero con 9.03 y el menor Septiembre con 5.96 horas.

GRAFICA 8. COMPORTAMIENTO DE LA
INSOLACIÓN. ESTACION ALMARAZ. 1987-1997

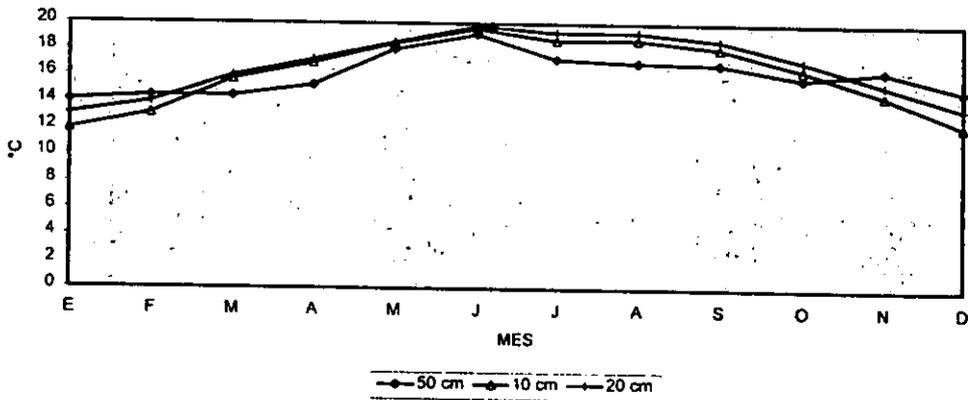


4.9. Marcha de la Temperatura del Suelo.

La temperatura del suelo evaluada en 3 profundidades, 10, 20 y 50 cms, fluctúa casi en una misma amplitud, esto es por la presencia de los elementos climáticos; el calentamiento del suelo es propiciado por la entrada del Equinoccio de Primavera, aumentando la temperatura del suelo a partir del mes de Marzo hasta finales de Mayo, existiendo una disminución de temperatura del suelo por la presencia de las lluvias a partir de Julio a Septiembre; pero a la profundidad de 50 cm se tiene un aumento de temperatura de Octubre a Febrero, por el efecto que tiene la presencia de heladas sobre la superficie del suelo, gráfica 9.

Así, la oscilación térmica disminuye conforme la profundidad del suelo aumenta, e inversamente, la oscilación aumenta a medida que se acerca a la superficie del suelo.

GRAFICA 9. TEMPERATURA DEL SUELO.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997



4.10. Comportamiento de la Presión Atmosférica.

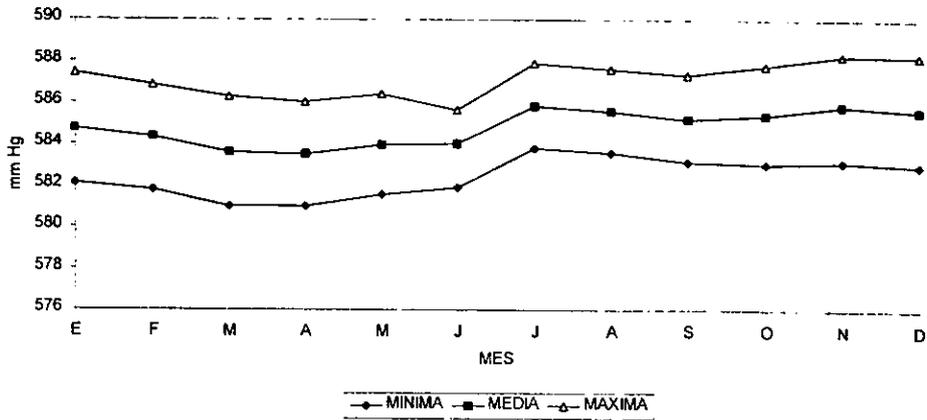
La gráfica 10, muestra la presión atmosférica promedio mensual; dicho comportamiento se debe a la relación que guarda la nubosidad, la temperatura y la posición de la tierra con respecto al sol durante el año.

La variación de la presión atmosférica es debido al comportamiento de la temperatura durante el año presentándose el aumento de presión en la época de verano, aunado al incremento de humedad y disminución de temperatura en esta época y en invierno e inicio de la primavera, la presión disminuye producto de la baja humedad ambiental e incremento de la insolación y radiación solar.

Durante el día, la presión se comporta en la zona con dos periodos máximos que son entre las 9-10 a.m. y las 9-10 p.m. y dos mínimos entre 3-5 a.m. y 3-5 p.m., de manera normal, aunque se tiene considerado que la influencia de alguna perturbación meteorológica, origina que estos periodos máximos y mínimos de presión varíen durante el día.

El valor promedio anual es de 584.81 mmHg, el máximo promedio es de 587.16 mmHg y el mínimo promedio de 582.43 mmHg, teniendo el mes de Julio con el mayor valor promedio de 585.86 mmHg y el mes de Abril con la menor presión media de 583.52 mmHg.

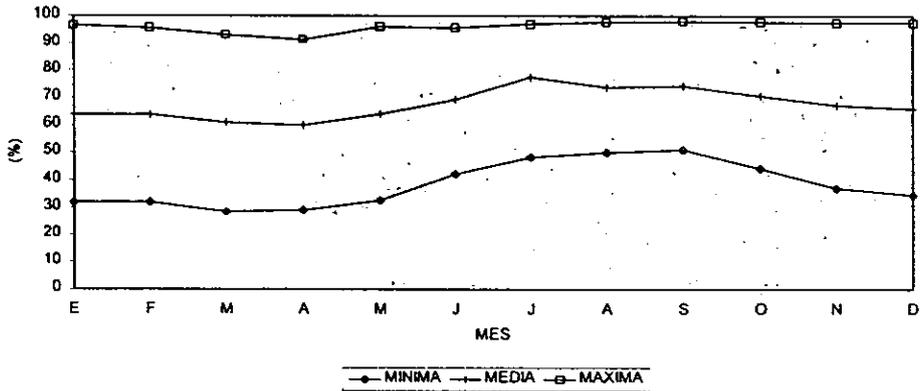
GRAFICA 10. PRESION ATMOSFERICA.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



4.11. Comportamiento de la Humedad Atmosférica.

La humedad ambiental, gráfica 11, sigue un comportamiento inverso a la evaporación, gráfica 3, producto de la presencia de la precipitación y nubosidad, que incrementa la saturación del aire, lo que ocasiona además un cambio en la temperatura. El mes más húmedo es Julio con 77.6% y el mes con menor humedad es Abril con 60% de humedad promedio. Los valores máximos se presentan en Septiembre, con 97.9% de humedad promedio y Marzo con 28.4% de humedad promedio mínima. Se tiene considerado la presencia de días con 100% de humedad al amanecer; principalmente en la época de lluvias.

GRAFICA 11. HUMEDAD ATMOSFERICA.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



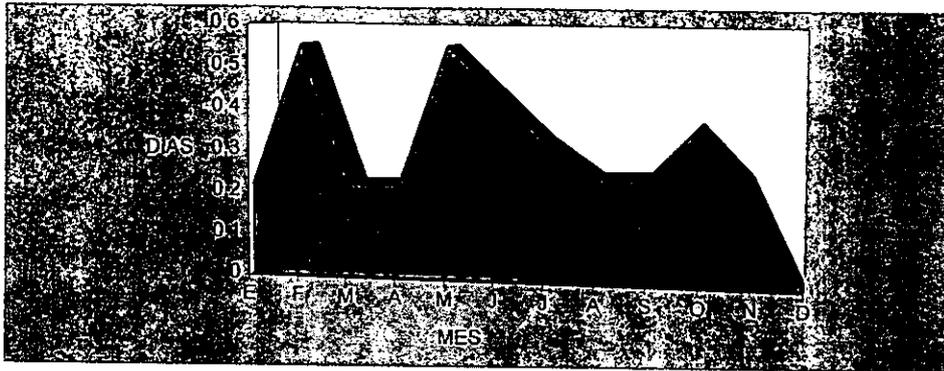
4.12. Días con Granizo.

La presencia de Nortes en el Golfo de México, tiene como consecuencia que la humedad quede incorporada a la atmósfera y aunada a la época de mayor radiación solar y mayor evaporación, favorece la formación de nubes de gran desarrollo vertical, del género Cumulonimbus, las que en su proceso de formación, asocian las condiciones favorables para dar origen al granizo.

Esto explica que en el mes de Febrero el número de días con granizo sea mayor; pero en el mes de Mayo, el mayor calentamiento de la superficie terrestre, causa la formación de este género de nubes, favoreciendo la formación de granizo, gráfica 12.

El promedio es de 3.68 días al año, siendo Febrero y Mayo los mayores valores con 0.56 días y Diciembre con 0 días el menor valor.

GRAFICA 12. DIAS CON GRANIZO.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



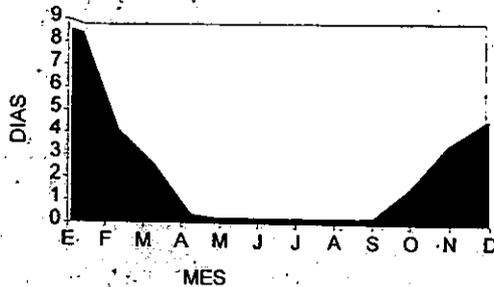
4.13. Días con Heladas.

La presencia de heladas, entendiéndose a ésta como la disminución de la temperatura igual o menor a 0°C, es frecuente durante la época de invierno en la zona de estudio, producto ello de la disminución de la temperatura media y de humedad, nubosidad y aumento de la insolación y evaporación.

Las primeras heladas se presentan durante Septiembre, Octubre y Noviembre y la última helada se puede observar en el mes de Abril.

En este momento se señala que en el mes de Enero es cuando se presentan más días con helada, con un promedio de 8.6 días y los meses de Mayo hasta Agosto no tienen presencia de ella, gráfica 13.

GRAFICA 13. DIAS CON HELADA.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

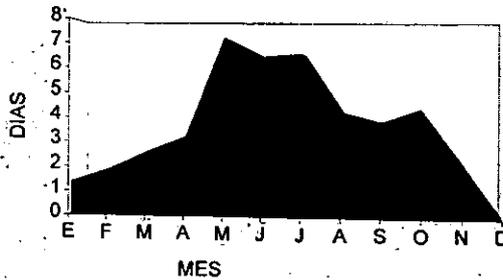


4.14. Días con Tormenta Eléctrica.

En el mes de Mayo, se observa que la presencia de tormentas eléctricas es mayor durante el año con 7.25 días; gráfica 14; producto del incremento de la temperatura que favorece la evaporación y formación de nubes del género Cumulonimbus y con ello la ocurrencia de Tormentas Eléctricas.

Esto se asocia con la presencia de granizo; gráfica 12; que representan el carácter de chubasco de las precipitaciones que en esta época ocurren en la zona. El mes de Diciembre presenta sólo 0.14 días con tormentas eléctricas siendo al año 44.5 días total.

GRAFICA 14. DIAS CON TORMENTA ELECTRICA
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

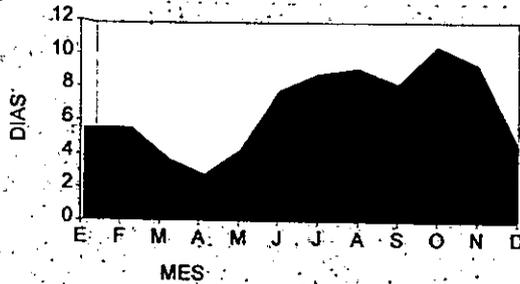


4.15. Días con Niebla.

Las características geográficas de la zona de estudio, favorecen la formación de nieblas durante el año, pero bien, en la época de lluvias, en verano, hay un incremento notable de ellas ocasionado por el aumento de la humedad atmosférica y nubosidad que favorece que se alcance con mayor facilidad el punto de rocío y con ello la formación de nieblas disminuyendo la visibilidad horizontal de manera muy notable, gráfica 15.

En Octubre que es el mes con más días con niebla, 10.44, se producen debido al enfriamiento que sufre la atmósfera, por el fin de la época de lluvias y la presencia de humedad residual en el ambiente. En invierno la ausencia de nieblas se hace más notable debido al exceso de evaporación, disminución de la nubosidad y la humedad en el ambiente. La suma total es de 79.79 días al año.

GRAFICA 15. DIAS CON NIEBLA.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

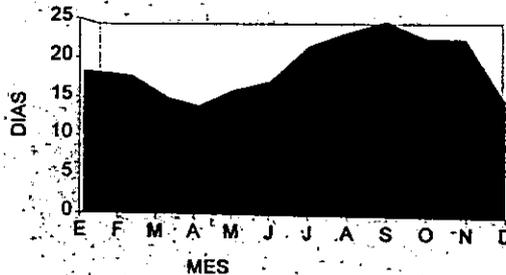


4.16 Dias con Rocío.

La gráfica 16, muestra el comportamiento de los días con rocío durante el año, donde se tiene un aumento de rocío en el mes de Julio por la presencia de las lluvias, decremento en la evaporación, presión atmosférica alta y ascenso de la humedad atmosférica, y al inicio del año empieza a descender los días con rocío por aumento en la evaporación y disminución de la precipitación.

El mes de Septiembre presenta 24.8 días con rocío y Abril con 13.8 días con rocío respectivamente. El total de días es de 227.93 al año.

GRAFICA 16. DIAS CON ROCIO.
ESTACION ALMARAIZ. 1987-1997.

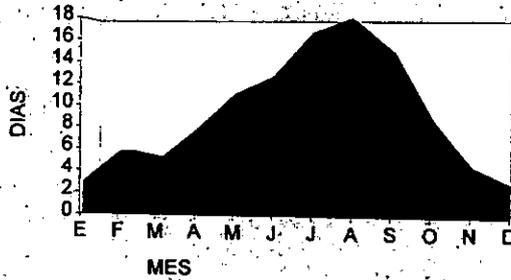


4.17. Días con Lluvia Apreciable.

La presencia de lluvia mayor a 0.1 mm en la zona se muestra en la gráfica 17, teniendo un comportamiento similar a la ocurrencia de la precipitación, ello producto de la presencia de mayor nubosidad, en esta época del año.

El mes de Agosto tiene el mayor valor con 18.0 días, aunque ello no significa que sea el mes más lluvioso, el cual es Julio, pero si en cuanto a la presencia de precipitación. Los menores valores se presentan en el periodo invernal, siendo Diciembre con 2.9 días el menor valor. El total de días con pp apreciable al año es de 111.1 días.

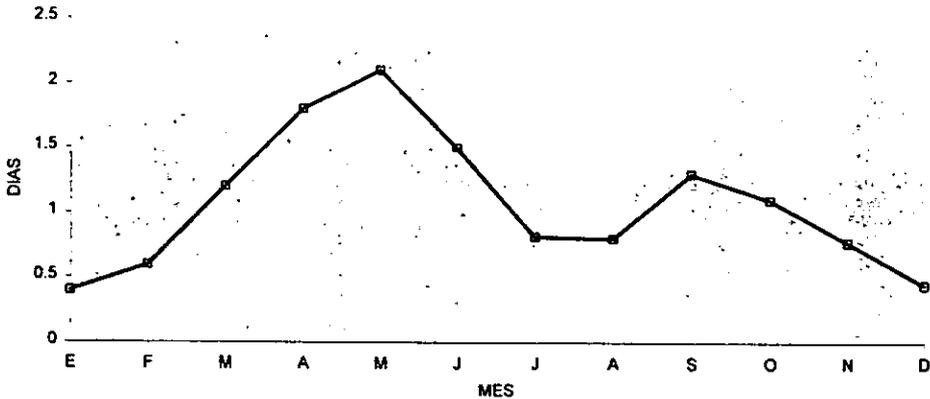
GRAFICA 17. DIAS CON LLUVIA APRECIABLE
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



4.18. Días con Lluvia Inapreciable.

La relación que se observa en la gráfica 18, nos muestra la presencia de lluvia inapreciable, entendiéndose a esta como la pp menor de 0.1 mm; presentando un mayor número de días en el mes de Mayo, con 2.1 días, indicio de la próxima época de lluvias, y el mes de Septiembre con 1.3 días, que representa el fin del periodo de lluvias en la zona. Durante el año se tienen 12.84 días con lluvia inapreciable.

GRAFICA 18. DIAS CON LLUVIA INAPRECIABLE. ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.

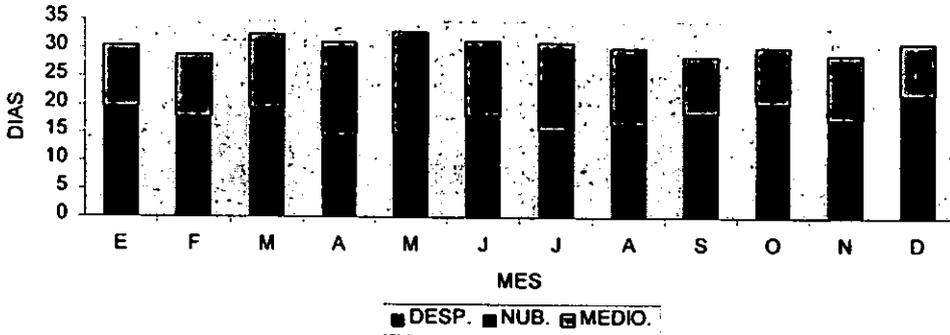


4.19. Días con Nubosidad.

La gráfica 19 muestra, los días con cielos despejados, nublados y medio nublados; considerándose como cielo despejado de 0-3 octas, medio nublado 4-6 y nublado de 7-8 octas. Se observa una relación inversa en cuanto al número de días despejados y nublados, que corresponde a la época de secas y lluvias, respectivamente.

Esto muestra la probabilidad de ocurrencia de la precipitación producto de la presencia de nubes, durante el año. El total de días despejados es de 100.6, días nublados de 114.9 y medio nublados 151.3 días al año.

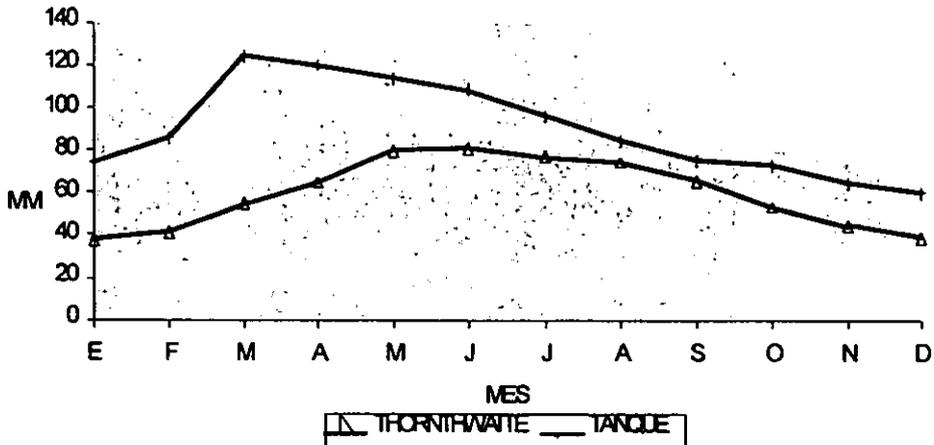
GRAFICA 19. DIAS CON NUBOSIDAD.
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997



4.20. Evapotranspiración Potencial.

Si observamos las gráficas 3 y 20, se podrá concluir que la evapotranspiración sigue un mismo comportamiento con la evaporación y que es inversa al comportamiento de la precipitación, entendiéndose esto por la presencia de la época de lluvias en un sólo periodo durante el año y su disminución en otro. El valor total de ETP obtenido por el método del Tanque de Evaporación es de 1080.18 mm anual, siendo Marzo con 124.13 mm y Diciembre con 59.77 mm los valores mayor y menor de ETP, respectivamente. Sin embargo, analizando el gráfico 20, la ETP por el método de Thornthwaite, muestra un valor menor que la ETP calculada por el método de Tanque de Evaporación, pudiendo pensar que este método subestima el valor real de la ETP, si consideramos las observaciones que en tiempo real se tienen en la estación meteorológica sobre el comportamiento de esta variable y las demás que influyen en la ETP.

GRAFICA 20. EVAPOTRANSPIRACION
POTENCIAL ESTACIONAL MARAZ 1987-1997.



4.21. Probabilidad de Ocurrencia de Helada.

La probabilidad de ocurrencia de helada en un año se muestra en la gráfica 21, por los métodos de Da Mota y Distribución Normal.

Asimismo se tiene el periodo libre de heladas, que para el caso del método de Da Mota, es a partir del día 80 del calendario Juliano, 21 de Marzo, y el término el día 282 juliano, 9 de Octubre, pero la Distribución Normal nos restringe un día iniciando el día 79, 20 de Marzo, y terminando el día 282 del calendario Juliano, 9 de Octubre. Así, el periodo libre de heladas es de 202 días por el método de Da Mota y 203 días por el método de Distribución Normal respectivamente a una probabilidad de ocurrencia del 20%, esto es, 1 de cada 5 años; 2 de 10 años.

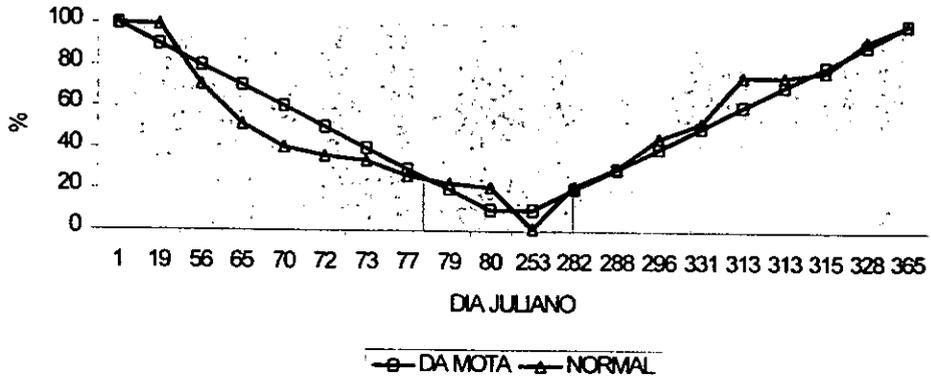
Por lo tanto la posibilidad de disminuir racionalmente el riesgo de sufrir pérdidas es ubicar cronológicamente a los cultivos fuera de la época de ocurrencia de helada; en el caso de cultivos perennes, se estima como riesgo aceptable la probabilidad de ocurrencia no mayor al 5% y en cultivos anuales con un 20% de probabilidad.

El método de Pájaro y Ortiz, (1988), gráfica 21a, muestra la probabilidad de ocurrencia de helada, siendo así que para el primer semestre del año se calcula con 2 días y en el segundo semestre con 0.8 días con helada, por lo tanto al intersectar con el eje de las ordenadas, nos ubica con una probabilidad de 12% para la última helada en la primera quincena de Marzo y con 11.7% en la segunda quincena de Septiembre la primera helada.

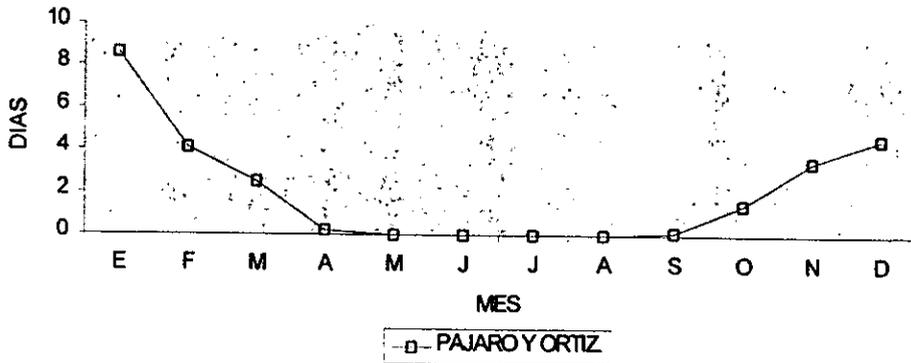
Si bien de la época de ocurrencia derivan su nombre y de acuerdo a la estación del año en que se presentan, las invernales son las que menor daño provocan, dado que en esa época del año las plantas se encuentran en reposo y por lo tanto en condiciones de soportar bajas temperaturas, mientras que las heladas tardías y tempranas que se presentan en la primavera y en el otoño respectivamente, son las que más estragos causan en la agricultura ya que se presentan en épocas de intensa actividad vegetativa. Las tardías causan daños sobre la floración, foliación y fructificación de las plantas anuales. En cambio las heladas tempranas pueden interrumpir bruscamente el proceso de maduración de los frutos y la formación de yemas de las cuales dependerá la producción del año siguiente, (Romo, 1989).

Por lo que la probabilidad de ocurrencia de heladas nos da una pauta para establecer el cultivo, y en ocasiones saber que variedades se deben tomar en consideración para su siembra sin tener mayores pérdidas.

GRAFICA 21. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRIMERA Y ULTIMA HELADA.



GRAFICA 21a. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE HELADA. ESTACION ALMARAZ



4.22. Probabilidad de Ocurrencia de Lluvia.

En la gráfica 22, se muestra la probabilidad de que ocurre un volumen anual de lluvia en la zona de estudio.

La respuesta se especifica en forma de fracción o porcentaje. por ejemplo 0.75 o 75% de probabilidad; o bien 1 de cada 4, ó 5, ó 10 años, etc.

Por lo que representa inútil para fines agrícolas especificar una probabilidad inferior al 10%, 1 de cada 10 años, ó superior al 90%, 9 de cada 10 años, (Ortiz, 1987).

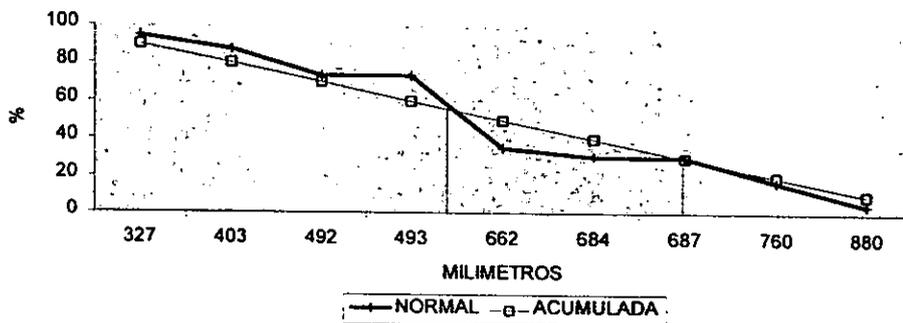
Así se plantea que con una probabilidad del 70% de ocurrencia se presenta en la zona un volumen igual o menor de 492 mm; teniéndose que el valor promedio anual de pp, en base a los resultados aquí obtenidos, 609.2 mm, representa sólo el 40-45% de probabilidad aproximadamente de que ocurra; se plantea así, la necesidad de contar con riegos de auxilio, en una buena parte del año, gráfica 4, para lograr una buena producción agrícola en la zona.

Además, se observa que la probabilidad de tener un valor mayor de 492 mm decrece en forma similar por los métodos evaluados.

Puntualizando con el valor de 70% de probabilidad, el método de Distribución Acumulada nos da un volumen de 492 mm mientras que la Distribución Normal proyecta un volumen de 495 mm aproximadamente, viendo así la diferencia entre los métodos de 3 mm aproximadamente. Por lo tanto, ésta es insignificante en

términos reales para el desarrollo de un cultivo, o bien su efecto sobre el panorama fisiográfico de la zona.

GRAFICA 22. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LLUVIA ANUAL. ESTACION ALMARAZ.



4.23. Horas Frío.

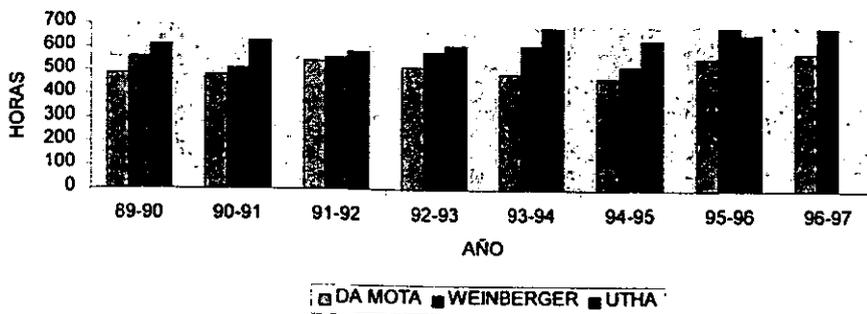
Los cálculos realizados para estimar las horas frío en la zona de estudio, se llevaron a cabo con 3 métodos, UTHA, Weinberger y Da Mota, gráfica 23. Estos cálculos proyectaron un promedio de horas frío acumuladas por periodo de Noviembre a Febrero y en el caso de Weinberger de Diciembre a Enero. Por el método de UTHA se obtuvieron 646.25, Weinberger 590.625 y Da Mota 583.78 horas frío y por consiguiente las horas frío acumuladas en el periodo invernal son de 607 horas promedio.

En general la acumulación de horas frío, son indispensables para los árboles frutales caducifolios, que en el periodo invernal tienen una dormancia de los órganos apicales; considerando la temperatura de 7.2°C como límite para la acumulación de la acción positiva a lo que se llama hora frío.

La evaluación de las horas frío permite planear las labores culturales de protección contra heladas y manejo cultural que son necesarios en la época de primavera, donde se reinicia el crecimiento del árbol frutal.

Por lo tanto para la zona se recomiendan árboles frutales que requieran un promedio de 600 horas frío promedio para estimular la brotación de yemas en la primavera siguiente.

GRAFICA 23. HORAS FRIO ACUMULADAS
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



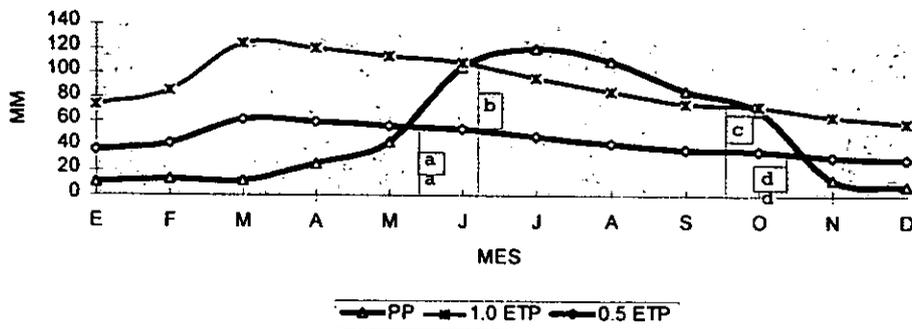
4.24. Estación de Crecimiento.

La estación de crecimiento, definida como el periodo en el cual la disponibilidad de agua y temperatura son favorables que permiten el desarrollo de los cultivos.

De esta manera queda de manifiesto que los elementos más importantes en la definición de la estación de crecimiento son la precipitación y la temperatura.

En el caso de la zona de estudio y la información climática de la estación meteorológica Almaraz, se elaboró la gráfica 24, que muestra el inicio de la estación de crecimiento en la primera quincena de Mayo y el fin de ella en la primera quincena de Octubre, contando con un periodo húmedo de 4 meses, iniciando este los primeros días de Junio y finalizando los últimos días de Septiembre.

GRAFICA 24. ESTACION DE CRECIMIENTO NORMAL
ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



donde:

a= Inicio del periodo de crecimiento.

b= Inicio del periodo húmedo

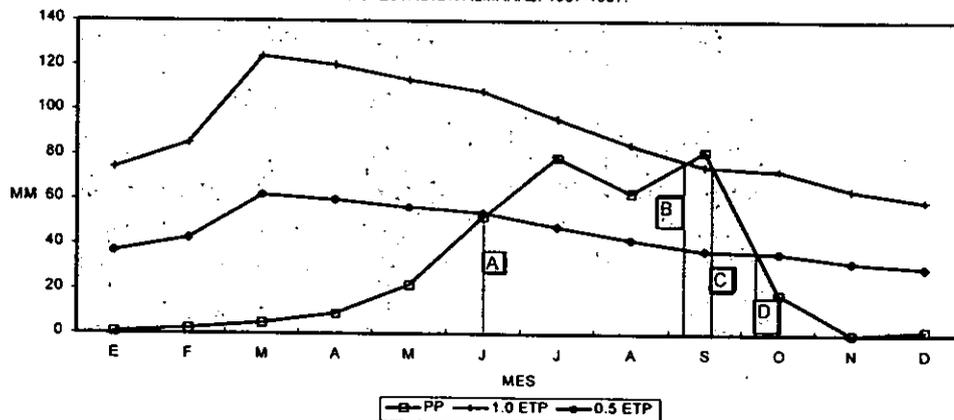
c= Fin del periodo húmedo

d= Fin del periodo de crecimiento

Esto muestra que la estación de crecimiento de la zona es de tipo normal, y que corresponde la disponibilidad de agua al periodo de lluvias en verano.

Empleando el dato de precipitación al 70% de probabilidad de ocurrencia mensual en la construcción de la estación de crecimiento, se obtuvo la gráfica 24^a, donde se observa que inicia esta en el mes de Junio y finaliza en la segunda quincena de Septiembre, teniendo una diferencia de aproximadamente un mes con respecto a trabajar con el dato normal de pp gráfica 24; y así mismo el periodo húmedo solo considera un mes, entre Agosto y Septiembre, que a diferencia de la gráfica 24, se tiene, 4 meses de duración del periodo húmedo, por lo que se puede concluir sobre la necesidad de contar con riego todo el año para utilizarlo según se requiera.

GRAFICA 24a. ESTACION DE CRECIMIENTO
AL 70% ESTACION ALMARAZ. 1987-1997.



donde:

- a= Inicio del periodo de crecimiento.
- b= Inicio del periodo húmedo
- c= Fin del periodo húmedo
- d= Fin del periodo de crecimiento

Por disponibilidad de temperatura, considerando al periodo libre de heladas, P.L.H., gráfica 21a, por el método de Pájaro y Ortíz, se observa que la estación de crecimiento se amplía de Marzo hasta fin de Septiembre, lo que permite deducir que el desarrollo de la agricultura en la zona para el ciclo P-V, esta supeditada a contar con riego para poder sembrar desde Abril con cierto margen de seguridad, 20% de probabilidad, de que los cultivos no sufran daños por la presencia de heladas.

Cabe señalar que en la gráfica 21, muestra la duración del P.L.H. obtenida por varios métodos, con mayor precisión, el cual está considerado entre el día 79 y 282 de calendario Juliano, o sea, entre el día 20 de Marzo y el día 9 de Octubre, con un total de 203 días libres de helada al año.

4.25. Constante Térmica.

De los datos obtenidos del promedio de temperaturas máxima y mínima, se determinaron las constantes térmicas; con 3 temperaturas base, habiendo una tendencia de menos a más, debido a la interacción que existe entre factores climáticos; tal comportamiento, se muestra en las gráficas 25, 25a y 25b que comprende los ciclos Primavera-Verano, Otoño-Invierno y promedio anual.

La acumulación de Unidades Térmicas, U.T., ó Grados Días de Desarrollo, GDD, para el ciclo Otoño-Invierno con la temperatura base de 4.5°C es de 1,537.69 U.T., 6°C fue de 1,284.2 U.T. y con 10°C fueron 582.592 U.T.

En el ciclo Primavera-Verano se obtuvieron con temperaturas base de 4.5°C, 6°C y 10°C, 2,156.54 U.T., 1,899.28 U.T. y 1,734.04 U.T., respectivamente.

Una vez calculado las constantes térmicas por ciclo se llevó a cabo la acumulación de U.T. por año en la zona, que permitan con esto proyectar en base a la necesidad de calor de los cultivos, la calendarización de las actividades agrícolas que se desarrollen en la zona, estimar el desarrollo fenológico de las cultivos, tanto perennes como anuales, entre otros.

Para el promedio anual de acumulación de calor, con temperaturas base de 4.5°C, se tienen 3,281.447 U.T.; para 6°C, 3,168.192 U.T. y para 10°C, 1,729.516 U.T..

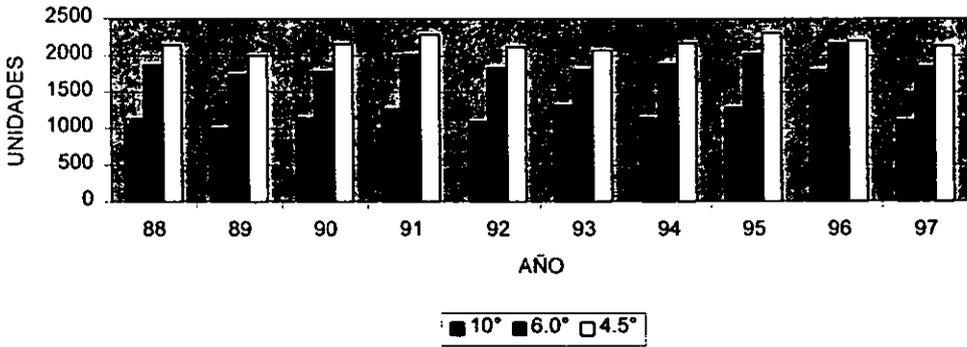
Cabe señalar que este parámetro agroclimático debe analizarse junto con las demás que aquí se trataron, de manera integral para hacer una calendarización de las actividades agrícolas en campo, de manera eficiente.

Así, el objetivo del presente trabajo, fue entonces, plantear los valores de los índices y su comportamiento en la zona de estudio; y el proceso de análisis e interrelación con las actividades de campo, queda abierta al usuario según su necesidad.

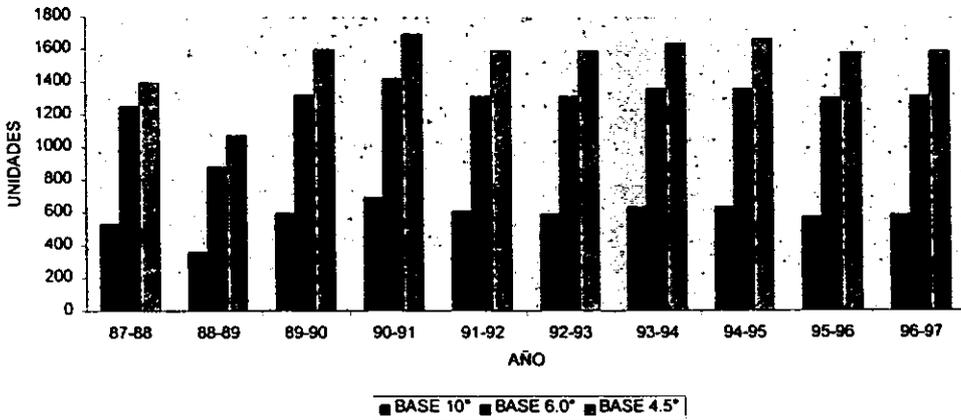
Sanchez, (1988) reportó un trabajo realizado en Cuautitán Izcalli, México el comportamiento fenológico del cultivo de frijol, variedad flor de durazno, para establecer las necesidades de calor en condiciones de temporal; de las diferentes etapas fenológicas y por ende la acumulación de U.T.

El trabajo se efectuó durante el periodo del 1 de Junio al 30 de Octubre de 1997, realizándose el análisis de los datos climáticos y fenológicos obtenidos durante 3 ciclos de cultivo 1995, 1996 y 1998. (Ver anexo. 4)

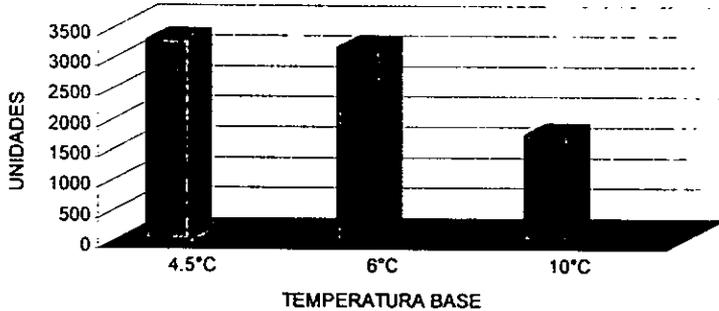
GRAFICA 25. UNIDADES TERMICAS ACUMULADAS. CICLO P-V.



GRAFICA 25a. UNIDADES TERMICAS ACUMULADAS. CICLO O-I.



GRAFICA 25b. PROMEDIO ANUAL UNIDADES
 TERMICAS ESTACION ALMARAZ. 1988-1996



4.26. Fórmula Climática.

Según la clasificación de Köpen modificado por García la clasificación del clima en la zona es C(w₀)(w)b(i'), esto significa que es un templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con un verano fresco largo, con un porcentaje de lluvia invernal de 6.17%, poca oscilación de temperatura, el mes más caliente es Junio y sin sequía intraestival.

Los valores climáticos puntuales para esta clasificación fueron los siguientes:

Mes más frío -----	Enero con 11.6°C
Mes más caliente -----	Junio con 17.4°C
T°C media -----	14.8°C
Pp anual -----	609.2 mm
Oscilación de T°C -----	5.8°C
Porcentaje de lluvia invernal	16.7 %

Índice P/T°C ----- 41.16 %
 Mes más lluvioso ----- Julio con 120.58 mm
 Mes más seco ----- Diciembre 8.67 mm

El resultado del estudio en cuanto a la fórmula climática no ha cambiado, pero en algunos valores existen algunas variaciones, con respecto al trabajo que realizó Reyna en 1978; y que a continuación se enlistan:

	----- Reyna, 1978. -----	Flores, 1997. -----
Formula climática	$C(w_o)(w)b(i')$	$C(w_o)(w)b(i')$
Mes más frío	Enero 11.8°C	Enero 11.6°C
Mes más caliente	Junio 18.3°C	Junio 17.4°C
T°C media	15.7°C	14.8°C
Pp	605.0 mm	609.2 mm
Oscilación de T°C	6.5°C	5.8°C
Porcentaje de lluvia invernal	5.0%	16.7%
Índice P/T°C	38.53%	41.16%
Mes más lluvioso	Julio 128.9 mm	Julio 120.5 mm
Mes más seco	Febrero 3.8 mm	Diciembre 8.67 mm
Horas frío acumuladas	800 y 820 horas	607 horas
Constante térmica	1,250 U.T.	1,729.52 U.T.
Días c/heladas anuales	64 días promedio	25 días promedio

V. CONCLUSIONES.

1. El estudio realizado muestra la variabilidad de las condiciones climáticas en la zona de influencia de la estación meteorológica Almaraz, considerándose a esta en 8 kilómetros a la redonda, que pueden afectar tanto al desarrollo de los cultivos, como a la optimización del uso del agua, para el establecimiento de las siembras de temporal y riego, y además disminuir las pérdidas por la ocurrencia de heladas tempranas o tardías.
2. La relación que existe entre los periodos de calentamiento y enfriamiento de la superficie terrestre ocasionan que se presente oscilación de temperatura del suelo, además esta oscilación disminuye con la profundidad del suelo.
3. El comportamiento de la evaporación es inversa al de la precipitación, siendo los meses de verano cuando la evaporación disminuye por la presencia de las lluvias en la zona de estudio.
4. La cantidad de días con lluvia inapreciable es mayor en los meses del mes de Marzo al mes de Julio, mientras que la mayor cantidad de días con lluvia apreciable es de los meses de Julio a Septiembre, que coincide con el periodo de lluvias.
5. En la zona se tiene una dirección dominante del NE y la velocidad de él varia según la altura, siendo mayor conforme aumenta la altura.

6. La presencia de nubes en la época de Primavera-Verano, produce una disminución de la insolación, aunque la duración del día sea mayor; mientras que en la época invernal, la insolación aumenta aunque los días son cortos y las noches largas, producto de la disminución de la nubosidad.

7. La presión atmosférica guarda una estrecha relación con la temperatura, dado que en la época de mayor temperatura la presión atmosférica disminuye, y conforme aumentan las precipitaciones, esta presión aumenta y la temperatura tiende a disminuir.

8. La presencia de granizo en el transcurso del año es poco significativo ya que sólo se presentan con mayor frecuencia en los meses de Febrero y Mayo. Las tormentas eléctricas se tienen como producto de las altas temperaturas y la presencia de nubes del género Cumulonimbus.

9. La presencia de rocío y nieblas en la zona se encuentra relacionada con la presencia de las lluvias, y por ende, estos meteoros disminuyen en la época invernal.

10. Se determinó que el periodo libre de heladas en la zona, tiene una duración de 203 días al año, por lo que debe considerarse esto en la planeación de las siembras y selección de variedades de cultivo, para disminuir los riesgos por efecto de bajas temperaturas al inicio o fin del ciclo vegetativo del cultivo.

11. Al obtener una probabilidad de 40-45% de que se ocurra una precipitación anual de 609.2 mm, que es el promedio en la zona de estudio, y si se considera el valor del 70% de probabilidad como mas cercano a la realidad, y que en este caso es igual a 492.0 mm, se establece la necesidad de contar con riegos de auxilio la mayor

parte del año para así cubrir las necesidades hídricas de los cultivos de manera satisfactoria.

12. El valor de horas frío es de 607 horas, acumuladas en los meses de Noviembre a Marzo, por lo que deben considerarse árboles frutales caducifolios que no tengan una exigencia de frío mayor de 700 horas, en el establecimiento de huertos frutícolas en la zona de estudio.

13. La confiabilidad de los datos que se procesaron de la estación Almaraz, para la realización del presente estudio permitió no realizar la prueba de Kolmogorov Smirnov ya que la información se ha obtenido con la misma metodología a través del tiempo, la estación no a sido movida del lugar y el equipo con que cuenta ella se le ha dado mantenimiento periódico y el manejo en general se apega a la normatividad del Servicio Meteorológico Nacional y la OMM.

14. A partir de la clasificación climática de Köppen modificado por García, se determinó que el clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con un verano fresco largo, con un porcentaje de lluvia invernal de 6.17%, poca oscilación de temperatura, el mes más caliente es Junio y sin sequía intraestival.

VI. BIBLIOGRAFIA.

1. Albanil E.A. 1984. Notas del Seminario de Titulación de Ingeniería Agrícola. F.E.S.C. UNAM.
2. Ayllón T.T. 1988. Introducción a la Observación Meteorológica. Ed. Limusa, S.A. de C.V., México D.F.
3. De Fina A. L. y A. C. Ravelo. 1975. Climatología y Fenología Agrícola. 2a edic. Edit. Universitaria de Buenos Aires, Argentina.
4. Fuentes y Yagüe, J.L. 1989. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
5. Gómez R.J.C. 1981. Método De Fina en la Aplicación de la Agricultura en el Edo. de Aguascalientes. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
6. Mavi, H.S. 1986. Introduction Agrometeorology. Oxford y IBH Publishing Co. U.S.A.
7. Mercado, M.G. 1997. La Estación Meteorológica de la UNAM Cuautitlán, en: Revista Comunidad. Quinta época. Vol. 2, No. 8. 25 de Abril de 1997. Pág.17.
8. Organización Meteorológica Mundial. 1982. Guía de Prácticas Agrometeorológicas. Primera Edición. Edit. S.A.R.H. No. 134. México.

9. Orlando, de la T. 1982. Estudio de las Características Edáficas de los Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Agrícolas, UNAM.
10. Ortiz, S.A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa, 3a edic. Departamento de Suelos, UACH. Chapingo, México.
11. Papadakis J. 1980. El Clima. Edit. Albatros. Buenos Aires, Argentina.
12. Reyna T.T. 1970. Relación Entre la Sequia Intraestival y Algunos Cultivos en México. Instituto de Geografía UNAM, México D.F.
13. Reyna T.T. 1978. Características Climático Frutícolas en Cuautitlán, Edo. de México. Boletín Instituto de Geografía. Vol 8. UNAM. México.
14. Richmond W.L. 1970. Tratado Ilustrado de Meteorología. Edt. Bell S.A. Buenos Aires Argentina.
15. Romo, G.1989. Meteorología Agrícola. 2a edic. Departamento de Irrigación. UACH. Chapingo, México.
16. Torres, R.E. 1995. Agrometeorología. 1a edic. Ed. Trillas, S.A. de C.V., México.
17. Sánchez, C. J. 1998. Fenología del Cultivo de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*) en Cuautitlán Izcalli México. Tesis F.E.S.-C, U.N.A.M. Cuautitlán Izcalli, Méx.

18. Vázquez, O.F. 1985. Estudio Agroclimatológico de la Zona Lerma-Xonacatlán en el Edo de México. Tesis F.E.S-C, U.N.A.M. Cuautitlán Izcalli, Méx.

19. Vidal, Z.R. 1980. Algunas Relaciones Clima-Cultivos en el Edo. de Morelos. Instituto de Geografía de la UNAM. Primera Edición. México D.F.

20. Villalpando, I.F. et al. 1991. Notas del Curso: Temperatura y Fenología Agrícola. Guadalajara Jal.

21. Villalpando, I.F. y Ruiz C.A. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su Uso en la Agricultura. Edit. UTEHA. México.

VII. ANEXOS.

ANEXO 1. CONCENTRADO DE DATOS CLIMATICOS PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACION ALMARAZ, 1987-1997.

MES	TEMPERATURA MEDIA	PP	EVAP	ETP	HORAS INSOLACION	RADIACION SOLAR
E	11.61	11.31	98.98	74.24	7.93	396.44
F	12.78	13.97	114.08	85.56	9.03	482.21
M	14.12	12.30	165.51	124.13	9.01	536.21
A	15.64	26.33	160.15	120.11	8.16	520.30
M	17.08	43.80	151.72	113.79	8.69	537.95
J	17.43	104.35	144.79	108.60	7.41	511.33
J	16.57	120.58	128.57	96.43	7.14	509.27
A	16.48	109.91	113.00	84.75	7.07	493.53
S	16.11	85.93	100.33	75.25	5.96	449.64
O	14.17	70.07	97.46	73.09	6.84	421.11
N	13.17	14.04	85.94	64.46	8.03	401.90
D	11.96	8.67	79.69	59.77	8.09	388.18

CONTINUA.

MES	PRESION ATMOSFERICA MEDIA	HUMEDAD AMBIENTAL MEDIA	RECORRIDO DEL VIENTO			
			30 CMS	2 MTS	4 MTS	6 MTS
E	584.77	64.05	53.465	108.263	113.146	149.813
F	584.35	63.90	51.511	118.448	144.674	169.738
M	583.63	60.91	70.074	141.769	172.347	179.270
A	583.52	60.04	67.579	133.850	164.754	183.600
M	583.98	64.20	67.663	137.720	158.138	187.598
J	584.02	69.38	67.289	143.690	175.406	187.543
J	584.86	77.58	58.070	145.618	175.368	192.775
A	585.59	74.01	49.288	141.262	175.288	184.732
S	585.22	74.29	45.715	132.237	148.310	183.323
O	585.39	70.78	41.844	104.671	134.390	162.616
N	585.84	67.30	42.121	107.703	135.450	149.704
D	585.61	66.00	41.639	77.212	101.779	130.379

Continua Anexo 1.

MES	TEMPERATURA MINIMA A LA INTEMPERIE					TEMPERATURA DEL SUELO		
	15cm	33cm	55cm	80cm	100cm	10cm	20cm	50cm
E	1.82	- 1.13	0.78	-0.33	-1.23	11.91	13.11	14.11
F	1.42	-0.88	-0.55	- 0.12	0.43	13.16	14.02	14.48
M	0.00	0.61	1.07	1.55	1.78	15.70	15.98	14.48
A	2.02	2.68	2.78	3.32	3.70	16.91	17.18	15.30
M	4.96	5.33	5.68	6.13	6.43	18.49	18.54	18.03
J	7.37	7.72	7.98	8.42	8.52	19.57	19.78	19.18
J	7.07	7.30	6.26	6.46	6.52	18.71	19.35	17.27
A	7.95	8.18	8.48	8.50	8.70	18.78	19.33	17.06
S	7.47	7.72	7.97	8.27	8.40	18.12	18.72	16.93
O	3.90	4.22	4.48	4.77	4.34	16.54	17.19	15.92
N	0.42	1.00	1.52	1.93	1.78	14.66	15.46	16.48
D	-1.95	1.00	0.56	-0.06	0.23	12.40	13.69	15.03

Continua..

MES	DIAS CON LLUVIA INAPRECIABLE	DIAS CON LLUVIA APRECIABLE	NUBOSIDAD	DIAS CON ROCIO
E	0.40	2.90	3	18.44
F	0.60	5.80	3	18.00
M	1.20	5.00	3	15.11
A	1.80	7.80	4	13.78
M	2.10	11.10	4	16.00
J	1.50	12.70	5	17.11
J	1.82	16.73	5	21.56
A	0.80	18.00	5	23.38
S	1.30	15.00	5	24.75
O	1.10	8.70	4	22.56
N	0.78	4.44	3	22.50
D	0.44	2.89	3	14.75

Continua Anexo 1.

MES	DIAS CON HELADA	DIAS CON NIEBLA	DIAS CON GRANIZO	DIAS CON TORMENTA ELECTRICA.
E	8.60	5.56	0.22	1.38
F	4.10	5.56	0.56	1.88
M	2.50	3.56	0.22	2.63
A	0.20	2.56	0.22	3.25
M	0.00	4.22	0.56	7.25
J	0.00	7.78	0.44	6.50
J	0.00	8.78	0.33	6.63
A	0.00	9.13	0.25	4.29
S	0.11	8.13	0.25	3.86
O	1.44	10.44	0.38	4.43
N	3.44	9.38	0.25	2.29
D	4.56	4.63	0.00	0.14

AÑO	UNIDADES TERMICAS SUMATORIA ANUAL.		
	T°C BASE 4.5	T°C BASE 6	T°C BASE 10
1988	3,161.15	2,703.95	1,459.95
1989	3,565.6	3,033.00	1,551.72
1990	3,843.26	3,296.76	1,835.76
1991	3,889.7	3,342.2	1,900.8
1992	3,686.92	3,137.92	1,673.52
1993	3,697.4	3,161.9	1,689.9
1994	3,819.8	3,272.3	1,812.3
1995	3,932.0	3,356.5	1,896.5
1996	3,756.2	3,209.2	1,745.2

CICLO OTOÑO - INVIERNO.

CICLO	T°C BASE 4.5	T°C BASE 6	T°C BASE 10
87-88	1,397.1	1,252.1	536.5
88-89	1,068.2	882.2	362.92
89-90	1,595.2	1,322.8	599.6
90-91	1,690.8	1,419.3	695.3
91-92	1,589.2	1,316.2	606.4
92-93	1,585.9	1,314.4	590.4
93-94	1,632.1	1,360.6	636.6
94-95	1,659.6	1,360.1	635.9
95-96	1,574.7	1,301.7	573.7
96-97	1,584.1	1,312.6	588.6

CICLO PRIMAVERA - VERANO.

CICLO	T°C BASE 4.5	T°C BASE 6	T°C BASE 10
1988	2,143.1	1,867.1	1,131.1
1989	1,998.3	1,737.3	1,001.3
1990	2,152.46	1,776.46	1,140.46
1991	2,280.3	2,004.8	1,268.8
1992	2,109.72	1,834.22	1,098.22
1993	2,072.5	1,808.5	1,325.1
1994	2,161.7	1,885.7	1,149.7
1995	2,298.7	2,022.7	1,286.7
1996	2,192.1	2,156.8	1,801.1

ANEXO 2. HORAS FRIO CALCULADAS POR EL METODO DE WEINBERGER.

T. Prom. (°C) dic-ene	Horas Frío						
17.1	50	13.9	370	11.1	690	8.6	1010
17.0	60	13.8	380	11.0	700	8.5	1020
16.9	70	13.7	390	10.9	710	8.4	1030
16.8	80	13.6	400	10.9	720	8.4	1040
16.7	90	13.5	410	10.8	730	8.3	1050
16.6	100	13.4	420	10.7	740	8.2	1060
16.5	110	13.3	430	10.6	750	8.2	1070
16.4	120	13.2	440	10.5	760	8.1	1080
16.3	130	13.1	450	10.4	770	8.0	1090
16.2	140	13.0	460	10.4	780	8.0	1100
16.1	150	12.9	470	10.3	790	7.9	1110
16.0	160	12.9	480	10.2	800	7.8	1120
15.9	170	12.8	490	10.1	810	7.7	1130
15.8	180	12.7	500	10.0	820	7.7	1140
15.7	190	12.6	510	10.0	830	7.6	1150
15.6	200	12.6	520	9.9	840	7.5	1160
15.5	210	12.4	530	9.8	850	7.5	1170
15.4	220	12.3	540	9.7	860	7.4	1180
15.3	230	12.2	550	9.6	870	7.3	1190
15.2	240	12.1	560	9.6	880	7.2	1200
15.1	250	12.0	570	9.5	890	7.2	1210
15.0	260	12.0	580	9.4	900	7.1	1220
14.9	270	11.9	590	9.3	910	7.0	1230
14.8	280	11.8	600	9.2	920	7.0	1240
14.7	290	11.7	610	9.2	930	6.9	1250
14.6	300	11.6	620	9.1	940	6.8	1260
14.5	310	11.6	630	9.0	950	6.8	1270
14.4	320	11.4	640	8.9	960	6.7	1280
14.3	330	11.4	650	8.9	970	6.7	1290
14.2	340	11.3	660	8.8	980	6.6	1300
14.1	350	11.2	670	8.7	990	6.5	1310
14.0	360	11.2	680	8.6	1000	6.5	1320
						6.4	1330
						6.4	1340
						6.3	1350

Fuente: Villalpando, 1991

ANEXO 4

Trabajo Realizado en la Zona de Estudio en el Cultivo de Frijol (*Phaseolus Vulgaris L.*)

Se consideraron las siguientes etapas fenológicas del cultivo de frijol,

- a) Siembra - Emergencia = Germinación
- b) Emergencia - Floración = Vegetativa.
- c) Floración - Fructificación = Reproductiva
- d) Fructificación - Madurez Comercial = Madurez

Los resultados se muestran en el cuadro 2.

CUADRO 2. DURACION DE CADA ETAPA FENOLOGICA Y TEMPERAURA MEDIA, PRECIPITACION, EVAPOTRANSPIRACION Y DIFERENCIA DE PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACION EN CADA UNA DE ELLAS, POR TRATAMIENTO, DEL CULTIVO DE FRIJOL, CICLO P-V. 1997.

TRATAMIENTO	ETAPA	DURACION	T.MEDIA	PP	ETP	PP-ETP
1	Germinación	7.7	17.8	55.3	30.0	25.27
	Vegetativa	41.3	17.6	169.4	124.18	45.22
	Reproductiva	12.7	17.6	14.9	38.88	-23.98
	Madurez	41.3	16.5	104.2	122.15	-17.97
2	Germinación	10.7	18.0	45.6	37.45	8.15
	Vegetativa	38.3	16.7	151.5	115.61	35.89
	Reproductiva	11.7	16.4	35.3	28.64	6.66
	Madurez	41.3	16.5	56.4	125.19	-68.79
3	Germinación	11.0	16.7	73.7	28.62	45.08
	Vegetativa	39.0	16.6	109.5	114.94	-5.44
	Reproductiva	17.0	16.2	18.1	59.19	-41.09
	Madurez	34.0	16.7	35.2	84.24	-49.04
MEDIAS	Germinación	9.8	17.5	58.2	32.02	26.17
	Vegetativa	39.5	17.0	143.47	118.24	25.23
	Reproductiva	13.8	16.7	22.7	42.24	-23.91
	Madurez	38.9	16.6	65.27	110.53	-45.26

FUENTE: SANCHEZ (1998).

DONDE:

Tratamiento 1: Fecha de siembra 01 - VI - 97

Tratamiento 2: Fecha de siembra 15 - VI - 97

Tratamiento 3: Fecha de siembra 30 - VI - 97

La duración de las etapas fenológicas del cultivo de frijol variedad flor de durazno varía por la influencia de los factores ambientales principalmente temperatura y precipitación, como se muestra en el cuadro 2 donde:

La etapa de germinación varía 3.3 días entre el tratamiento 1 que es el de menor duración con 7.7 días y el tratamiento 3 que tiene 11 días, esto debido a que el tratamiento 3 tuvo una temperatura promedio de 16.7°C menor que la del tratamiento 1 que fue de 17.8 y un exceso de agua, que hizo que la semilla disminuyera su metabolismo al no contar con oxígeno en el suelo, por estar ocupando el agua el espacio poroso del suelo, alargando así el tiempo de aparición de la fase de emergencia.

La etapa vegetativa, tiene una diferencia de 3 días entre los tratamientos 1 y 3 que tienen una duración de 41.3 y 38.3 días respectivamente, esto debido a que el tratamiento 1 tuvo una acumulación de humedad superior a los 70 mm durante esta etapa lo que ocasionó que se mantuviera en estado vegetativo durante más tiempo que los tratamientos 2 y 3 que tuvieron una humedad acumulada de 45 mm durante el mismo periodo que provocó que se acelerara la aparición de la floración.

En el caso de la etapa reproductiva, tuvo una diferencia de 5.3 días entre los tratamientos 2 y 3 que tuvieron una duración de 11.7 y 17 días respectivamente, esto es debido a que el tratamiento 2 tuvo una mayor cantidad de agua aprovechable de aproximadamente 40 mm que el tratamiento 3, que no contó con la suficiente humedad para la rápida formación de vainas y por ende su llenado, por tanto una duración mayor de la etapa con respecto al tratamiento 1 y 3.

Para la etapa de madurez, no hay diferencia en la duración de los tratamientos 1 y 2, que tuvieron una duración de 41.3 días. Sin embargo si hay diferencias con el tratamiento 3 que tuvo una duración menor con 34 días, esto debido a que el tratamiento 3 presento una temperatura promedio de 16.7°C más alta que en los tratamientos 1 y 2 en el mismo periodo. Además de estar acompañado de una alta deficiencia de humedad, por presentar al final de la estación de crecimiento, disminuyendo el tiempo de secado de la planta.

REQUERIMIENTOS TERMICOS POR CADA ETAPA FENOLOGICA Y LA ACUMULACION PARA LA APARICION DE LAS FASES FENOLOGICAS, CICLO P-V 1997.

Parámetro por cada etapa fenológica:

- a) Siembra - Emergencia = Germinación
- b) Emergencia - Floración = Vegetativa.
- c) Floración - Fructificación = Reproductiva
- d) Fructificación - Madurez Comercial = Madurez

Los requerimientos térmicos para cubrir cada una de ellas, cuadro 3.

Acumulación total para la aparición de cada fase fenológica.

- Fase 1: Emergencia.
- Fase 2: Floración.
- Fase 3: Fructificación.
- Fase 4: Madurez Comercial.

CUDRO 3. REQUERIMIENTOS TERMICOS DEL CULTIVO DE FRIJOL, POR TRATAMIENTO Y ETAPA FENOLOGICA. CICLO P-V, 1997.

TRATAMIENTO	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3	ETAPA 4	TOTAL
1	62.5	295.8	79.6	271.0	708.9
2	88.0	255.1	70.2	272.4	685.7
3	73.6	256.2	106.1	228.5	664.4
TOTAL	224.1	807.1	255.9	771.9	2059.0
MEDIA	74.4	269.03	85.3	257.3	686.33

FUENTE: SANCHEZ (1998).

DONDE:

- Tratamiento 1: Fecha de siembra 01 - VI - 97
- Tratamiento 2: Fecha de siembra 15 - VI - 97
- Tratamiento 3: Fecha de siembra 30 - VI - 97

En el cuadro 3 se aprecia con mayor cantidad de U.T. promedio la etapa 2, vegetativa, con 269.03 U.T. seguida por la etapa 4, reproductiva, con 257.3 U.T. promedio y con menor promedio la etapa 1, germinación, con 74.7 U.T.

Se distingue el tratamiento 1 con la mayor acumulación, 708.9 U.T., y el de menor acumulación el tratamiento 3 con 664.4 U.T. El requerimiento térmico

promedio del cultivo de frijol variedad flor de durazno es de 686.33 U.T. bajo las condiciones climáticas de la zona de estudio.

En el cuadro 4, se muestra el promedio de U.T. acumuladas para la aparición de cada fase fenológica, para cada tratamiento, donde el promedio para la fase de emergencia es de 74.7 U.T., para la fase de floración es de 343.7 U.T., para la fructificación de 429.03 U.T. y para la fase de madurez comercial de 686.33 U.T.

CUADRO 4. ACUMULACION TOTAL DE U.T., PARA LA APARICION DE CADA FASE FENOLOGICA POR TRATAMIENTO, DEL CULTIVO DE FRIJOL, CICLO P-V, 1997.

TRATAMIENTO	FASE 1	FASE 2	FASE 3	FASE 4
1	62.5	358.3	437.9	708.9
2	88.0	343.1	413.3	685.7
3	73.6	329.8	435.9	664.4
TOTAL	224.1	1031.2	1287.1	2059.0
MEDIA	74.7	343.7	429.03	686.33

FUENTE: SANCHEZ (1998).

DONDE:

Tratamiento 1: Fecha de siembra 01 - VI - 97

Tratamiento 2: Fecha de siembra 15 - VI - 97

Tratamiento 3: Fecha de siembra 30 - VI - 97