



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

DETERMINACION DE LA NORMAL CLIMATICA DE LA
ESTACION METEOROLOGICA ALMARAZ, CUAUTITLAN
IZCALLI, MEXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

P R E S E N T A ,

RAFAEL TREJO VILLARREAL

ASESOR: ING. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



SECRETARÍA NACIONAL
DE EDUCACIÓN
PÚBLICA

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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN. Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

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

Determinación de la normal climática de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México.

que presenta el pasante Rafael Trejo Villarreal
con número de cuenta 9201192-0 para obtener el título de
Ingeniero Agrícola

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

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 19 de Mayo de 2004.

PRESIDENTE Ing. Alfonso Delgado Antúnez

VOCAL Ing. Eduardo García de la Rosa

SECRETARIO Ing. Gustavo Mercado Mancera

PRIMER SUPLENTE Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra

SEGUNDO SUPLENTE Dra. Gloria Herrera Vázquez

D E D I C A T O R I A S .

AI DIOS.

 Todopoderoso que me permitio terminar la carrera al darme el conocimiento y que sin el no hubiera sido posible.

A MI MADRE.

 Maricela Villarreal Bautista, ya que al darme su apoyo incondicional tuve la seguridad y desición para conseguir mi objetivo propuesto.

A MI PADRE.

 Rafael Trejo Garduño, que tuvo la confianza, al dejarme perseguir lo que parecia un sueño en un principio pero cristalizado con el fin de mi carrera "Gracias viejo".

A MIS HERMANOS.

 Patricia Trejo Villarreal, Fernando Trejo Villarreal y David Moises Trejo Villarreal. A todos gracias por darme la fuerza necesaria para terminar la carrera.

A G R A D E C I M I E N T O S .

Agradesco a la U.N.A.M por darme la oportunidad de haberme dado mis años de estudio dentro de su tan prestigiada institución.

Al Ingeniero Gustavo Mercado por apoyarme en el proyecto y llevarlo a un buen fin.

A Sandra Ortiz Diaz por sus consejos y a veces por darme mis jalones de oreja por ser tan necio, eres una verdadera dama y una grandiosa amiga sin ti mi paso por la carrera no hubiera sido igual gracias "parejita".

Por supuesto también agradezco a la familia Ortiz Diaz por su apoyo y permitirme entrar a su casa y hacerme sentir como si fuera mía y mejor aún.

Agradesco a mi compadre Rogelio Tovar Mendoza por otorgarme su finisima amistad a lo largo de estos años en la escuela.

De igual forma agradezco a la familia Tovar Mendoza por abrirme su casa y hacerme sentir como si estuviera en la mía.

A Juan Flores Castillo por su amistad dentro y fuera de la escuela gracias "cocho".

A Emilio Ovando Mateo por su amistad y por estar sintonizado en el mismo onda musical o no Emily.

A Rodolfo Rosete por la amistad y porque no decirlo por los grandiosos momentos de copas cuando fue posible.

Agradesco de una forma especial a Francisco Enrique Hernesto Hernandez Escamilla (q.e.p.d) por su amistad al comienzo de nuestra carrera, tus buenos consejos y se que donde quiera estes la disfrutas mejor que en este plano terrenal. Gracias hermanito.

A la familia Simpson por mostrarnos que existe una sociedad más tonta que la mexicana.

Al señor Carlos Alberto Garcia y al señor Nito Mestre por enseñarme otra forma de ver la vida.

**porque cuando nosotros ya no estemos,
ellas seguirán aquí
con los pies en el suelo
y rodando por el tiempo
como las buenas canciones**

DUNCAN DHU

CONTENIDO

INDICE DE GRÁFICAS.....	<i>i</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>i</i>
INDICE DE CUADROS	<i>ii</i>
INDICE DE ANEXOS	<i>ii</i>
	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Definición de agrometeorología y agroclimatología.....	3
2.2. Aplicaciones de la agrometeorología y agroclimatología.....	4
2.3. Localización y Descripción de la Estación Meteorológica Almaraz.....	5
2.4. Métodos para el cálculo de las variables agroclimáticas.....	6
2.4.1. Evapotranspiración potencial.....	7
2.4.2. Unidades térmicas.....	11
2.4.3. Horas frío.....	12
2.4.4. Probabilidad de lluvia.....	13
2.4.5. Probabilidad de heladas.....	14
2.4.6. Estación de crecimiento.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Características del área de estudio.....	19
3.1.1. Localización Geográfica.....	19
3.1.2. Características Climáticas.....	20
3.1.3. Características Edáficas.....	20
3.2. Metodología.....	21
3.2.1. Datos Climáticos.....	21
3.2.2. Métodos Empleados.....	21
3.3 Variables Climáticas.....	22
3.3.1. Comportamiento de la temperatura.....	22
3.3.2. Temperatura mínima a la intemperie.....	22
3.3.3. Comportamiento de la evaporación.....	22
3.3.4. Comportamiento de la precipitación (pp).....	22
3.3.5. Comportamiento de la humedad atmosférica.....	22
3.3.6. Comportamiento del viento.....	22
3.3.7. Comportamiento de la radiación solar.....	22
3.3.8. Comportamiento de la insolación.....	22
3.3.9. Temperatura del suelo.....	23
3.3.10. Comportamiento de la presión atmosférica.....	23

	Pág.
3.3.11. Comportamiento de la nubosidad.....	23
3.3.12. Número de días con nubosidad.....	23
3.3.13. Número de días con lluvia apreciable.....	23
3.3.14. Número de días con lluvia inapreciable.....	23
3.3.15. Número de días con rocío.....	23
3.3.16. Número de días con tormenta eléctrica.....	23
3.3.17. Número de días con helada.....	23
3.3.18. Número de días con granizo.....	24
3.3.19. Número de días con niebla.....	24
3.4. Variables Agroclimáticas.....	24
3.4.1. Unidades térmicas.....	24
3.4.2. Evapotranspiración potencial.....	24
3.4.3. Estación de crecimiento.....	24
3.4.4. Horas frío.....	24
3.4.5. Probabilidad de lluvia.....	24
3.4.6. Probabilidad de helada.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Comportamiento de la temperatura.....	25
4.2. Temperatura mínima a la intemperie.....	26
4.3. Comportamiento de la evaporación.....	28
4.4. Comportamiento de la precipitación.....	30
4.5. Comportamiento de la humedad atmosférica.....	32
4.6. Comportamiento del viento.....	34
4.7. Comportamiento de la radiación solar.....	37
4.8. Comportamiento de la insolación.....	39
4.9. Temperatura del suelo.....	41
4.10. Comportamiento de la presión atmosférica.....	42
4.11. Comportamiento de la nubosidad.....	44
4.12. Número de días con nubosidad.....	46
4.13. Número de días con lluvia apreciable.....	47
4.14. Número de días con lluvia inapreciable.....	49
4.15. Número de días con rocío.....	50
4.16. Número de días con tormenta eléctrica.....	52
4.17. Número de días con helada.....	53
4.18. Número de días con granizo.....	55
4.19. Número de días con niebla.....	56
4.20. Unidades térmicas.....	58
4.21. Evapotranspiración potencial.....	61
4.22. Estación de crecimiento.....	62
4.23. Horas frío.....	63
4.24. Probabilidad de lluvia.....	64
4.25. Probabilidad de helada.....	65

V. CONCLUSIONES.....	Pág. 68
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	71
VII. ANEXOS.....	73

INDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Marcha de la Temperatura Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	25
Gráfica 2. Marcha de la Temperatura Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	26
Gráfica 3. Temperatura Mínima a la Intemperie Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	27
Gráfica 4. Temperatura Mínima a la Intemperie Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	28
Gráfica 5. Comportamiento de la Evaporación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	29
Gráfica 6. Comportamiento de la Evaporación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	29
Gráfica 7. Comportamiento de la Precipitación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	30
Gráfica 7a. Comportamiento de la Precipitación Total anual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	31
Gráfica 8. Comportamiento de la Precipitación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	31
Gráfica 8a. Comportamiento de la Precipitación Total anual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	32
Gráfica 9. Comportamiento de la Humedad Atmosférica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	33
Gráfica 10. Comportamiento de la Humedad Atmosférica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	33
Gráfica 11. Comportamiento del Recorrido del Viento Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	34
Gráfica 11a. Dirección del Viento Frecuencia Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	35
Gráfica 12. Comportamiento del Recorrido del Viento Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	36
Gráfica 12a. Dirección del Viento Frecuencia Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	37
Gráfica 13. Comportamiento de la Radiación Solar Global Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	38
Gráfica 14. Comportamiento de la Radiación Solar Global Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	39
Gráfica 15. Comportamiento de la Insolación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	40

	Pág.
Gráfica 16. Comportamiento de la Insolación Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	40
Gráfica 17. Comportamiento de la Temperatura del Suelo Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	41
Gráfica 18. Comportamiento de la Temperatura del Suelo Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	42
Gráfica 19. Comportamiento de la Presión Atmosférica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	43
Gráfica 20. Comportamiento de la Presión Atmosférica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	44
Gráfica 21. Comportamiento de la Nubosidad Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	45
Gráfica 22. Comportamiento de la Nubosidad Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	45
Gráfica 23. Promedio Mensual con Días Medio Nublados, Días Nublados y Días Despejados. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	46
Gráfica 24. Promedio Mensual con Días Medio Nublados, Días Nublados y Días Despejados. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	47
Gráfica 25. Número de Días con Precipitación Apreciable Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	48
Gráfica 26. Número de Días con Precipitación Apreciable Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	48
Gráfica 27. Número de Días con Lluvia Inapreciable Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	49
Gráfica 28. Número de Días con Lluvia Inapreciable Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	50
Gráfica 29. Número de Días con Rocío Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	51
Gráfica 30. Número de Días con Rocío Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	51
Gráfica 31. Número de Días con Tormenta Eléctrica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	52
Gráfica 32. Número de días con Tormenta Eléctrica Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	53
Gráfica 33. Número de Días con Helada Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	54
Gráfica 34. Número de Días con Helada Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	54
Gráfica 35. Número de Días con Granizo Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	55

	Pág.
Gráfica 36. Número de Días con Granizo Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	56
Gráfica 37. Número de Días con Niebla Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	57
Gráfica 38. Número de Días con Niebla Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1998-2002.....	57
Gráfica 39. Unidades Térmicas Acumuladas por mes. Base 4.5°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	58
Gráfica 39a. Unidades Térmicas Acumuladas por mes Base 6°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	59
Gráfica 39b. Unidades Térmicas Acumuladas por mes Base 8°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	59
Gráfica 39c. Unidades Térmicas Acumuladas por mes Base 10°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	60
Gráfica 40. Comportamiento de la Evapotranspiración Potencial Promedio Mensual. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	62
Gráfica 41. Estación Crecimiento Normal. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	62
Gráfica 42. Probabilidad de Lluvia. Método Frecuencia Acumulada. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	64
Gráfica 42a. Probabilidad de Lluvia. Método Normal. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	65
Gráfica 43. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Método de Pájaro y Ortiz. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	66
Gráfica 43a. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Método de Da Mota. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	67
Gráfica 43b. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Método Normal. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.....	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista general de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli. México.....	5
Figura 2. Componentes de la Estación de Crecimiento.....	17
Figura 3. Localización Geográfica del Municipio de, Cuautitlán Izcalli. México.....	19

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Coeficiente de ajuste "C" para estimar la Evapotranspiración potencial como función de la evaporación medida en tanque tipo "A".....	9

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Resumen de los datos de la normal climática en promedios mensuales de la Estación Meteorológica Almaraz de 1987-2002.....	74
Anexo 2. Régimen de Unidades Térmicas (U.T) para maíz en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.....	76
Anexo 3. Régimen de Unidades Térmicas (U.T) para frijol en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.....	76
Anexo 4. Régimen de Unidades Térmicas (U.T) para trigo en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.....	77
Anexo 5. Requerimiento de horas frío de algunas variedades de frutales.....	78
Anexo 6. Temperaturas letales congelantes en diferentes especies y etapas fenológicas.....	78
Anexo 7. Horas frío calculadas por el Método de Weinberger.....	80
Anexo 8. Horas frío calculadas por el Método de Utha.....	81
Anexo 9. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 4.5°C.....	85
Anexo 10. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 6°C.....	85
Anexo 11. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 8°C.....	86
Anexo 12. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 10°C.....	86

I. INTRODUCCIÓN.

El estudio de las condiciones climáticas reviste gran interés para planear y realizar muchas de las actividades humanas, y en relación a la agricultura, está tendrá éxito en gran medida si las condiciones climáticas son favorables.

En general existen muy pocos estudios Agroclimáticos en el país que permitan realizar una planeación agrícola satisfactoria. Mucho del trabajo que en campo se realiza, se basa en la experiencia familiar que se transmite de generación en generación. Porque en la zona de estudio, no existe información que permita dar soporte a las actividades que en el campo se realizan.

El cambio de uso del suelo de la zona, ocasiona que la información que genera la Estación Meteorológica, tenga otros fines, como por ejemplo estimación de lluvias para calcular el diámetro de tuberías de drenaje, entre otros, sin embargo, estas áreas urbanas, también consideran en su diseño la creación de parques y jardines, que requieren de condiciones climáticas favorables para el desarrollo de los vegetales.

Es por eso que se planteó realizar la determinación del comportamiento de los elementos del clima que en la Estación Meteorológica Almaraz de la FES-Cuautitlán, se han registrado en los últimos 15 años. Este producto del análisis permitirá acercarse al comportamiento normal del clima de la zona de influencia de la Estación Meteorológica, a través del estudio de los datos de dos periodos; el primero con datos del periodo de 5 años, de 1998-2002, puesto que la serie de 1987-1997, ya se ha analizado anteriormente, (Flores, 1998). El segundo periodo con la serie completa, integrando la información de los años 1987-2002.

Ambos periodos fueron analizados por separado sin embargo, el comportamiento normal de los elementos climáticos, se obtuvo concentrando las series de los datos de 1987-1997 y 1998-2002.

Desde el punto de vista agrícola, la información climática que aquí se expone, puede ser usada para la planeación de las actividades agropecuarias que se realizan en las áreas cultivadas, del área de influencia de la Estación Meteorológica Almaraz; asimismo, permitirá apoyar la programación de la producción agrícola con fines de investigación en las instalaciones de la Facultad, que sirven de apoyo a las actividades docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola.

Para llevar a cabo el estudio fue necesario tomar en cuenta los datos climáticos diarios de 15 años de trabajo de la Estación Meteorológica, para calcular los valores promedio de ellos, así como calcular la tendencia del comportamiento de algunos parámetros agroclimáticos, teniendo entre otros el cálculo del periodo libre de heladas, la evapotranspiración, estación de crecimiento, etc.. Adicionalmente se determinó el comportamiento de los fenómenos meteorológicos que imperan en la zona de estudio, como son rocío, granizo, niebla, entre otros.

Por lo anterior se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo general

Establecer el comportamiento más frecuente (normal), de los elementos del clima, registrados en la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México, del periodo 1987-2002.

1.1.2. Objetivos particulares.

- 1) Analizar el comportamiento de los elementos del clima, registrados de 1987 – 2002.
- 2) Determinar el comportamiento de los parámetros agroclimáticos del periodo 1997 – 2002.
- 3) Comparar el comportamiento de los elementos climáticos y parámetros agroclimáticos de la serie 1997 – 2002 con la serie de 1987 – 1997, para obtener el análisis de la serie completa: 1987-2002.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1. Definición de Agrometeorología y Agroclimatología.

Para poder establecer el valor normal de los elementos climáticos, debemos tener en cuenta en primer lugar, algunas de las definiciones que anteceden a este trabajo, para tener un panorama del desarrollo del proyecto, es por eso que es de suma importancia lo siguiente:

La Agrometeorología explica Lomas (1999), (www.infoagro.com.ar) es la aplicación de datos y de información sobre el clima, inclusive pronósticos del tiempo, a la planificación y la tecnología agropecuaria, dice que si se conocen los datos del pasado en cierta región, entonces a partir de esos datos históricos se puede programar para el futuro con mayor efectividad. Puede basarse en la probabilidad estadística de lo que sucedió en el pasado y muy probablemente se repita en el futuro, lo que permite ajustar la producción agropecuaria a la variabilidad y a los cambios de las condiciones climáticas.

La Agrometeorología es el conjunto interdisciplinario que se encarga de poner los conocimientos meteorológicos al servicio de la agricultura con el propósito de optimizar la producción. Torres (1995).

Por su parte Romo (1989), la define 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.

Climatología Agrícola o Agroclimatología es 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. Romo (1989)

Villalpando (1993), las define y separa como actividades operativas y de planeación.

Dentro de la Agrometeorología las actividades operativas son:

- 1) Programación de fechas de siembra.
- 2) Pronóstico de fases fenológicas.
- 3) Pronóstico de heladas.
- 4) Manejo de maquinaria para prácticas agrícolas.
- 5) Manejo de ambientes controlados, e invernaderos.

Y en las actividades de planeación correspondiente a la Agroclimatología los puntos a seguir son:

- 1) Definición de áreas de uso de la tierra.
- 2) Zonificación de cultivos.
- 3) Adaptación de cultivos y animales.
- 4) Manejo de praderas y animales.

De Fina y Ravello (1975), consideran que da los pronósticos o predicciones meteorológicas a muy corto plazo, máximo 48 horas, y que su grado de precisión no es del todo satisfactorio, tiene más utilidad para la

agricultura el estudio de las probabilidades de que ocurran eventos desfavorables para los cultivos. Este tipo de estudios se basaría lógicamente en estadísticas de los fenómenos meteorológicos.

2.2. Aplicaciones de la Agrometeorología y Agroclimatología.

Se puede decir, que el fin de la Agrometeorología es contribuir al desarrollo del agro con un mejor conocimiento de los efectos que ejerce el tiempo y clima en los sistemas de producción agrícola (suelo, planta, ganado), lo que permite desarrollar planes y estrategias a corto, medio y largo plazo. Conocidos los datos del pasado de cierta región, se pueden programar las actividades futuras con mayor efectividad.

Tanto la Agrometeorología como la Agroclimatología pretenden poner a disposición de la agricultura los avances tecnológicos estudiando la adaptación de los cultivos agrícolas a los climas, la capa superficial del aire desde el suelo hasta unos cinco metros de altura aproximadamente, la relación del tiempo con las cosechas, enfermedades y plagas de los cultivos agrícolas, la influencia de los factores y elementos del clima sobre la fenología de cultivos y plagas agrícolas; así como, el control eficiente de los daños causados por algunos fenómenos meteorológicos.

Para la Agrometeorología.

- a) Previsión y combate de heladas.
- b) Predicción de la aparición de plagas y enfermedades dado el estado del tiempo.
- c) Calendarizar en base a las condiciones atmosféricas y biológicas, los momentos oportunos de preparación de tierras, siembra, laboreo, aplicaciones agroquímicas y cosecha.
- d) Prevenir a los agricultores del peligro de granizadas, vientos huracanados, lluvias excesivas, etc.
- e) Avisos de incendios en los bosques.
- f) Control de insectos y enfermedades.
- g) Momento oportuno de riego.

Para la Agroclimatología.

- a) Apertura racional de nuevas zonas a la agricultura y/o 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 eliminarlas o atenuarlas.
- e) Planeación de los calendarios de siembra o cosecha.
- f) Planeación, diseño y operación de sistemas de riego.
- g) Modificaciones microclimáticas (cortinas rompe-vientos, invernaderos, etc).
- 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) Planeación de la explotación de agostaderos, bosques y selvas, así como programas de reforestación.

2.3. Localización y Descripción de la Estación Meteorológica Almaraz.

La Estación Meteorológica Almaraz se encuentra ubicada en la parcela No 14, en una superficie de 152m², en la Facultad de Estudios Superiores, UNAM; en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. (Figura 1)

Se localiza en la Longitud Oeste de 99°11'42" y en la Latitud Norte de 19°41'35"; a una altura de 2,274msnm.

Figura 1. Vista general de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli. México.



La Estación Meteorológica Almaraz cuenta con instrumental convencional, de lectura directa y de registro. Inició su trabajo en 1981, sin embargo, es hasta 1987 cuando se comienza a registrar los datos climáticos de manera ordenada, sistematizándose en una base de datos, que permiten contar con un archivo de datos diarios, hasta la fecha.

La instalación de la estación Meteorológica, se basó en los lineamientos que la Organización Meteorológica Mundial establece, como son entre otros aspectos, el contar con abrigos meteorológicos orientados al Norte y a 1.5mts de altura; la infraestructura pintada de blanco; cercada; emplazada en un predio legalmente constituido; de fácil acceso para el observador; los obstáculos más cercanos se encuentran a 400 metros de distancia de la Estación; cubierto de pasto el suelo; y con personal capacitado para la toma de datos, entre otros.

En la Estación Meteorológica Almaraz, se realizan observaciones instrumentales de los elementos del clima, así como, observaciones sensoriales, sobre la presencia de diversos fenómenos meteorológicos, diariamente, en una rutina de trabajo de cada tres horas. Sin embargo, cuando se observa la presencia de algún fenómeno meteorológico fuera de la hora de observación, se anota su presencia en la hoja de registro correspondiente.

El equipo con el que cuenta la Estación Meteorológica es el siguiente:

1. Temperatura:
 - a) Termómetro de mínima modelo Rutherford.
 - b) Termómetro de máxima modelo Negretti.
 - c) Termómetro de máxima y mínima tipo six.
 - d) Termómetro de mercurio para el suelo.
 - e) Termógrafo.
2. Humedad Atmosférica:
 - a) Psicrómetro de onda.
 - b) Psicrómetro de ventilación natural.
 - c) Higrógrafo.
3. Presión Atmosférica:
 - a) Barómetro de mercurio tipo fortín.
 - b) Barógrafo.
4. Precipitación:
 - a) Pluviómetro.
 - b) Pluviógrafo.
5. Evaporación:
 - a) Evaporímetro o Tanque de evaporación "tipo A".
6. Viento:
 - a) Anemógrafos a 2.0 mts, 4.0 mts, y 6.0 mts de altura.
 - b) Anemómetro totalizador de 30 cm.
 - c) Veleta para determinar su dirección de acuerdo a la rosa de los vientos.
7. Insolación:
 - a) Heliógrafo tipo Campbell-Stokes.
8. Radiación solar:
 - a) Actinógrafo tipo Robisztsch.

2.4. Métodos para el cálculo de las variables agroclimáticas.

A continuación se describen brevemente los métodos que fueron empleados en este trabajo, para determinar los valores y el comportamiento de las variables agroclimáticas, considerando los métodos que permitieran comparar la información que se obtuvo en el periodo de 1998 – 2002, con la información que Flores, 1998, reportó del análisis de la información de la Estación Meteorológica de 1987- 1997.

2.4.1. Evapotranspiración potencial.

Hansen (1979), citado por Quintero, O. R. (1991), define la evapotranspiración como la cantidad de agua utilizada por las plantas para realizar sus funciones de transpiración, más el agua que se evapora de la superficie del suelo en la cual la planta se desarrolla.

Chang (1968), por su parte reporta que la evapotranspiración potencial (ETP), es la cantidad de agua consumida en la unidad de tiempo por un cultivo verde, corto y de altura que sombrea completamente el terreno y nunca tiene deficiencia de agua.

Ortiz (1987), dice que la evapotranspiración real (ETR), se refiere a la cantidad de agua perdida por el complejo suelo-planta en las condiciones meteorológicas, edáficas y biológicas existentes.

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

Algunas de sus aplicaciones son las siguientes: calcular la evapotranspiración real, definición de periodos de crecimiento, diagnosticar necesidades de riego y calcular balances de humedad.

Para la estimación se tienen dos tipos de métodos, directos e indirectos.

En el método directo, se proporciona directamente el consumo total de agua requerida, por lo que se hace uso de aparatos e instrumentos para su estimación.

En los métodos directos existen:

- a) El Método Lisimétrico.
- b) El Método Gravimétrico en parcelas experimentales.
- c) El Método de Thornthwaite.
- d) El método de entradas y consumos de agua.

Los métodos Indirectos estiman el consumo de agua a través de todo el ciclo vegetativo. Como métodos indirectos, con base en datos meteorológicos se tienen los siguientes:

- a) El Método de Blaney y Criddle.
- b) El Método del Tanque de Evaporación Tipo "A".
- c) El Método de Penman Ajustado.
- d) El Método de Meyer, etc.

Sin embargo, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en la Estación Meteorológica Almaraz, solo se utilizaron el método de Thornthwaite y el método del Tanque de evaporación "Tipo A".

El método de Thornthwaite.

Es probablemente el más usado a nivel mundial debido a que exige solo el uso de una variable meteorológica, que es la temperatura; y su fórmula es la siguiente:

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

Donde:

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

T = Temperatura media del aire en °C.

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

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

$$a = 0.000000675 I^3 + 0.0000771 I^2 + 0.07992 I + 0.49239$$

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

$$ETP^o = ETP \times f$$

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

Método del tanque de evaporación tipo "A".

Con el método basado en dispositivo evaporimétrico, Tanque de Evaporación, Chávez (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.

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. Los estudios realizados por Chávez (1973), citado por Aguilera y Martínez (1990), en Arizona, muestran los coeficientes de ajuste de la fórmula que se utiliza para la estimación de la evaporación potencial, como función de la evaporación medida en el tanque y la fórmula es:

$$ETP = C \times Ev$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial.

Ev = 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 de la turbiedad y profundidad del agua.

Como menciona Palacios (1977) citado por Aguilera y Martínez (1990) uno de los mayores problemas en la estimación del coeficiente C, es la ubicación del tanque y el medio que lo rodea (véase Cuadro 1).

Cuadro 1. Coeficiente de ajuste "C" para estimar la evaporación potencial como función de la evaporación medida en el 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 Vegetación m.			
Ligero <175	0	0.55	0.65	0.75
	10	0.65	0.75	0.85
	100	0.70	0.80	0.85
	1000	0.75	0.85	0.85
Moderado 175-425	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.60	0.70	0.75
	100	0.65	0.75	0.80
	1000	0.70	0.80	0.80
Fuerte 425-700	0	0.45	0.45	0.50
	10	0.55	0.55	0.60
	100	0.60	0.60	0.65
	1000	0.65	0.60	0.65
Muy Fuerte >700	0	0.40	0.45	0.50
	10	0.45	0.55	0.60
	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.55	0.60	0.65

Fuente: Palacios (1977), citado por Aguilera y Martínez (1990).

Cuadro 1. Continua.

TANQUE	TANQUE RODEADO DE TIERRA SECA.			
		Baja 40	Media 40-70	Alta 70
Hum. Rel. % Promedio				
Viento Km/día	Viento Sup. Distancia a la Vegetación m.			
Ligero <175	0	0.70	0.80	0.85
	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.50	0.60	0.70
Moderado 175-425	0	0.65	0.75	0.80
	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.45	0.55	0.60
Fuerte 425-700	0	0.60	0.65	0.70
	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.40	0.45	0.55
Muy Fuerte >700	0	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.35	0.40	0.45

Fuente: Palacios (1977), citado por Aguilera y Martínez (1990).

2.4.2. Unidades térmicas (U.T).

Para describir la influencia de la temperatura sobre la fenología de las plantas se ha usado desde el siglo XVIII el concepto de sumas de temperatura más conocido como Unidades Calor, Grados Día ó Unidades Térmicas de Crecimiento.

Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo dependen de la cantidad de calor que reciben. Esto quiere decir, nos indican Hodges y Doraiswamy, 1979 (citado por INIFAP, 1990) que "...un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello..."

A las unidades térmicas las define Romo (1989), como la cantidad de temperatura acumulada que necesita una especie vegetal para completar su ciclo vegetativo, así mismo, todas las plantas deben acumular determinada cantidad de calor, medida en grados/día o unidades térmicas desde la germinación hasta la madurez.

O como lo señala Bootsma (1977), citado por Corzo, S. J. (1992) la constante térmica para un determinado cultivo es la cantidad acumulada de temperatura desde la emergencia hasta la madurez fisiológica.

Sin embargo, la acumulación de unidades térmicas (U.T) durante una etapa vegetativa es variable para localidades diferentes.

Los métodos para calcular unidades térmicas se agrupan en las tres categorías básicas siguientes:

- 1) Método Exponencial.
- 2) Método Fisiológico.
- 3) Método Residual.

Sin embargo para el caso de la presente investigación, se utilizó el Método Residual, que consiste en:

Método residual.

El índice residual acumula unidades calor arriba de una cierta temperatura base, llamada cero biológico; ésta temperatura base varía para diferentes cultivos por ejemplo; para maíz es 10°C, para cítricos 12°C, para cacao 13°C, entre otros. Para aplicar este método se debe contar con la temperatura media diaria.

Para calcular las unidades térmicas por éste método, se emplea la siguiente fórmula básica:

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

Donde:

- U.T = Unidades Térmicas
- T. máx = Temperatura Máxima.
- T. mín = Temperatura Mínima.
- T. base = Temperatura base
- i = Días, Decenas, etc.,.....1, 2, 3.....n.

2.4.3. Horas frío.

Es la unidad de medida de los requerimientos de bajas temperaturas que presentan las plantas y una hora frío es aquella en la cual la temperatura del aire es igual o inferior a 7°C. Por lo que la acción que ejercen las bajas temperaturas en los cultivos no siempre es perjudicial, debido a que las plantas invernales y las perennes caducifolias requieren de un período de enfriamiento ó vernalización. Este período de frío es necesario para cumplir posteriormente su desarrollo sin anomalías fenológicas ni alteraciones en el rendimiento (INIFAP, 1990).

Existen varios métodos para calcular las Horas Frío y es recomendable usar el que mejor se adapte a la zona de estudio.

Según comparaciones hechas en campo, dice Damario, (1969) citado por Corzo, S. J (1992): "...los coeficientes y fórmulas estimativas para el cálculo de horas frío, resultan esencialmente locales, pudiéndose extender su aplicación solamente a localidades con condiciones climáticas muy similares en cuanto a la intensidad y amplitud térmica mensual y anual. La aplicación de una misma fórmula a localidades geográficas vecinas pueden producir errores grandes de estimación..."

Dentro de sus aplicaciones se tienen las siguientes: clasificación de especies frutícolas, planificación de actividades de manejo (podas, injertos, compensadores de frío) y determinar el potencial frutícola en áreas templadas.

Para calcular el índice de horas frío se puede realizar con los siguientes métodos:

a) Métodos Directos.

- método del huerto fenológico.
- Método del termógrafo.

b) Métodos Indirectos.

- método de F. S. Da Mota.
- método del Dr. Weinberger.
- método de Crossa-Raynaud
- método del Dr. Sharpe.

Para el cálculo de las horas frío con los datos obtenidos en la Estación Meteorológica Almaraz, los métodos que se utilizaron fueron:

- 1) Método de F. S. Da Mota.
- 2) Método de Weinberger.
- 3) Método de Utha.

Método de F. S. Da Mota.

Es un método que utiliza la temperatura media mensual de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero para calcular las horas frío acumuladas mensualmente. La fórmula desarrollada por Da Mota (1979) es la siguiente:

$$H.F. = 485.1 - 28.52 T_m$$

Donde:

H.F. = Horas Frío mensuales.

T_m = Temperatura Media Mensual ($^{\circ}\text{C}$).

Método de Weinberger.

J. H. Weinberger (1967), hace una estimación de las horas inferiores a 7°C en relación a las temperaturas medias de los meses de Diciembre y Enero (Anexo 5). Con esas tablas basta con comparar la temperatura media combinada de éstos 2 meses con los valores calculados para obtener una estimación del número de horas frío acumuladas.

Método de Utha.

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 6).

2.4.4. Probabilidad de Lluvia.

Debido a que el comportamiento de la precipitación es muy irregular, el cálculo de la probabilidad de ella, definida 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., es de vital importancia para la planeación agrícola. Así se considera como un análisis estadístico detallado con el fin de caracterizar la lluvia en alguna dimensión y con el cálculo de su probabilidad se pueden tener las siguientes aplicaciones: estimar fechas de siembra; cantidad mínima de lluvia durante la etapa más crítica de un cultivo; estimar fecha de cosecha en áreas lluviosas; estimar el éxito de una práctica de producción (dosis de fertilizante, labranza); predicción del rendimiento en áreas donde la lluvia es el factor limitante para calcular índices de sequía y/o exceso de humedad; balances hídricos; periodos de crecimiento y problemas fitosanitarios.

Para uso de este proyecto, los métodos que se utilizaron para obtener la probabilidad de lluvia fueron:

- a) La Distribución Acumulada.
- b) La Distribución Normal.

Distribución acumulada.

La distribución acumulada nos da la probabilidad mediante la fórmula:

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

Donde:

F = Es la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia mayor o igual a un valor establecido, $P(x \geq x_0)$

N = Es el número de orden

n = El número de años

Distribución normal.

La distribución normal es una de las funciones más sencillas que se utilizan para deducir las probabilidades de lluvia, siendo su fórmula:

$$z = \frac{P - \bar{P}}{\sigma}$$

Donde las principales características de la distribución normal son las siguientes:

\bar{P} = Es la media aritmética: $\bar{p} = \frac{\sum p_i}{n}$

σ = Que es la desviación estándar: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P)^2}{n}}$

2.4.5. Probabilidad de heladas.

Una helada es considerada desde el punto de vista meteorológico, como la ocurrencia de una temperatura igual o menor de 0°C, aunque desde el punto de vista agrometeorológico, se consideran aquellas temperaturas que pueden oscilar entre los 2 y 4°C, dependiendo del cultivar al que se haga referencia. Y siendo la agricultura una empresa sujeta a riesgos, las heladas se constituyen como un peligro más a su buen desarrollo.

Al estudiar la probabilidad de ocurrencia de las heladas, se está en la posibilidad de disminuir racionalmente el riesgo de sufrir pérdidas en la producción agrícola.

Para cultivos perennes, por ejemplo, se estima como riesgo aceptable el que se produzcan temperaturas mínimas iguales o inferiores a las temperaturas letales congelantes una vez cada 20 años, es decir con una probabilidad de ocurrencia de heladas no mayor del 5%, que asegure un razonable desarrollo de estos cultivos.

Para los cultivos anuales, cuya implantación es menos costosa que la de los perennes, puede considerarse un riesgo mayor de daños, como un 20% de probabilidad, lo que implica aceptar heladas en uno de cada 5 años.

El periodo libre de heladas para un año dado, por lo tanto, está determinado por el número de días que transcurren entre la helada más tardía o última y la helada más temprana o primera. Sin embargo, considerando que a pesar de tener una fecha cualquiera una probabilidad de 5% o menos de ocurrencia de helada, el riesgo es latente, por lo que es conveniente mejor definir el periodo entre la última y la primera helada como *El Periodo de Bajo Riesgo de Ocurrencia de Helada*.

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

Para su estimación se utilizan los siguientes métodos:

- a) Distribución Acumulativa.
- b) Distribución Normal.
- c) Método de D. S. Da Mota.
- d) Método de Pájaro y Ortiz.

Sin embargo en la metodología del presente proyecto sólo se utilizaron los métodos de Da Mota, Distribución Normal y el de Pájaro y Ortiz, que se explican brevemente a continuación.

Método de F. S. Da Mota.

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

$$P = C^I \text{ donde } I = \frac{m + 1 - x}{m + 1}; C = \frac{m}{n}$$

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.

Distribución Normal.

Si existe un gran número de observaciones (muchos años con registros de temperatura para cuantificar la fecha de primera y última helada) y además todo los años registran heladas, se sugiere usar la distribución normal para calcular probabilidades de ocurrencia de éstas.

Para calcular probabilidades mediante la distribución normal, es necesario primero conocer la desviación estándar y la media de los datos. Después de obtener los valores de la desviación estándar muestral y media, se estandariza cada uno de los datos tanto de la primera como de la última helada con la siguiente fórmula:

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

Donde;

X = Dato codificado.

\bar{X} = Media.

S = Desviación estándar muestral.

Método de Pájaro y Ortiz.

Pájaro y Ortiz (1988), menciona que disponiendo de la 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 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 2 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 corresponda a la fecha en las cuales se tienen probabilidades de 12.1% y 11.7% de ocurrencia de helada, respectivamente.

2.4.6. Estación de crecimiento.

La estación de crecimiento es el periodo para las plantas, que presenta condiciones favorables de humedad, temperatura, para su desarrollo y crecimiento.

Al respecto Grassi (1983), utilizó el término estación ó periodo de crecimiento para el número de días entre la fecha promedio de la última y primera helada que mata a las plantas en primavera y otoño; este concepto lo utilizó para determinar la longitud de la estación de crecimiento en los EE.UU.

Por lo que respecta al método propuesto para utilizar en este trabajo, la estación de crecimiento de una zona es considerada como el número de días que en un año o ciclo agrícola existe la posibilidad de agua, así como también temperaturas óptimas para el desarrollo de los cultivos establecidos o los que se vayan a establecer. (FAO, 1978)

Romo (1985), utilizó la metodología de la FAO para obtener la estación de crecimiento por disponibilidad de humedad, con respecto a la temperatura media requerida para el inicio de crecimiento de los cultivos

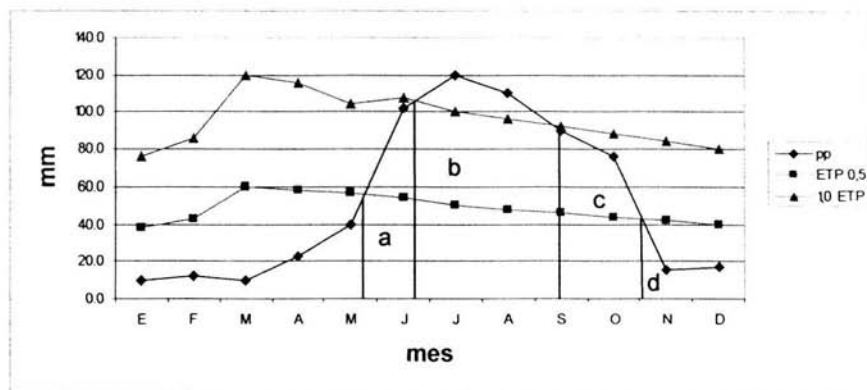
que estudió y la probabilidad de ocurrencia de heladas que no debe de exceder del 5% e indicó que el fin del período de crecimiento se dará cuando alguna de las tres condiciones anteriores no se cumplan.

La FAO (1978), en su proyecto de zonas agroecológicas utiliza a la evapotranspiración potencial (ETP) en la definición de los períodos de crecimiento. Por período de crecimiento se considera el número de días durante el año en el que existe disponibilidad de agua y una temperatura favorable para el desarrollo de cultivos.

El cálculo del período de crecimiento por disponibilidad de humedad se basa en un modelo simple de balance de humedad comparando la precipitación (P) con la evapotranspiración potencial (ETP).

Para el período de crecimiento por disponibilidad de humedad se tienen componentes del período de crecimiento y se ejemplifican en la Figura 2.

Figura 2. Componentes de la Estación de Crecimiento.



Donde:

a) INICIO DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO. La determinación del comienzo del período de crecimiento se basa en el inicio de la estación de las lluvias. Se puede tener la certeza del inicio de las lluvias si se toma como principio del período de crecimiento, e inicio de la estación de lluvias, al momento en el cual las precipitaciones son iguales o superiores a la mitad de la evapotranspiración potencial ($P \geq 0.5 \text{ ETP}$), siendo las lluvias suficientes para satisfacer las exigencias hídricas de los cultivos en su fase inicial (FAO, 1978).

b) PERÍODO HÚMEDO. El período húmedo tiene su inicio cuando las precipitaciones son superiores a la Evapotranspiración potencial ($P > \text{ETP}$). Este período es incluido dentro de un período normal de

crecimiento. Durante este lapso, no sólo es posible satisfacer plenamente la demanda de evapotranspiración de las plantas con su parte aérea desarrollada completamente o al máximo sino además, responder el déficit de humedad del perfil del suelo. (FAO, 1978)

c) FINAL DE LAS LLUVIAS. Se considera como el momento, después del período húmedo, en que la precipitación es igual a 0.5 ETP. Esto se aprecia cuando la frecuencia y cantidad de las precipitaciones disminuye notablemente y aumenta el déficit de precipitaciones, lo cual determina una clara alteración del ambiente que a su vez origina visibles cambios en las respuestas fisiológicas de los cultivos, además de que se ven obligados a madurar con precipitaciones iguales a 0.5 ETP o menores. (FAO, 1978)

d) FINAL DEL PERÍODO DE CRECIMIENTO. La terminación del período de crecimiento coincide con la terminación de la estación de lluvias ($P = 0.5$ ETP). Al definir la longitud del período de crecimiento hay que tener en cuenta el agua almacenada en el suelo. El período de crecimiento de la mayoría de los cultivos prosigue después de terminada la estación de lluvias y, en mayor o menor grado, los cultivos maduran a menudo aprovechando las reservas de humedad acumuladas en el perfil del suelo. (FAO 1978)

También se consideró al período de crecimiento por temperatura como el período libre de heladas (PLH), al 20% de probabilidad estimada por 3 métodos: el método de Pájaro y Ortiz, el método de Da Mota y el Método Normal.

III. MATERIALES Y METODOS.

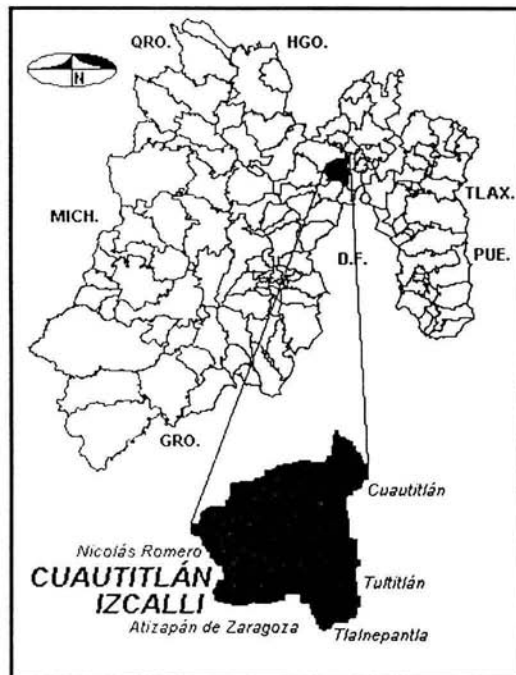
3.1. Características del área de estudio.

3.1.1. Localización Geográfica.

El presente estudio se realizó dentro de los terrenos de la FES Cuautitlán, localizado dentro del Valle donde se ubican los municipios de Cuautitlán México y Cuautitlán Izcalli, Estado de México, perteneciendo políticamente al segundo.

El municipio se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9km² que representa el 0.5% de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,274msnm, el municipio de Cuautitlán Izcalli, se encuentra ubicado dentro del eje Neovolcánico, con las elevaciones al Suroeste y Oeste del municipio, que forman parte de las estribaciones de las sierras de Monte alto y Monte Bajo, y colinda al norte con los municipios de Tepetzotlán y Cuautitlán México, al este con Cuautitlán México y Tultitlán, al sur con Tlalnepantla de Baz y Atizapán de Zaragoza, al Oeste con Villa Nicolás Romero y Tepetzotlán, (Figura 3).

Figura 3. Localización Geográfica del Municipio de, Cuautitlán Izcalli. México.



Fuente: www.edomex.gob.mx/se/cuauizcadiag

3.1.2. Características Climáticas.

El municipio de Cuautitlán Izcalli cuenta con un clima según Koppen y modificado por Enriqueta García (1973), C(w_o) (w) b (i') es decir, templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvias de verano e invierno seco y con un porcentaje de lluvia invernal menor al 5% del total anual. La temperatura media anual es de 14.8°C, con una oscilación media mensual de 5.8°C, siendo enero el mes más frío con una temperatura promedio de 11.6°C y Junio como el mes más caliente, con 17.4°C promedio. (Flores 1998)

3.1.3. Características Edáficas.

Los suelos predominantes de la FES-Cuautitlán quedan definidos como vertisoles pelíticos, de acuerdo al sistema de clasificación FAO-DETENAL (1981), citado por De la Teja (1982), los cuales se originaron a partir de depósitos de material ígneo.

Son suelos pesados, difíciles de labrar y de drenaje interno con tendencia a deficiencia.

De la Teja (1982), señala que estos suelos presentan dificultad al laboreo por su adhesividad y plasticidad cuando se humedecen y por su dureza cuando permanecen secos.

3.2. Metodología.

3.2.1. Datos Climáticos.

Los datos utilizados en el presente trabajo; fueron capturados durante el periodo de julio de 1987 a diciembre del 2002, en la Estación Meteorológica Almaraz, considerando datos de promedios mensuales y totales anuales de: comportamiento de la temperatura; temperatura mínima a la intemperie a 20cm, 40cm, 60cm, 80cm, 100cm, del suelo; comportamiento de la evaporación; comportamiento de la precipitación; comportamiento de la humedad atmosférica; comportamiento del viento; comportamiento de la radiación solar; comportamiento de la insolación; temperatura del suelo a 10cm, 20cm y 50cm; comportamiento de la presión atmosférica; comportamiento de la nubosidad; número de días con nubosidad; número de días con lluvia apreciable; número de días con lluvia inapreciable; número de días con rocío; número de días con tormentas eléctricas; número de días con heladas; número de días con granizo; número de días con niebla.

3.2.2. Métodos Empleados.

Los métodos que se utilizaron para calcular las variables agroclimáticas fueron:

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

3.3 Variables Climáticas

Las variables climáticas que se evaluaron fueron las siguientes:

3.3.1. Comportamiento de la temperatura.

Para la temperatura se consideraron los valores mínimos, medios y máximos promedio de cada mes de toda la serie.

3.3.2. Temperatura mínima a la intemperie.

Los datos fueron evaluados a 20cm, 40cm, 60cm, 80cm y 100cm de altura, del suelo, obteniendo su promedio mensual y expresado en grados centígrados.

3.3.3. Comportamiento de la evaporación.

Los datos fueron evaluados obteniendo un promedio mensual y expresado en mm.

3.3.4. Comportamiento de la precipitación (pp).

Son datos obtenidos a través del pluviómetro realizando sumatorias para obtener el total y a su vez obtener promedios mensuales expresados en mm.

3.3.5. Comportamiento de la humedad atmosférica.

De los datos recopilados de la estación fueron la humedad relativa máxima, mínima y media en sus promedios mensuales, expresada en porcentajes.

3.3.6. Comportamiento del viento.

Los valores se calcularon en base al recorrido del viento en un promedio mensual a 0.30mts, 2.0mts, 4.0mts y 6.0mts del suelo, expresados en mts/día. Además se estableció la frecuencia promedio de la dirección del viento, con datos diarios de toda la serie considerada.

3.3.7. Comportamiento de la radiación solar.

La recopilación de datos fue hecha por medio de las lecturas del actinógrafo tipo Robitszsch, por día y posteriormente el promedio mensual anual.

3.3.8. Comportamiento de la insolación.

Se cuantificaron las horas de insolación diarias para obtener el promedio mensual. Datos registrados del heliógrafo.

3.3.9. Temperatura del suelo.

De los datos recopilados, se evaluó a una profundidad de 10cm, 20cm y 50cm, obteniendo promedios mensuales y expresados en grados centígrados.

3.3.10. Comportamiento de la presión atmosférica.

Se refirieron los datos de presión atmosférica a máxima, mínima y media; para obtener su promedio mensual y que se expresó en mmHg.

3.3.11. Comportamiento de la nubosidad.

Se consideraron los valores promedio mensuales medidos en octas.

3.3.12. Número de días con nubosidad.

Se cuantificaron los meses, de la serie de 15 años con presencia de cielos, despejados, medio nublados y nublados en:

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

3.3.13. Número de días con lluvia apreciable.

Se contabilizó el número de días con lluvia apreciable por mes, esto es días con precipitación mayor o igual a 0.1mm.

3.3.14. Número de días con lluvia inapreciable.

Se efectuó el conteo del número de días con lluvia inapreciable por mes, esto es, menor a 0.1mm.

3.3.15. Número de días con rocío.

Se realizó la sumatoria de los días con rocío y se determinó el promedio mensual de los 15 años.

3.3.16. Número de días con tormenta eléctrica.

Se contabilizó el número de días con tormenta y se obtuvo un promedio mensual.

3.3.17. Número de días con helada.

Se realizó la sumatoria de los días con presencia de helada y se determinó un promedio mensual.

3.3.18. Número de días con granizo.

Se tomaron en cuenta los días que presentaron granizo, se cuantificaron y posteriormente se promediaron.

3.3.19. Número de días con niebla.

Se tomaron en cuenta los días que presentaron niebla, para obtener la sumatoria y posteriormente su promedio mensual.

3.4. Variables agroclimáticas.

Para obtener la determinación y la elaboración de las gráficas de las variables agroclimáticas se tomaron en cuenta los datos de temperatura, evaporación, helada y precipitación.

3.4.1. Unidades térmicas.

El método utilizado en este proyecto para determinar las unidades térmicas fue el método residual, considerando las temperaturas base de 4.5, 6, 8 y 10°C. Además se hizo un ejemplo para establecer las fechas de siembra y cosecha para el cultivo de maíz y frijol.

3.4.2. Evapotranspiración potencial.

Para su estimación se utilizaron dos métodos: el método de Thornthwaite y el método de tanque de evaporación "Tipo A", considerando el coeficiente con valor de 0.75, de este último.

3.4.3. Estación de crecimiento.

Por disponibilidad de humedad se calculó con el método de la FAO considerando la ETP, 0.5 ETP y la pp en su promedio mensual. Mientras que por disponibilidad de temperatura, se utilizaron 3 métodos diferentes: Pájaro y Ortiz, el método de Da Mota y el método Normal.

3.4.4. Horas frío.

Para el cálculo del índice de horas frío este se realizó con el método de F. S. Da Mota, el método del Dr. Weinberger y el método de Utha.

3.4.5. Probabilidad de lluvia.

Para estimar este índice se basó en el método de distribución acumulada y en el método de distribución normal.

3.4.6. Probabilidad de helada.

Su estimación se realizó por los métodos de F. S. Da Mota, Normal y el método de Pájaro y Ortiz.

IV. Resultados y Discusión.

4.1. Comportamiento de la temperatura.

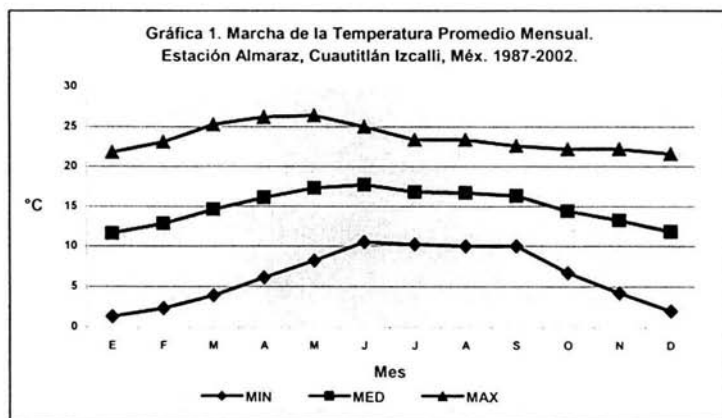
La gráfica 1 del período de 15 años (1987-2002), muestra que existe un incremento de temperatura durante todo el ciclo primavera-verano a partir de mes de marzo, siendo junio el mes más caliente con una temperatura media de 17.7°C, para posteriormente tener un leve descenso a partir de julio y mantenerse en un estado constante hasta septiembre, período en el cual se presenta un incremento de días nublados que originan la temporada de lluvias. Lo que nos indica que no existe una variación significativa en relación al período reportado (87-97) donde el mes más caliente también se presentó en junio con 17.4°C, (Flores, 1998).

Al finalizar el período de lluvias en septiembre, las temperaturas comienzan a descender a partir del mes de septiembre y que termina en marzo, que muestra el inicio del otoño y el final del invierno. Es en invierno cuando se tiene la temperatura promedio mensual más baja, siendo el mes de enero con 11.6°C promedio mensual y con una temperatura mínima promedio mensual de 1.3°C el mes más frío. Mientras que en el período de 1987-1997 la temperatura promedio de enero fue igual con 11.6°C, pero la temperatura mínima promedio fue superior con 1.8°C.

Considerando el período de estudio completo, 1987-2002, se obtuvo una temperatura mínima promedio de 6.3°C, la media de 14.9°C y finalmente la máxima con 23.6°C, mientras que las reportadas durante 1987-1997 (Flores, 1998), fueron para la temperatura mínima de 6.3°C, para la media con 14.8°C y la máxima que presenta 23.1°C, lo que indica que no existe una variación significativa a través del tiempo.

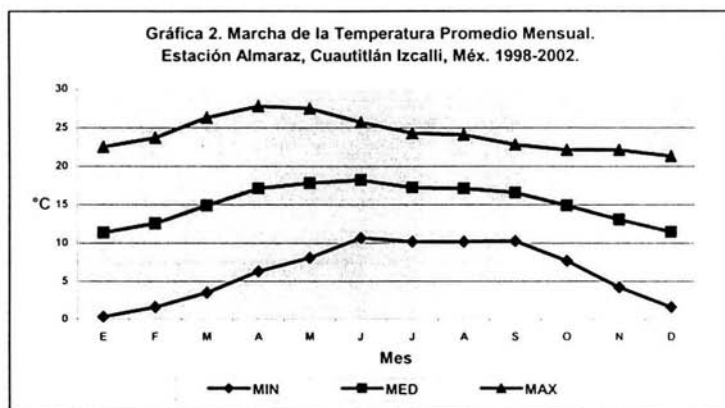
Los valores extremos de temperatura registrados en la Estación Meteorológica Almaraz son:

- Temperatura Máxima Extrema: 34.0°C el día 8 de mayo de 1998.
- Temperatura Mínima Extrema: -7.9°C el día 24 de enero de 1999.



La gráfica 2, muestra la marcha de la temperatura durante 5 años (1998-2002), en la cual se observa el incremento de la temperatura a partir de abril manteniéndose constante hasta agosto, donde el mes con mayor temperatura media se presentó en junio con 18.2°C. Posteriormente desciende y se mantiene constante durante julio y agosto donde la temporada de lluvias se hace presente. La temperatura media promedio mensual más baja se presentó en el mes de enero con 11.4°C.

La temperatura mínima promedio mensual fue de 0.3°C en enero, y la temperatura máxima promedio mensual más alta se presentó durante abril con 27.8°C.



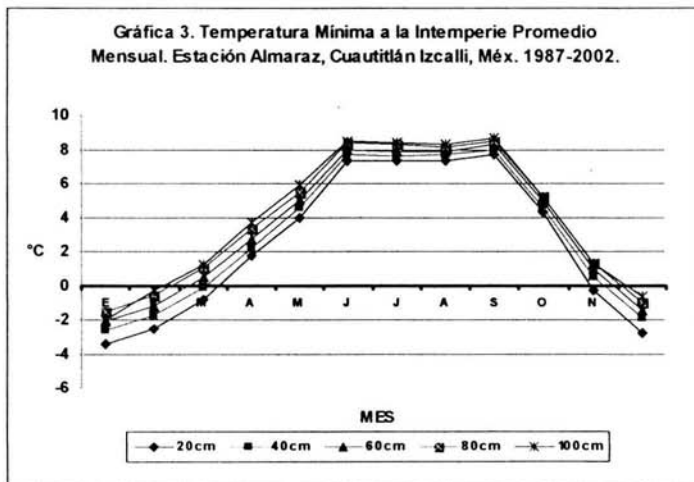
En términos generales, el comportamiento de la temperatura durante el año es el mismo, si se considera el periodo completo de 15 años con respecto a los dos periodos evaluados: 1987-1997 y 1998-2002, lo que permite deducir que en la zona no ha existido cambio sustancial en el comportamiento de este elemento climático tan importante para el desarrollo de los vegetales.

4.2. Temperatura mínima a la intemperie.

La gráfica 3, muestra el comportamiento de la temperatura mínima a la intemperie registrada durante el periodo de 15 años (1987-2002), a diferentes alturas: 20cm, 40cm, 60cm, 80cm y 100cm del suelo, donde las temperaturas más bajas se presentaron a menor altura durante el año, pero conforme el calentamiento de la tierra va en aumento, la temperatura también aumenta debido a una alta presencia de humedad ambiental que permite una mayor retención de calor en la parte más superficial, llegando a estabilizarse la temperatura en la época de verano. Por tanto en condiciones naturales, se tiene la presencia de inversión térmica en superficie, fenómeno característico de los valles, donde el aire más frío se concentra en las capas más cercanas al suelo, durante las noches.

Los valores de temperatura que se registran a 20cm del suelo, generalmente son valores negativos, llegando en ocasiones observar diferencias con la temperatura mínima al abrigo de hasta

7°C, lo que abre la posibilidad de hacer un estudio puntual sobre el efecto de las temperaturas mínimas a la intemperie en los cultivos y correlacionar estos valores con la temperatura mínima al abrigo, para así encontrar los valores de temperatura considerados como helada desde el punto de vista agrometeorológico y hacer una propuesta de periodo de bajo riesgo de helada desde esta perspectiva.

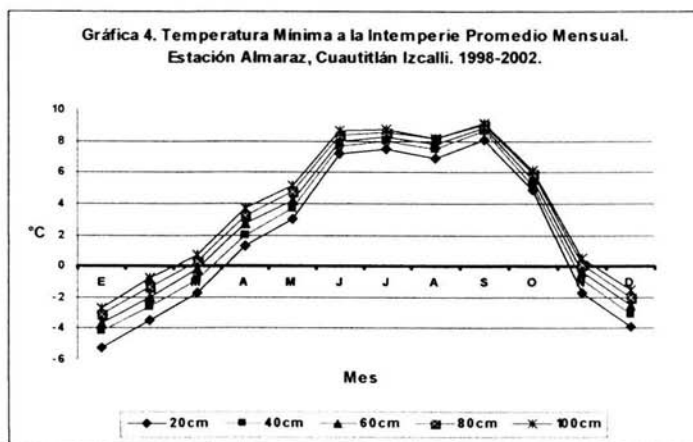


Los valores extremos de temperatura mínima a la intemperie, registrados en el periodo de 1987 a 2002, son los siguientes, y que se registraron el día 24 de enero de 1999, el mismo día en que se registró la temperatura mínima extrema al abrigo:

- 20cm del suelo: -14.5°C.
- 40cm del suelo: -11.6°C.
- 60cm del suelo: -10.6°C.
- 80cm del suelo: -10.1°C.
- 100cm del suelo: -9.9°C.

La gráfica 4, muestra el comportamiento que tiene la temperatura mínima a la intemperie durante un periodo de 5 años (1998-2002), a 20cm, 40cm, 60cm, 80cm y 100cm del suelo; donde se observa que a menor altura las temperaturas descienden a 0°C durante el transcurso del año, pero conforme asciende el calentamiento la temperatura también aumenta debido a que al haber mayor humedad ambiental se tenga una mayor retención de calor, hasta que llega a su punto máximo que ocasiona que la temperatura se establezca de junio a julio y sin embargo para el mes de agosto se nota un decremento debido tal vez que el número de años para este lapso es muy corto lo que ocasiona que exista esta variabilidad en la curva y solo hasta septiembre llegue otra vez al punto más elevado con

9.1°C a los 100cm y a partir de noviembre su descenso registrando temperaturas de hasta -3.1°C promedio mensual a lo 40cm de altura.

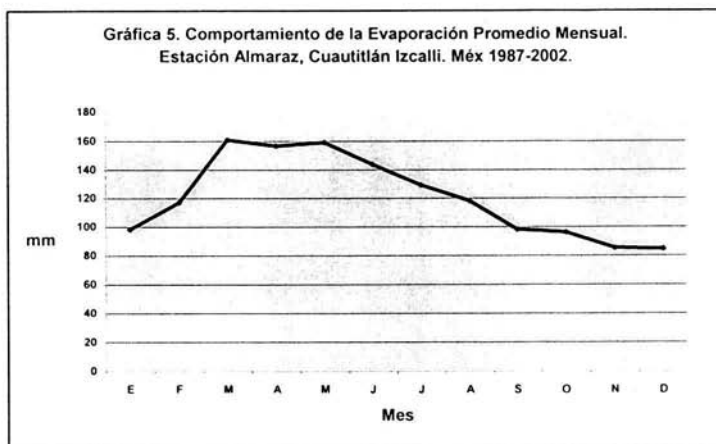


4.3. Comportamiento de la evaporación.

La gráfica 5 muestra el periodo de 15 años (1987-2002), donde se puede observar el comienzo de la temporada cálida del año donde se percibe como la evaporación llega de un punto máximo, producto de las temperaturas máximas y la mayor radiación a descender a su punto mínimo durante la época fría cuando hay un descenso de radiación y menor manifestación de calor que origina un decremento en la evaporación.

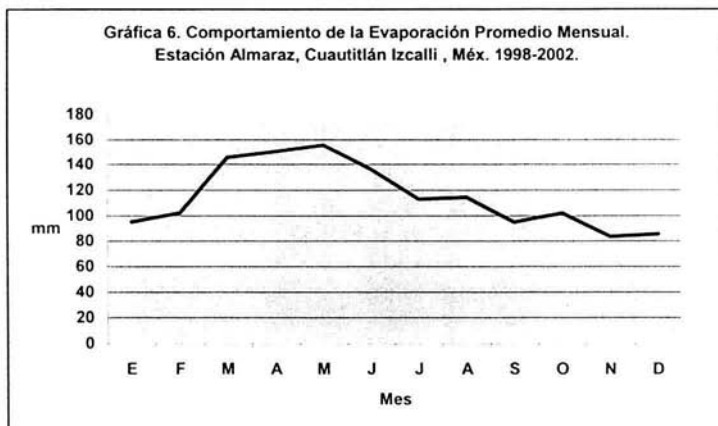
El punto máximo de evaporación se presenta en marzo con 159.1mm, que es cuando la temperatura se encuentra más alta, mientras que la menor evaporación se registra en diciembre con 84.8mm de promedio mensual, dentro del periodo invernal. Mediante los registros de los 15 años tomados de la estación indica que en total se tienen 1,448.5mm anuales de evaporación.

Si se consideran los datos del periodo de 1987-2002 y se comparan con el periodo anterior que fue de 1987-1997, donde la evaporación máxima fue en marzo con 165.51, con una evaporación mínima en diciembre con 79.69 mm y con una evaporación media de 1,440.24 mm anuales al año, se deduce que se tiene una tendencia similar a la de ambos periodos, donde la evaporación máxima y mínima se presentan durante los mismos meses respectivamente, pero existiendo una variación mínima, siendo más evidente la evaporación para 1987-1997 que del periodo de 15 años, y donde la evaporación anual presentan una tendencia similar.



La gráfica 6 con registros de los últimos 5 años (1998-2002), donde se puede observar el comienzo de la temporada cálida del año donde se percibe como la evaporación llega a un punto máximo y descender a su punto mínimo durante la época fría cuando hay un descenso de radiación y menor manifestación de calor que origina un decremento en la evaporación. La evaporación comienza a ascender a partir de marzo, sin embargo no llega al punto máximo hasta mayo con 155.5mm.

Y por otro lado el valor más bajo se registró en noviembre con 83.7mm de promedio al mes, esto es, un valor promedio bajo durante este período.



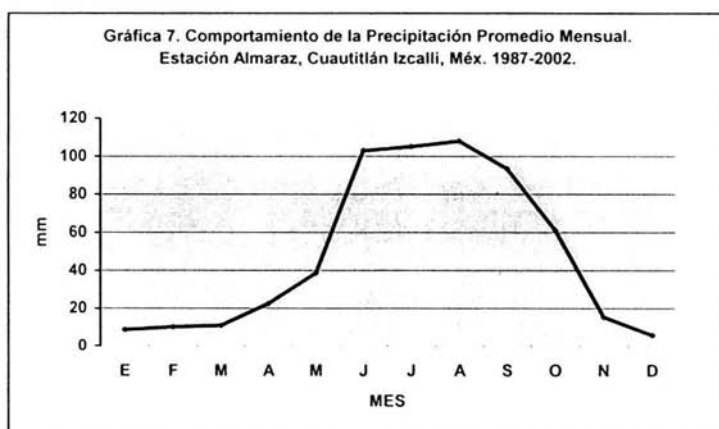
4.4. Comportamiento de la precipitación.

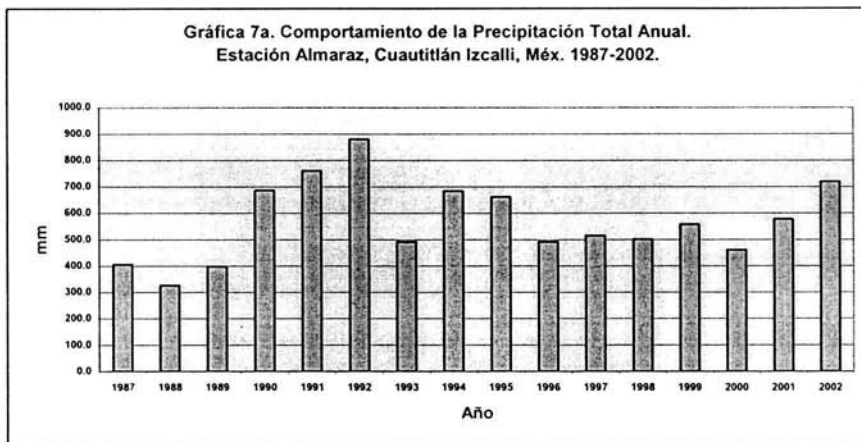
La gráfica 7, muestra el comportamiento de la precipitación, (pp), en el transcurso del año con datos registrados de 15 años (1987-2002), donde se observa que esta se concentra en la mitad caliente del año, época que caracteriza la temporada de lluvias en la zona de estudio.

Se debe de considerar que influye también la presencia de una baja presión durante este ciclo que ayuda al ascenso del vapor de agua para la formación de las nubes.

La precipitación en la zona de estudio abarca de junio hasta septiembre, caracteriza a la temporada de lluvias. Agosto es el mes más húmedo con 108.0mm de pp y diciembre el mes más seco con 5.9mm de pp. Tomando en cuenta los registros durante este periodo se puede percibir que si hay una variación significativa con los registros del periodo 1987-1997 pues en este periodo el mes más lluvioso fue julio con 129.58mm de pp y el mes más seco que igual forma se presenta en diciembre con 8.67mm, lo que indica que este elemento climático presenta una gran variación de un año a otro y de un periodo a otro.

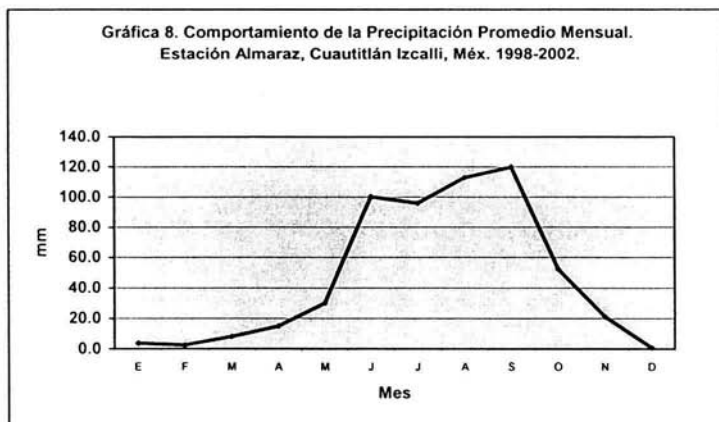
El promedio anual es de 583.6mm. El año más lluvioso (Gráfica 7a) fue en 1992 con 880.2mm anuales, mientras que 1988 fue el año más seco con 326.9mm anuales. Asimismo la máxima pp registrada en 24 horas ha sido de 90.1mm el día 10 de octubre de 1992.

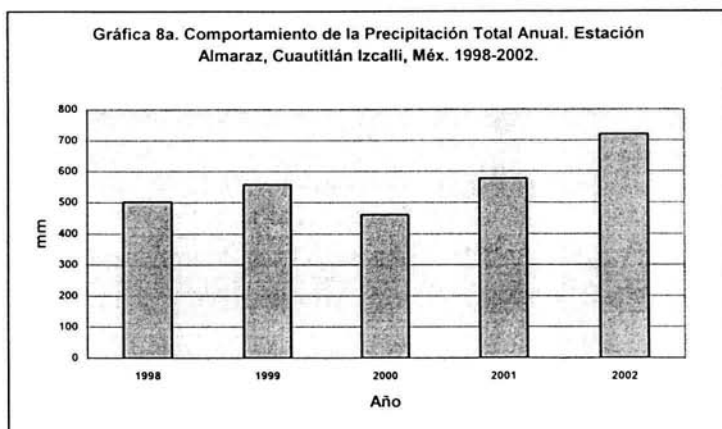




La gráfica 8, muestra el comportamiento de la precipitación promedio mensual con los datos registrados en el periodo de 1998-2002, donde se observa que el mes más lluvioso durante este periodo fue septiembre con 119.9mm, mientras que el mes más seco se registro en febrero con 2.7mm. Sin embargo, comparando la gráfica 7 con la gráfica 8, en esta última se observa la presencia de sequía intraestival, aunque no se evaluó su siniestralidad en el presente trabajo, (queda abierto el tema para otro trabajo de investigación), si disminuyó la pp en el mes de julio, lo cual evidencia la necesidad de contar con una serie de datos mayor y que un periodo de 5 años es muy corto para poder definir con precisión el comportamiento normal de este elemento climático; lo que si permite la serie de datos de 15 años que en este trabajo se reportan.

Durante este periodo de 1998-2002, el año más lluvioso fue el 2002 con 719.8mm anuales y el menos lluvioso fue el 2000 con 460.4mm anuales. (Gráfica 8a)





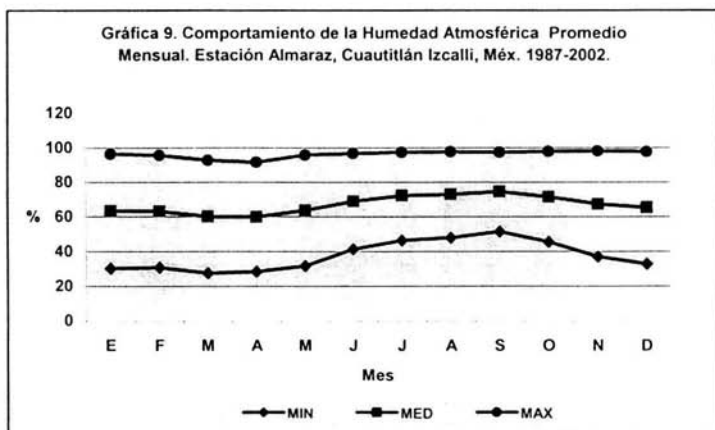
4.5. Comportamiento de la humedad atmosférica.

La gráfica 9, muestra que en un lapso de 15 años (1987-2002), la humedad atmosférica sigue un comportamiento inverso a la evaporación (gráfica 5); ya que la atmósfera no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua, sino que cuando ya no puede contener más vapor, entonces la atmósfera está saturada, lo que ocasiona que las superficies húmedas no se sequen, debido a que no se produce la evaporación. Por lo tanto al haber una mayor evaporación debido al aumento de la temperatura se presenta una menor humedad atmosférica.

Siendo septiembre el mes más húmedo con 74.5% y el mes con menor humedad fue abril con una humedad de 60.0% promedio mensual, y si se comparan estos valores con los obtenidos por Flores,(1998), durante el periodo de 1987-1997 y que fueron julio con 77.6% el mes más húmedo y abril como el mes con menor humedad con 60% al mes en promedio, se percibe una variación al haber un cambio de la presencia del mes más húmedo, de dos meses, así también en el periodo completo de 1987-2002 fue septiembre el mes con mayor humedad promedio mensual.

En este mismo periodo de 5 años, los valores máximos se presentaron durante octubre con 98.1% y el porcentaje de humedad mínima promedio más bajo fue en abril con 28.5%; mientras que en el periodo de 15 años, (1987-2002) la humedad máxima promedio es de 97.9% en septiembre y 28.4% de humedad mínima en marzo.

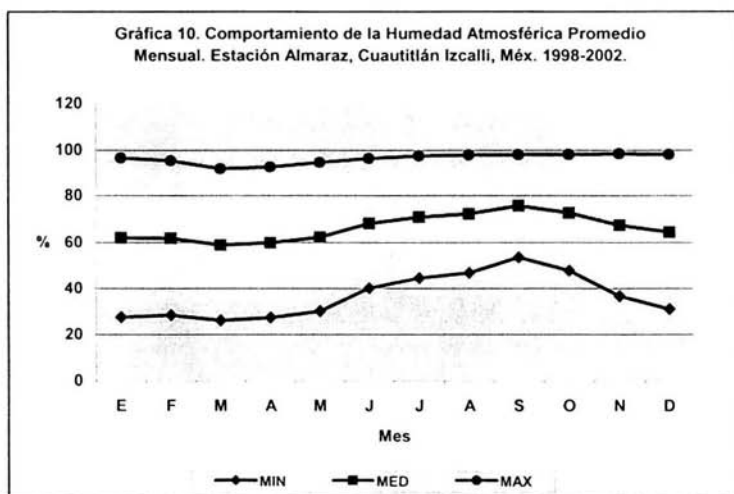
En resumen, en estos 15 años de información, el valor promedio de humedad mínima anual es de 37.7%; la humedad media de 67.4% y la humedad máxima promedio de 96.2%.



La gráfica 10, muestra el lapso de 5 años (1998-2002), e indica un comportamiento de variabilidad mínima, siendo la humedad media en septiembre con 75.8% en promedio al mes, y el mes con menor humedad media, se presenta en marzo con un 59.0%.

Los valores máximos se presentan en noviembre con un 98.5% de humedad y los mínimos en marzo con 26.1% de humedad.

Esto permite establecer el efecto de la precipitación en este comportamiento, (Gráfica 8), puesto que en el mismo periodo (1998-2002), el mes de septiembre fue el de mayor cantidad de pp.



4.6. Comportamiento del viento.

El viento, se define como el movimiento horizontal del aire. Este comportamiento se evaluó en sus dos componentes. Primero se analizó el recorrido promedio del viento, y se encuentra representado su comportamiento en la gráfica 11, dentro del periodo de 15 años (1987-2002), con datos evaluados a diferentes alturas del suelo; 0.3 mts, 2.0mts, 4.0mts 6.0mts.

Las curvas de la gráfica muestran que el recorrido del viento, disminuye conforme la altura de observación es menor, debiéndose esto al efecto de fricción con los objetos superficiales, mientras que a mayor altura este recorrido aumenta por no encontrar obstáculos que lo limiten en su desplazamiento.

Se enfatiza, que la velocidad del viento se puede obtener a través de dividir el recorrido del viento sobre el tiempo de observación, por ende, los valores del recorrido del viento aquí expresados, inferen directamente el comportamiento de su velocidad.

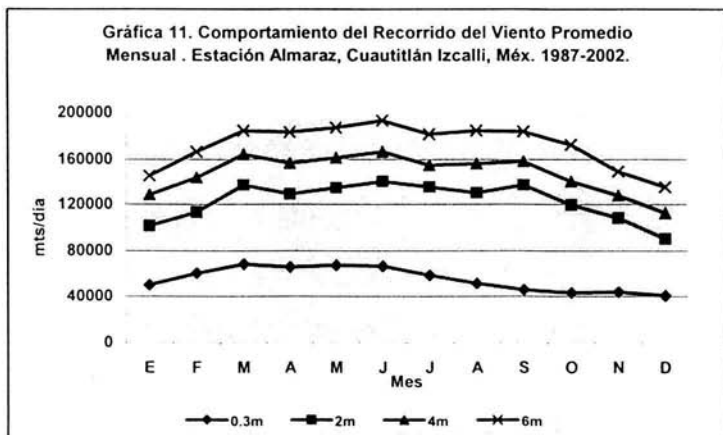
Los valores promedio diario del recorrido del viento que se obtuvieron, con base a las observaciones de 15 años, son las siguientes:

a) 0.3mts: 54,466.3 mts/día.

b) 2.0mts: 119,938.9 mts/día.

c) 4.0mts: 141,706.2 mts/día.

d) 6.0mts: 164,767.4 mts/día.



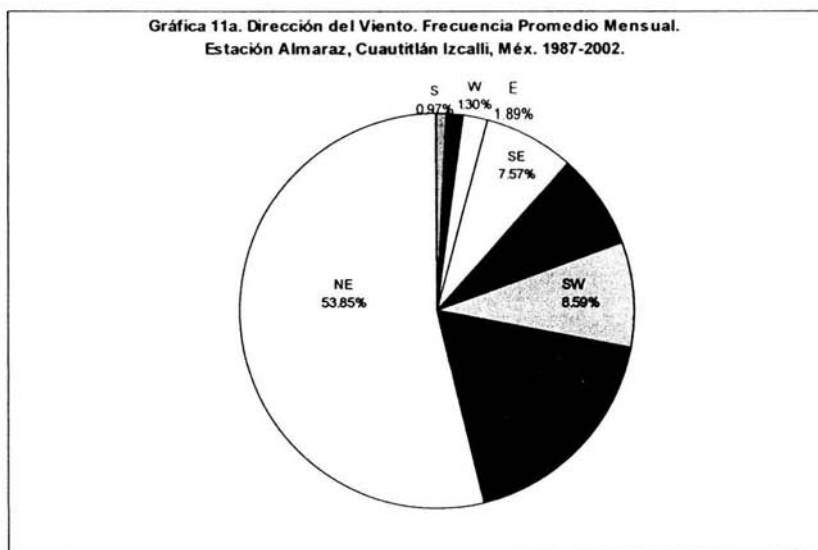
El Segundo componente del viento evaluado en este trabajo fue la Dirección, definiéndola como el lugar de donde proviene este. En el presente trabajo, se esta reportando la frecuencia de observación de la dirección del viento, considerando los valores diarios observados en el periodo de 1987-2002.

La gráfica 11a, muestra la frecuencia promedio de la dirección del viento, donde se observa que el viento dominante es del NE con 53.85% de frecuencia y la dirección S con 0.97% es la frecuencia más baja del viento en la zona de estudio.

Comparando los resultados obtenidos al analizar la información del periodo de 1987-2002, se podrá notar que tanto la velocidad, como la dirección del viento presentan la misma tendencia del periodo reportado anteriormente (1987-1997) por Flores, (1998); donde la velocidad reportada en kilómetros fue:

- a) 0.3mts del suelo: 54.7Km/día.
- b) 2.0mts del suelo: 124.4Km/día.
- c) 4.0mts del suelo: 151.6Km/día.
- d) 6.0mts del suelo: 171.8Km/día.

Mientras que la dirección para este periodo de 1987-1997, presentó un viento dominante de NE con 49.7% de frecuencia y una dirección S de 1.5% con la menor frecuencia.

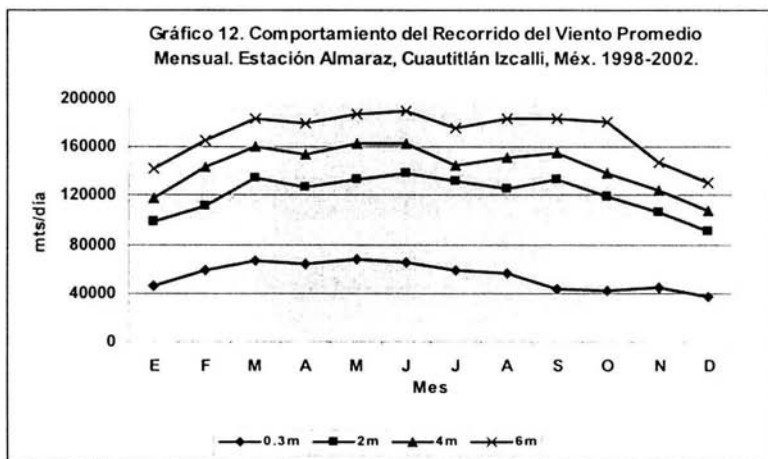


La gráfica 12, muestra el comportamiento del viento de los datos registrados de 5 años (1998-2002), donde se también se evaluó el recorrido del viento a; 0.3 mts, 2.0mts, 4.0mts y 6.0mts de altura del suelo así como su dirección con los siguientes resultados.

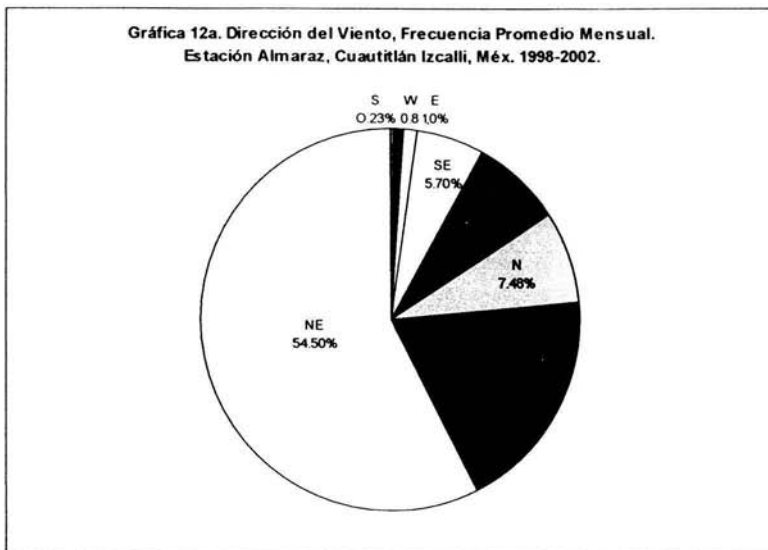
El recorrido del viento muestra que a niveles muy bajos la velocidad disminuye debido a la fricción con los objetos superficiales que puede encontrar a su paso, (cultivos, piedras, etc). Mientras que a una mayor altura la velocidad del viento, fluye libremente alcanzando una mayor velocidad

Para este periodo de análisis, los valores obtenidos del recorrido del viento son:

- a) 0.3mts: 54,332.9 mts/día.
- b) 2.0mts: 120,788.4 mts/día.
- c) 4.0mts: 143,524.4 mts/día.
- d) 6.0mts: 170.739.7 mts/día.



La dirección del viento del periodo de 1998-2002, gráfica 12a, se observa que la dirección dominante fue NE con 54.50% de frecuencia y la dirección S, con 0.23% la menor frecuencia.



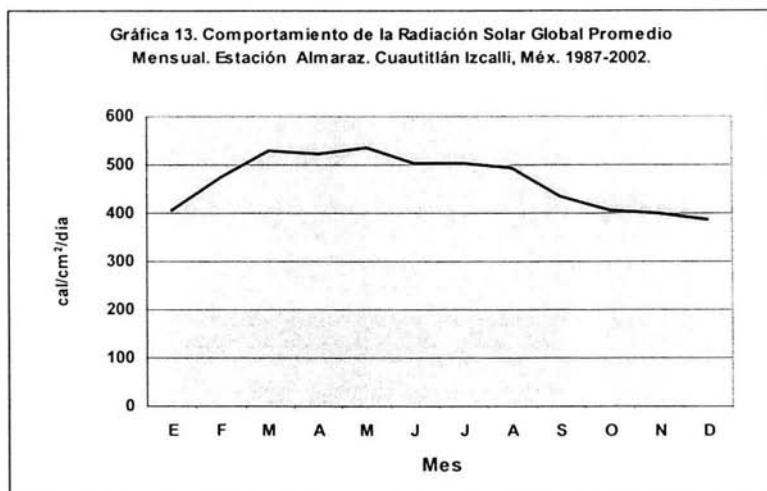
De manera general, la velocidad del viento es menor en todos los niveles durante el invierno, gráfica 11, entendido ello, por el aumento en la presión atmosférica durante esta época en la zona, (gráfica 19), que provoca una mayor estabilidad atmosférica. Sin embargo no se descarta que en algunos días el viento incremente su velocidad por la presencia de algún fenómeno atmosférico, como pudieran ser la invasión de masas de aire frío en la zona central de México, que provocan cambios en el estado del tiempo.

4.7. Comportamiento de la radiación solar.

La gráfica 13, muestra el comportamiento de la radiación solar global promedio mensual del periodo 1987-2002, donde se observa una mayor intensidad durante la primavera y una menor intensidad durante el periodo invernal.

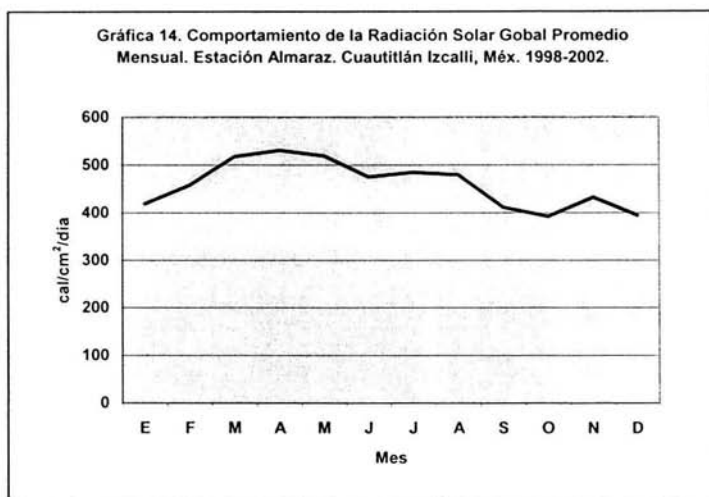
Esto se debe a la posición en la que se encuentra la tierra y la latitud de la zona de estudio. Se puede observar que el punto más alto donde se percibe la radiación solar fue durante mayo con 534.45 cal/cm²/ día, para posteriormente ir disminuyendo gradualmente desde junio a septiembre, periodo en el cual la zona tiene una concentración de nubes que obstaculiza la entrada de las ondas electromagnéticas a la superficie y paulatinamente un descenso más notable en los meses del periodo invernal, siendo diciembre el valor más bajo con un promedio mensual de 387.83 cal/cm²/día, debido a que en este periodo los días son más cortos y las noches más largas. El valor promedio anual obtenido fue de 466.48 cal/cm²/día.

Si se comparan los datos obtenidos del periodo de 15 años (1987-2002) con los del periodo de 10 años 1987-1997, (Flores, 1998), donde el máximo valor se encontró en mayo con 537.95 cal/cm²/día y diciembre con el menor valor donde se tiene 470 cal/cm²/día y con un promedio anual de 470 cal/cm²/día, se puede decir que la diferencia no es significativa, siendo producto ella de la mayor cantidad de datos evaluados que representan una información más completa



Para el periodo de 5 años (1998-2002), gráfica 14. el comportamiento de la radiación global, es similar al periodo de 15 años, con mayor intensidad de radiación en primavera y con una menor intensidad durante la época invernal.

Los resultados que se observan son: el máximo valor se tuvo en abril con 531.14 cal/cm²/día disminuyendo hasta septiembre, es decir la presencia de nubosidad fue muy alta hasta llegar paulatinamente al periodo invernal, sin embargo el menor valor se presentó durante otoño siendo octubre el de menor valor con 392.75 cal/cm²/día. Teniendo un valor promedio anual de 459.61 cal/cm²/día.

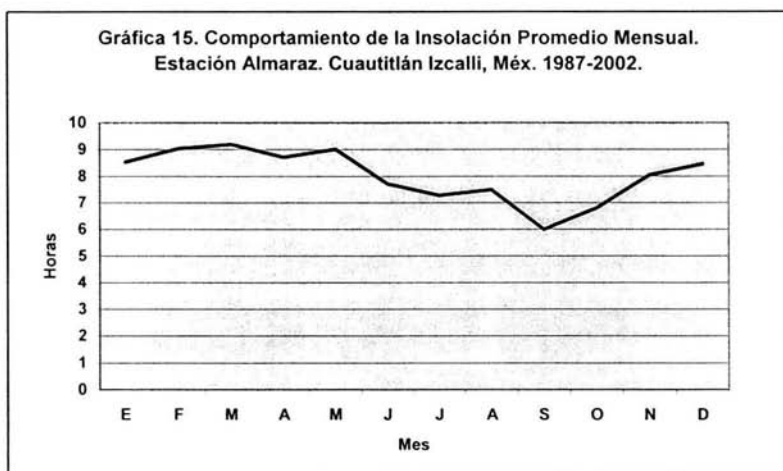


4.8. Comportamiento de la insolación.

La gráfica 15, con valores de 15 años (1987-2002), muestra el comportamiento de la insolación promedio mensual, donde se observa una mayor duración de la insolación en los meses de febrero y marzo siendo marzo el mes con más horas de insolación con 9.20 horas debido a la baja presencia de nubes, característico de la estación de primavera, disminuyendo gradualmente durante el verano por la alta concentración de nubosidad durante esta estación, siendo septiembre el mes con menor insolación al presentar 6.00 horas promedio mensual.

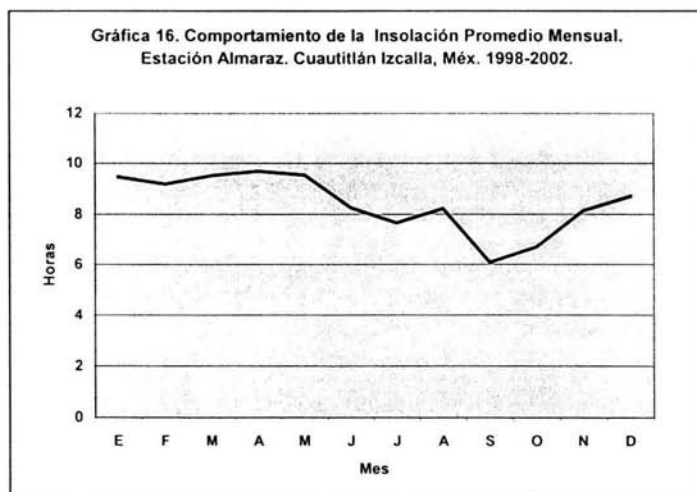
Tomando en cuenta el ciclo primavera-verano y otoño invierno se podrá percibir que la duración de la insolación difiere debido al grado de nubosidad durante el ciclo primavera-verano teniendo entonces menor horas de insolación a pesar de que la duración de los días son más largos y al contrario se puede observar en la gráfica como durante el ciclo otoño-invierno las horas de insolación van en aumento, aún considerando que en este período los días son más cortos pero con más horas de insolación al presentar días despejados. El promedio de insolación anual fue de 8.02 horas.

Si comparamos los resultados obtenidos del periodo de 15 años, 1987-2002, con el periodo de 10 años 1987-1997 (Flores, 1998), donde el mes con más horas fue febrero con 9.03 y el menor septiembre con 5.96 horas, y un promedio anual de insolación de 7.78 horas, se puede deducir que sigue a misma tendencia que se observó en el periodo de 15 años teniéndose una diferencia mínima en los valores puntuales de la insolación a través del año.



La gráfica 16, muestra el comportamiento de la insolación promedio mensual, para el periodo de 5 años (1998-2002), donde la fluctuación de insolación se percibe con mayor duración en los meses de marzo a mayo, originada por la baja presencia de nubes y dentro de la estación de primavera para posteriormente tener un descenso a partir de junio a octubre debido a la alta concentración de nubes que caracterizan a la época de verano, que es temporada de lluvias de la zona.

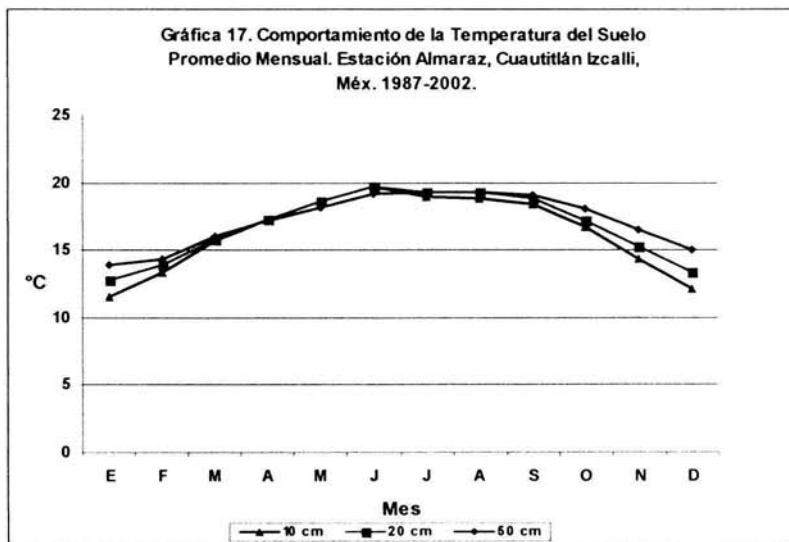
El mes con más horas de insolación fue abril con 9.68 y el mes con menor insolación fue octubre con 6.69 horas. Se tuvo una insolación promedio anual de 8.43 horas.



4.9. Temperatura del suelo.

La gráfica 17, ilustra el comportamiento de la temperatura del suelo con datos registrados de 15 años (1987-2002), evaluada a 3 profundidades: 10cm, 20cm y 50cm, donde se observa que la presencia de diferentes factores climáticos determinan su temperatura.

El comportamiento de las 3 profundidades fluctúan a casi el mismo nivel a partir de el mes de marzo a junio que es cuando existe un mayor calentamiento sobre el suelo ocasionado por el ascenso de la temperatura del aire, posteriormente se percibe un cambio al haber un leve descenso en la temperatura la cual se origina durante julio hasta septiembre que es cuando se hace presenta la temporada lluviosa y el descenso más notable se presenta durante octubre a febrero periodo en el cual la zona de estudio se encuentra en el ciclo invernal y es muy común la presencia de heladas durante este periodo lo que ocasiona una disminución de la temperatura del suelo.

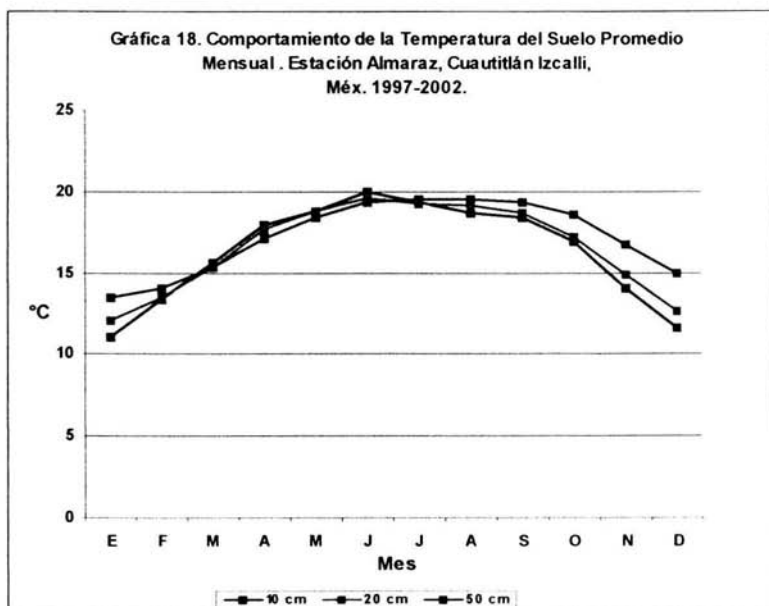


En la gráfica 18, se muestran los datos registrados en 5 años (1998-2002), del comportamiento en la temperatura del suelo evaluando 3 profundidades; 10cm, 20cm y 50cm. Se percibe una oscilación un poco más variable, sin embargo se encuentran dentro de un mismo rango de fluctuación, donde el aumento de la temperatura en las 3 profundidades se percibe a partir de marzo a junio donde la mayor temperatura registrada fue a una profundidad de 10cm en el mes de junio con 20.0°C, para la segunda parte del año no solo se nota un leve descenso de temperatura en las 3 profundidades debido al periodo lluvioso que impera a partir de julio a septiembre, si no que también, las temperaturas más bajas que se presentan de octubre a febrero varían un poco ya que mientras las temperaturas a la profundidad de 10cm y 20cm disminuyen la de 50cm presenta una temperatura

constante sobre todo en octubre con 18.6°C en relación a las otras dos profundidades, sin embargo mantienen una misma tendencia de descenso de temperatura.

De manera general, se observa que la oscilación térmica en el suelo es menor cuando la profundidad del suelo evaluada es mayor, esto se debe a que las capas superficiales del suelo están en mayor contacto con el viento, asimismo el enfriamiento en las capas superficiales es mayor que en las capas más profundas durante la noche y en la época invernal.

Es evidente que el color del suelo también hace variar la temperatura de él, entendiendo que los suelos oscuros almacenan mayor calor que los suelos claros. En la zona de estudio, el color del suelo es negro, característico de los suelos vertisoles.



4.10. Comportamiento de la presión atmosférica.

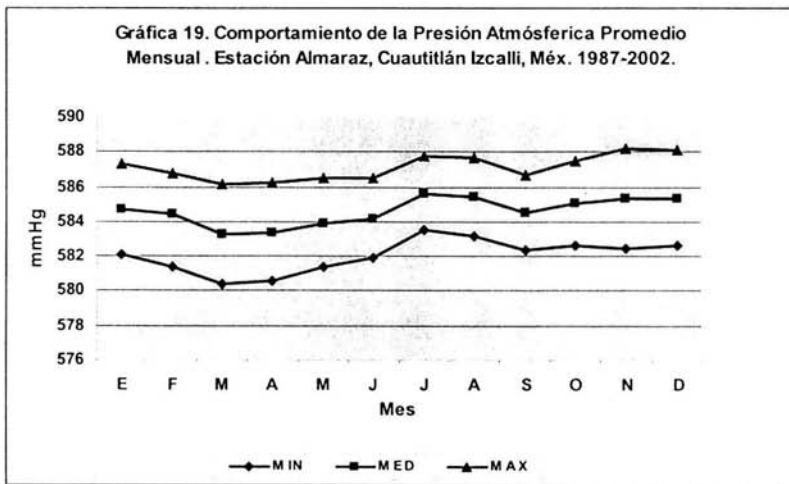
La gráfica 19, muestra el comportamiento de la presión atmosférica promedio mensual durante el periodo de 15 años (1987-2002), donde se observa su variación durante el año, producto ello de su relación con la temperatura, la nubosidad y la humedad atmosférica.

La presión atmosférica media aumenta a medida que existe una disminución de la temperatura, y un incremento de en la humedad atmosférica, condiciones imperantes de la zona de estudio durante el verano, y la presión atmosférica baja a medida que existe una disminución de humedad pero un

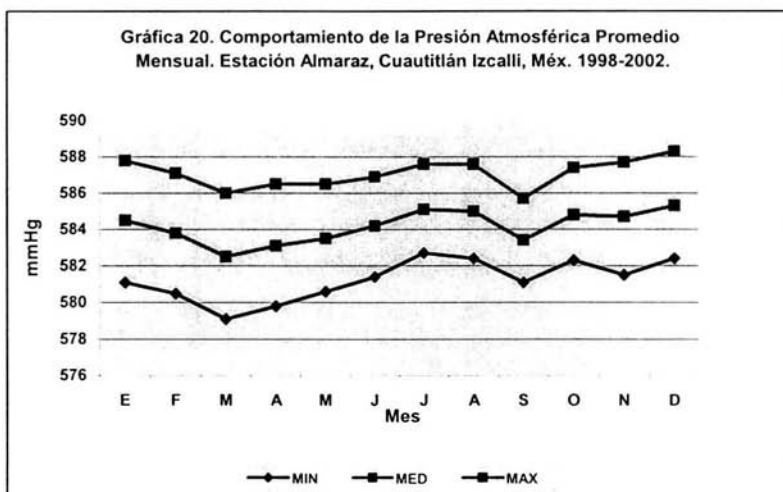
incremento de la insolación, característico ello durante el periodo invernal y el transcurso de la primavera.

El promedio anual de la presión atmosférica mínima es de 582.0 mmHg, el valor medio de 584.6 mmHg y el máximo promedio de 587.1 mmHg. La máxima promedio es en julio con 585.6 mmHg y la mínima promedio es en marzo con 583.3 mmHg.

La presión atmosférica en la zona de estudio se comporta durante el día de la siguiente manera: dos valores máximos: uno entre las 8-10am y el segundo entre las 8-10pm. Asimismo se presentan dos valores mínimos: 4-6am y 4-6pm. Este comportamiento la bibliografía lo reporta como **Marea Barométrica**.

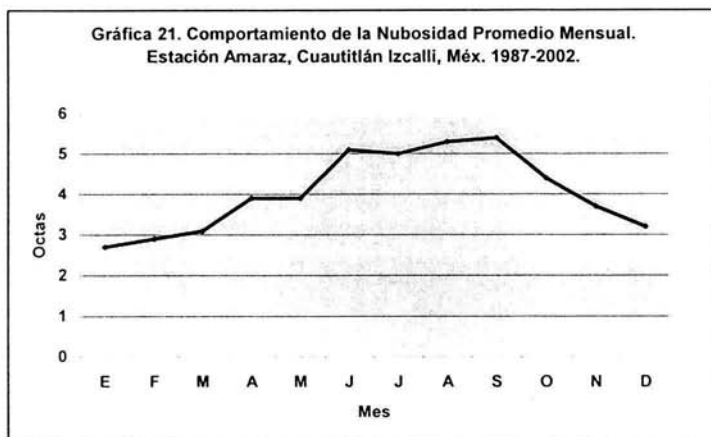


La gráfica 20, refleja el comportamiento de la presión atmosférica durante el periodo de 5 años (1998-2002). La media mas alta en este lapso se encuentra en diciembre con 585.3 mmHg y la media mas baja en marzo con 582.5 mmHg. Mientras que el valor de la presión máxima más alto también se encuentra en diciembre con 588.3 mmHg al mes y el valor mínimo promedio más bajo es en marzo con 579.1 mmHg.

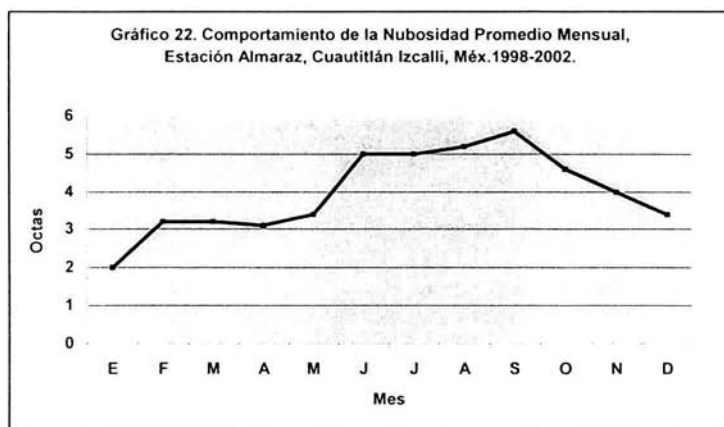


4.11. Comportamiento de la nubosidad.

La gráfica 21, corresponde al comportamiento de la nubosidad durante 15 años (1987-2002), donde se observa que la mayor nubosidad es durante el mes de septiembre con 5 octas en promedio y el valor mínimo es en enero con 3 octas en promedio. El promedio anual fue de 4 octas, sin embargo, se nota una mayor presencia de días medio nublados durante la mayor parte del año. Comparando estos datos con los reportados por Flores (1998), para el periodo de 1987-1997, quien registró valores de 4 octas de promedio anual, los meses de julio a septiembre con valores promedio de 5 octas y el valor mínimo promedio de 3 octas durante los meses de noviembre a marzo, se nota una misma tendencia entre ambos periodos respectivamente.



La gráfica 22 que corresponde al periodo de 5 años (1998-2002), donde se puede notar el periodo con los valores máximos durante los meses de julio hasta septiembre con 5 octas en promedio y con valores mínimos de 2 octas durante enero; tendencia similar a los periodos de 10 años y de 15 años reportados anteriormente.

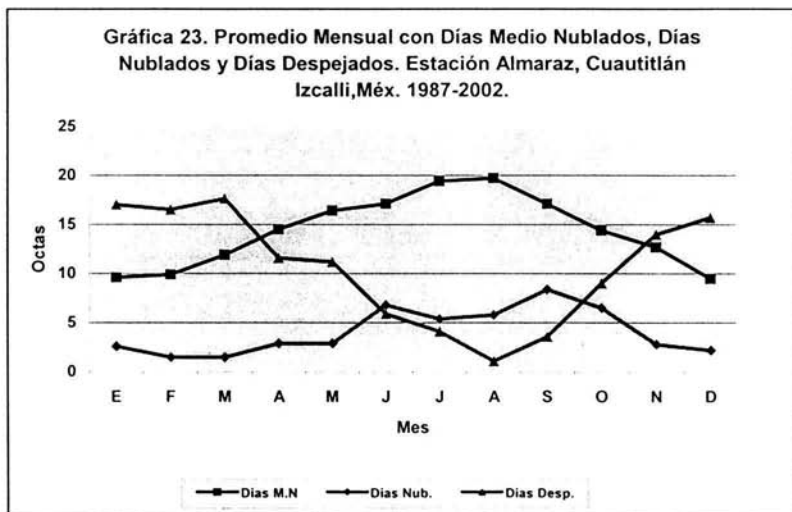


4.12. Número de días con nubosidad.

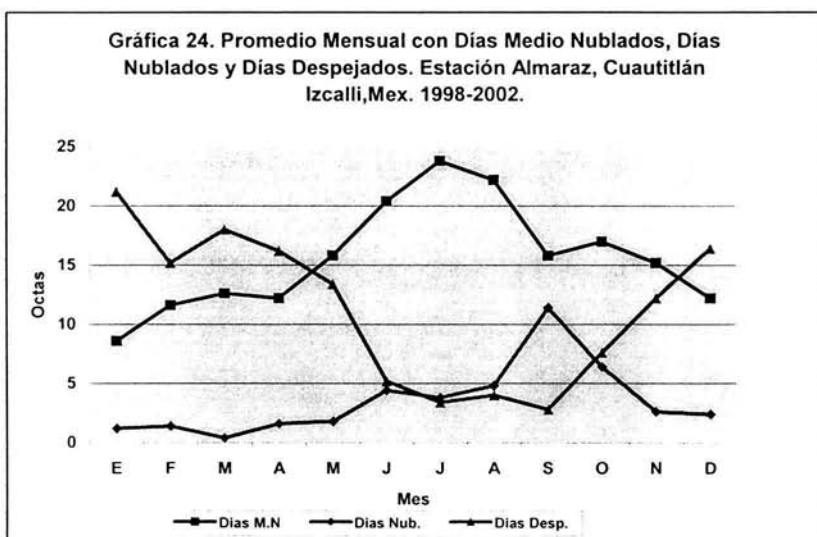
La gráfica 23 muestra el período de 15 años donde se gráfico el comportamiento promedio mensual de los días con nubosidad, considerando como cielo despejado entre 0-3 octas, cielo medio nublados de 4-6 octas y cielos nublados de 7-8 octas. Se observa la mayor presencia de cielos medio nublados en la zona de estudio en relación a los días despejados y nublados, correspondiendo estos últimos a la temporada de secas y la temporada de lluvias, respectivamente.

El total de días despejados es de 127.3 días, nublados de 49.3 días, y medio nublados con 172.2 días al año.

Si comparamos los datos del período de 15 años (1987-2002), con el periodo de 1987-1997 (Flores, 1998), días despejados con 100.6 días, nublados con 114.9 y medio nublados con 151 días al año, se nota una variación entre los dos periodos, sin embargo, se considera que el periodo de análisis de 15 años involucra más datos que uniformizan la tendencia de los días con nubosidad



La gráfica 24, muestra el periodo de 1998-2002 donde se observa una mayor incidencia de días medio nublados, sin embargo, el aumento por día es mayor pues el más alto es de 20 días al mes durante agosto y los días nublados y despejados disminuyen, presentándose 135.6 días despejados, 42.2 días nublados y 187.4 días medio nublados al año que correspondiendo a días despejados como el del periodo de secas y los días nublados a la temporada de lluvias respectivamente. La tendencia del comportamiento de esta variable, es similar al periodo de 15 años, 1987-2002.

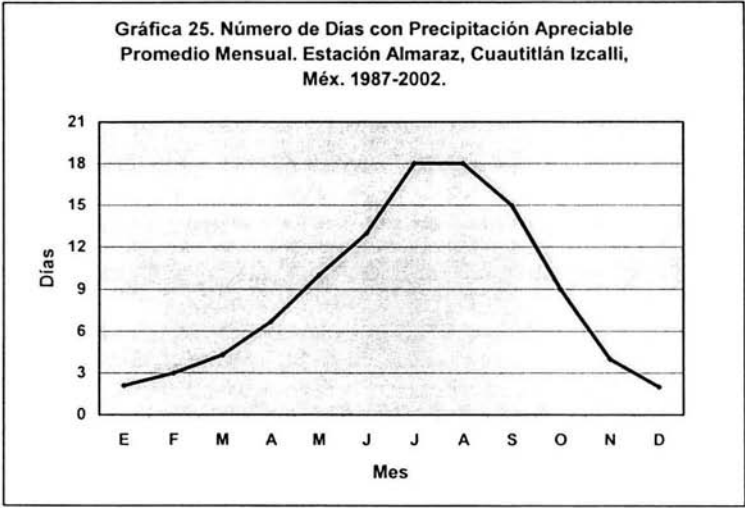


4.13. Número de días con lluvia apreciable.

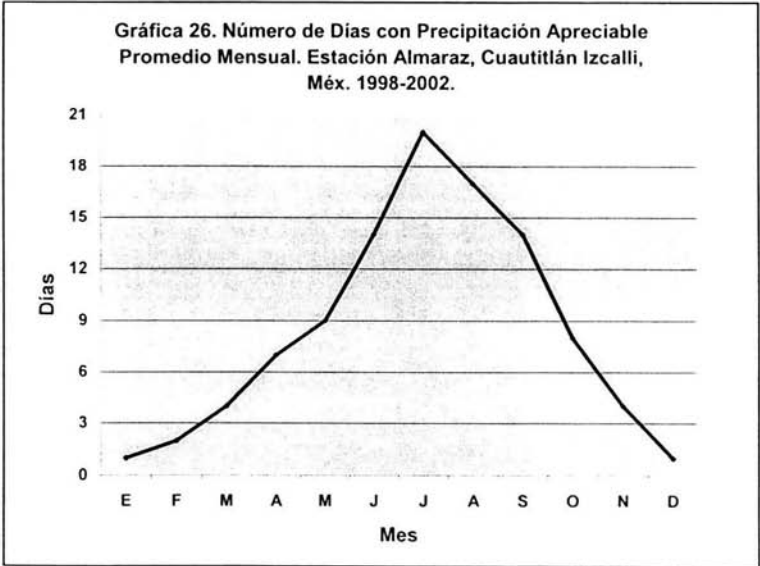
Se determinó día con lluvia apreciable, cuando la precipitación es mayor o igual a 0.1 mm, y la gráfica 25 muestra los datos del período de 15 años, evaluados en este trabajo.

El punto máximo de días con lluvia apreciable se presenta durante julio y agosto con 18 días al mes, sin embargo, meses en que se presenta la temporada de lluvias en la zona. Los meses con menores días de lluvia apreciable son diciembre y enero con 2 días al mes en promedio. El promedio anual de días con lluvia apreciable es de 106.85 días al año.

Considerando los datos del período 1987-1997 (Flores, 1998), donde agosto tiene el mayor valor con 18.0 días de lluvia apreciable, diciembre con 2.9 días de lluvia apreciable con el menor valor y con un promedio anual de 111.1 días al año, se puede observar que siguen una tendencia similar en ambos periodos



Para el periodo de 5 años (1998-2002), la gráfica 26, muestra que el punto máximo es en julio con 20 días al mes en promedio y el menor valor se presentó durante diciembre y -enero con 1.0 día al mes en promedio con lluvia apreciable.

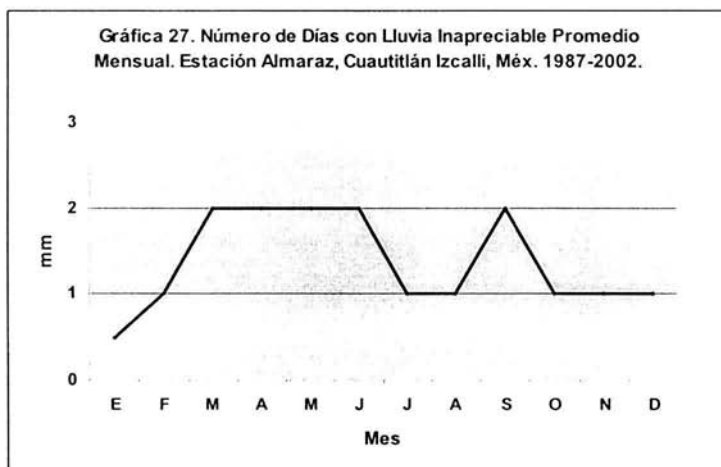


4.14. Número de días con lluvia inapreciable.

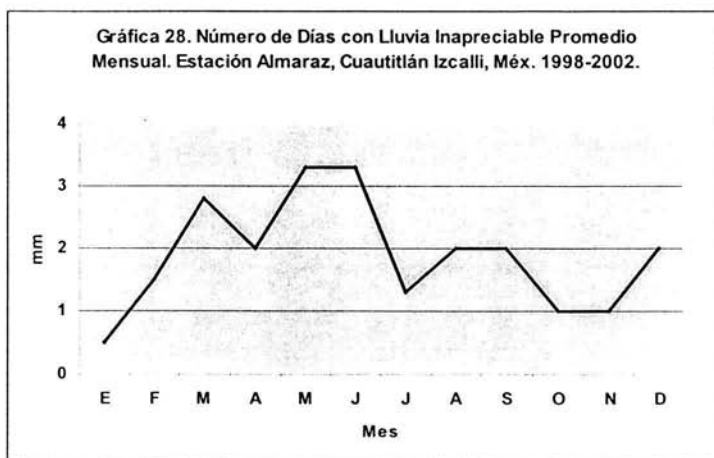
En la gráfica 27, se observa los valores promedio del periodo de 15 años (1987-2002), del número de días con lluvia inapreciable, determinada esta como el día en que la precipitación es menor de 0.1mm.

El promedio anual fue de 16 días de lluvia inapreciable, siendo pocos los días promedio mensual guante el año.

Al comparar los anteriores datos con los obtenidos durante el periodo de 1987-1997 (Flores 1998), que fueron; el mayor número de días en mayo con 2.1 y el menor número de días con lluvia inapreciable en septiembre con 1.3 días, respectivamente, y con un promedio de 12.84 días de lluvia inapreciable al año, se puede observar que las diferencias no son significativas, teniendo la misma tendencia en general.



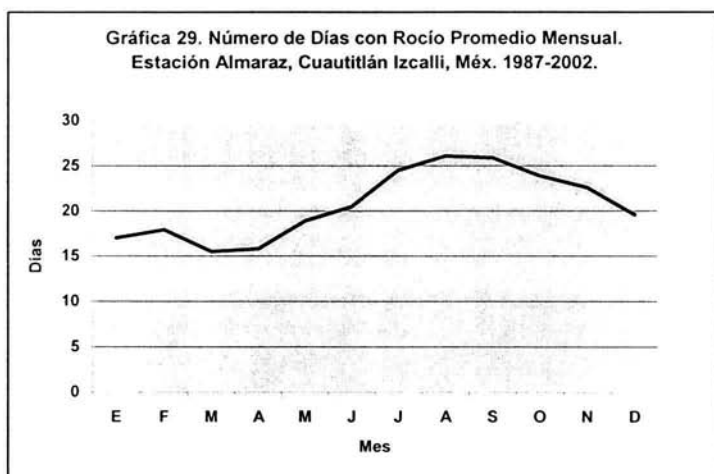
En la gráfica 28, solo se consideran los últimos 5 años (1998-2002), y muestra un aumento en el número de días con lluvia inapreciable, siendo mayo y junio con 3.3 días al mes en promedio los meses con mayores valores. Enero con 1.8 días en promedio es el valor más bajo registrado en este periodo de 5 años.



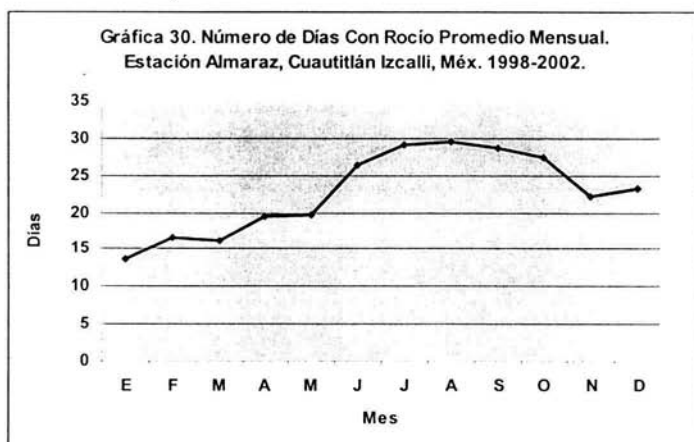
4.15. Número de días con rocío.

Durante el periodo de 15 años (1987-2002), gráfica 29, se observa el comportamiento de los días con rocío, obteniéndose el punto más alto de su presencia durante el mes de agosto con 26.1 días al mes en promedio y la más baja durante marzo con 15.5 días al mes en promedio, sin embargo se nota su presencia con mayor notoriedad desde junio hasta noviembre, periodo en el cual la presencia de la precipitación, el descenso de la evaporación y el incremento de la humedad atmosférica, favorecen su formación. El total días con rocío es de 248.2 días al año.

Mientras que para el periodo de 1987-1997 (Flores, 1998), los datos obtenidos fueron: septiembre con 24.8 días con rocío y abril con 13.8 días con rocío, respectivamente, y un total de 227.97 al año. Muestran una ligera variación, pero con la misma tendencia de comportamiento a través del año.



Para el periodo de 5 años (1998-2002), la gráfica 30 muestra el punto más alto que se presentó durante agosto con 29.6 días al mes este ascenso es debido a la presencia de lluvias, el descenso en la evaporación; y el mes en el que fue menos su presencia fue durante enero con 13.6 días al mes siendo el más bajo ocasionado por el aumento de la evaporación y disminución de la precipitación.

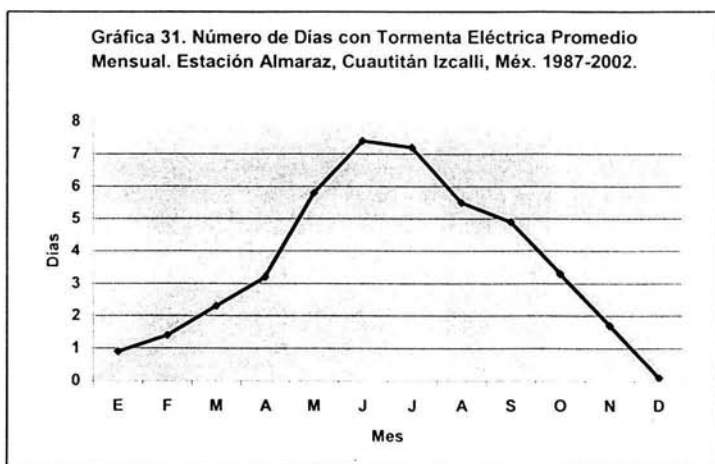


4.16. Número de días con tormenta eléctrica.

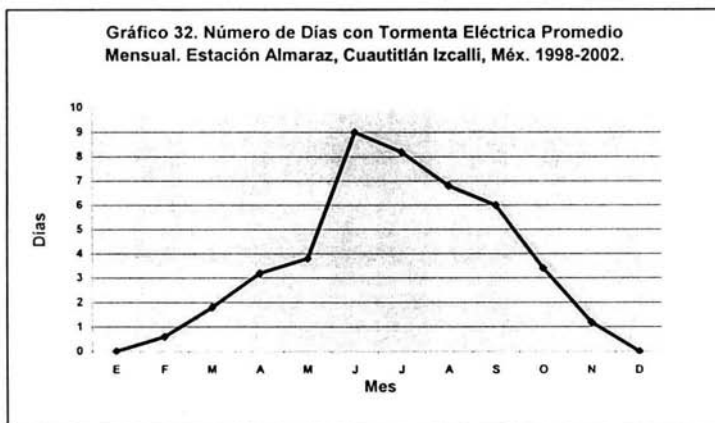
Las tormentas eléctricas se originan a partir de la formación de nubes cumulonimbos, producto del incremento de la temperatura que favorece la evaporación y que da origen a este tipo de nubes.

Como se muestra en la gráfica 31 correspondiente al periodo de 15 años (1987-2002), se puede observar que junio presentó el mayor número de días con tormentas eléctricas con 7.4 días en promedio al mes, el cual corresponde al ciclo primavera-verano, presentando los factores favorables para la formación de las nubes cúmulonimbos y por ende las tormentas.

Siendo diciembre el más bajo con 0.1 días en promedio al mes puesto que es cuando las temperaturas descienden y también la nubosidad. El total de días con tormentas eléctricas es de 44.2 días al año.



Se pudo observar que durante el periodo de 1998-2002, el número de días con tormenta eléctrica se incrementó a 9.0 días al mes en promedio durante el mes de junio, como se representa en la gráfica 32, además de que su incremento es de una forma más acelerada durante el año si se compara con los datos de 15 años, presentando además los promedios más bajos durante diciembre y enero con 0.0 días al mes.



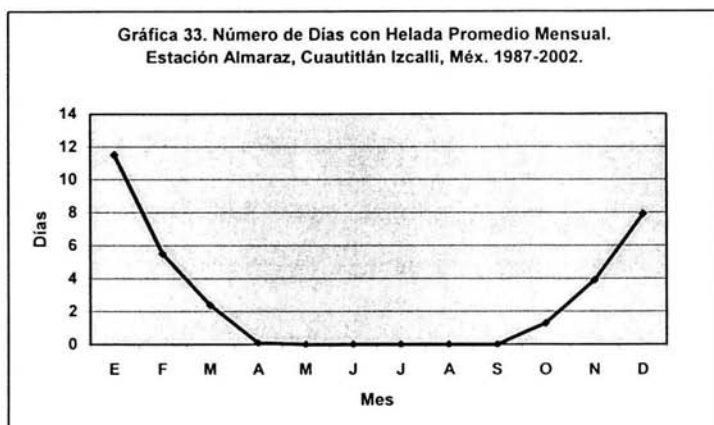
4.17. Número de días con helada.

Se considera desde el punto de vista meteorológico que ocurre una helada cuando la temperatura desciende a los 0°C o menos, es decir, que esta se provoca cuando la temperatura media del aire y la humedad ambiental disminuyen conforme se acerca el periodo invernal, características imperantes en la zona de Cuautitlán Izcalli que es donde se localiza la Estación Meteorológica.

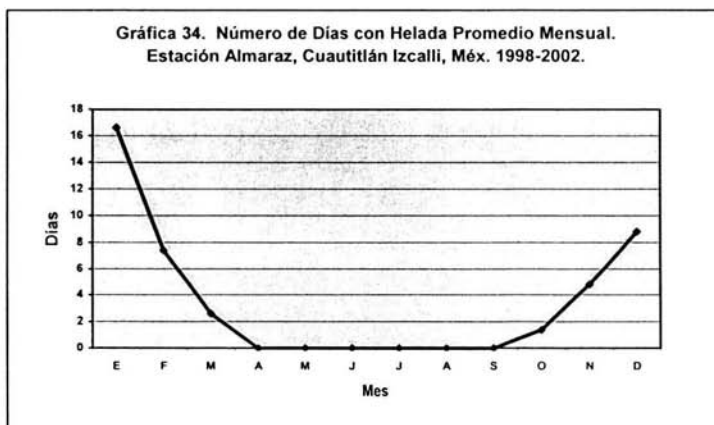
Como se muestra en la gráfica 33 durante el periodo de 15 años (1987-2002), las temperaturas comienzan a descender al finalizar septiembre y se prolongan desde octubre y finalizan hasta abril del siguiente año.

El mes más frío que se presenta en este periodo es enero con un promedio de 11.5 días al año y diciembre como el segundo más frío con un promedio de 7.9 días al año, teniendo por lo tanto un periodo libre de heladas aproximadamente de 5 meses (mayo-septiembre). Y presenta un total de 32.6 días con heladas al año.

Si consideramos los datos obtenidos del periodo 1987-1997 (Flores, 1998), que nos indica que el mes más frío se presentó en enero con 8.6 días, entonces es posible que el índice de temperaturas bajas fue menor al periodo de 1987-2002.

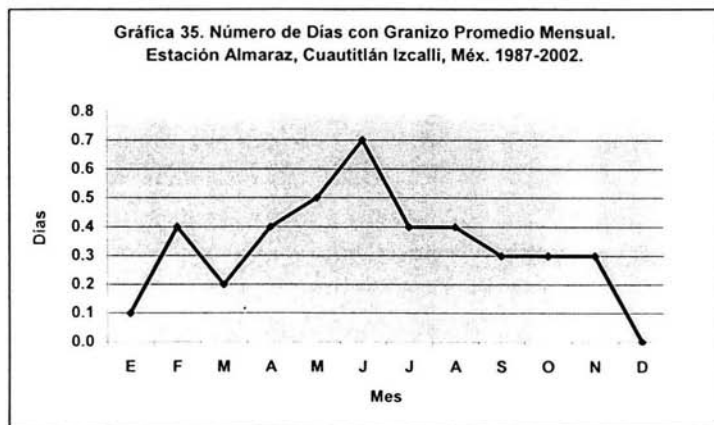


Es importante destacar que durante los últimos 5 años, fue donde se presentó un incremento en el número de días con heladas promedio, como se muestra en la gráfica 34, siendo enero el mes que mayor número de días presentó con un promedio mensual de 16.6 días y diciembre con 8.8 días.



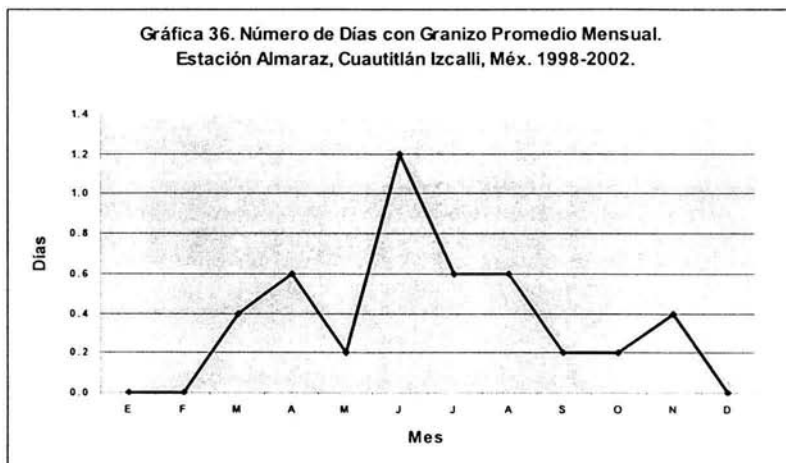
4.18. Número de días con granizo.

En la gráfica 35 se muestran los datos del período de 15 años, donde se observa que al comenzar la época de primavera comienza el ascenso de días con granizo por presentar los factores favorables para la formación de nubes cúmulonimbos, hasta llegar al punto máximo en junio con 0.7 días en promedio, y posteriormente en el período invernal sobre todo en diciembre tener un valor de 0 días. El promedio anual de granizadas es de 4.0 días al año.



Por tanto se puede deducir que la agricultura en la zona, no se verá afectada por este meteoro en la zona por la baja incidencia de granizo.

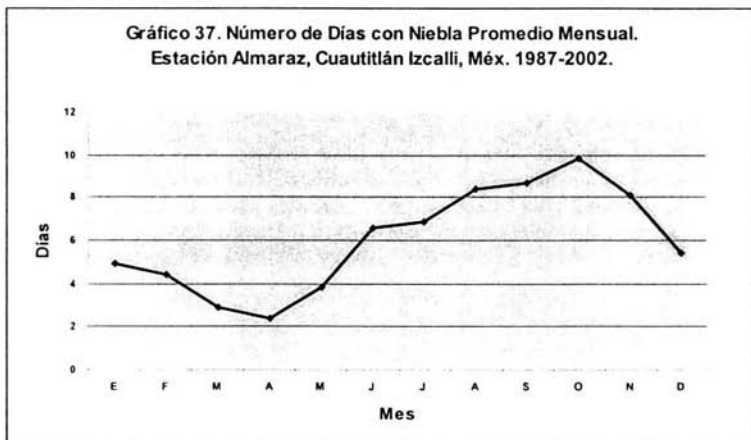
En la gráfica 36, que comprende el período de 5 años, (1998-2002), se observa la presencia durante el mes de junio, del mayor número de días con granizo, 1.2 días al mes en promedio; y con la ausencia total de granizadas durante diciembre, enero y febrero. Lo anterior muestra nuevamente la baja incidencia de granizo en la zona, no siendo un actor limitante para el desarrollo de las actividades agrícolas en la región.



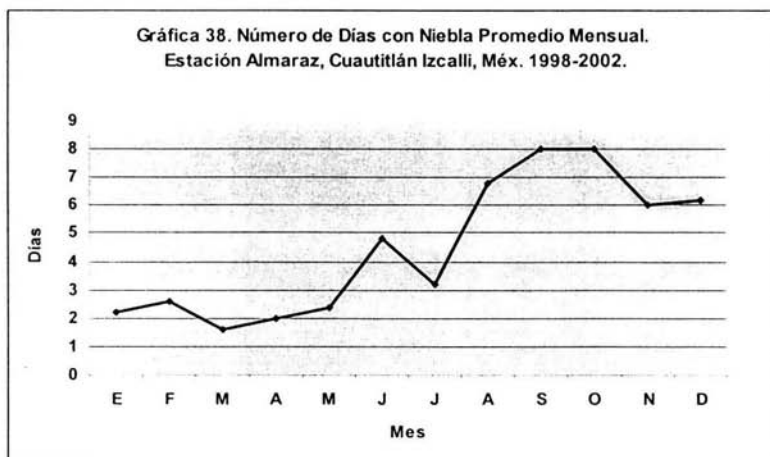
4.19. Número de días con niebla.

Debido a las condiciones topográficas imperantes de la zona de estudio, es común la formación de niebla principalmente durante el verano debido al aumento de la humedad atmosférica y nubosidad que favorece con mayor facilidad el punto de rocío y con ello la formación de la niebla que disminuye la visión horizontal de manera muy notable.

Como se muestra en la gráfica 37 para el periodo de 15 años (1987-2002), el punto más alto se presentó durante octubre con 9.8 días al mes en promedio, sin embargo la curva es muy clara en su ascenso, es decir a medida que existe mayor humedad en el ambiente así como de nubosidad y la altitud de la zona se incrementa la niebla. Y su descenso ocurre a partir de una baja humedad, un exceso de evaporación, la disminución de la nubosidad y la presencia de bajas temperaturas durante la noche. El total es de 72.5 días con niebla al año.



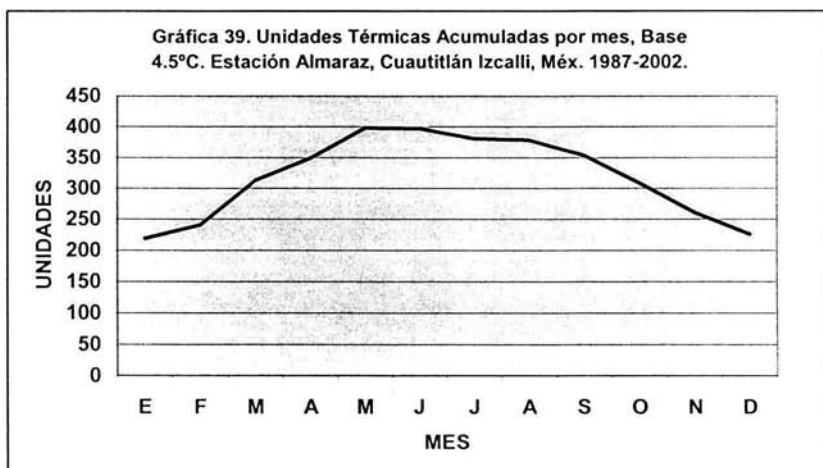
La gráfica 38 muestra los datos de los últimos 5 años (1998-2002). El punto más alto aparece desde septiembre y continua hasta octubre con 8.0 días al mes en promedio, es decir a medida que existe mayor humedad en el ambiente así como de nubosidad, se incrementa la niebla. Los valores más bajos ocurren durante el periodo invernal en que la humedad atmosférica y la nubosidad es menor.



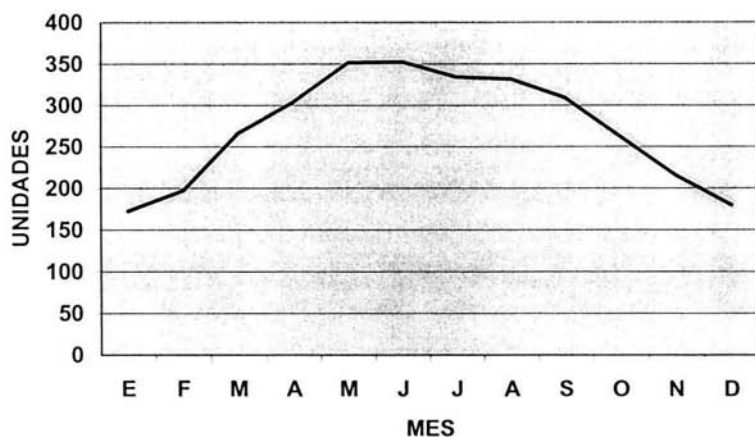
4.20. Unidades térmicas.

En las gráficas 39, 39a, 39b y 39c se muestran las acumulaciones de unidades térmicas (UT), obtenidas a partir de una temperatura media y cuatro temperaturas base: 4.5°C, 6°C, 8°C y 10°C, respectivamente, para el período de 1987-2002, obtenidas a través del método residual. Asimismo, estas unidades térmicas se determinaron empleando los valores de temperatura promedio diaria, del período de 15 años, evaluados en el presente trabajo, y que se reportan de manera acumulada diariamente en los Anexos 9, 10, 11 y 12, para el caso de las tres temperaturas base.

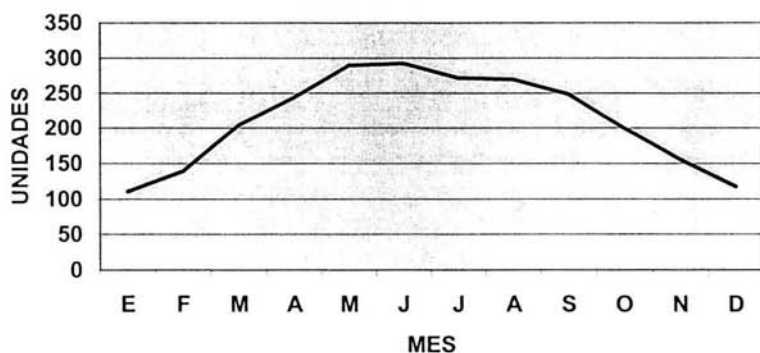
El total anual de acumulación de unidades térmicas con una temperatura base de 4.5°C es de 3,825.7 UT (gráfica 39); a temperatura base de 6°C es de 3,276.7 UT (gráfica 39a); para 8°C son 2,544.7 U.T (gráfica 39b) y para 10°C se obtuvieron 1,812.0 U.T (gráfica 39c). Lo que indica que a una temperatura base de 8°C existe una acumulación de calor suficiente para los cultivos de la zona templada, en la cual se encuentra ubicada la zona de estudio, que permite en base a estos resultados la calendarización de las actividades agrícolas, estimando también el desarrollo fenológico principalmente de cultivos de temporal, frijol, maíz, etc. y de algunos cultivos perennes.

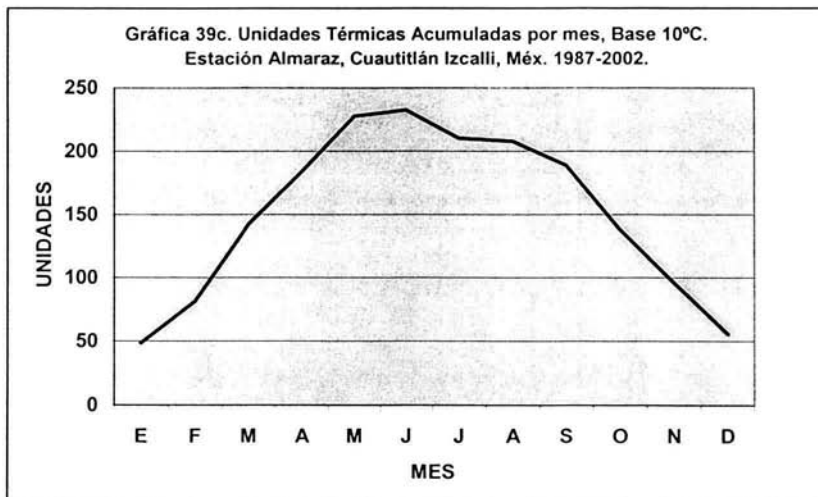


Gráfica 39a. Unidades Térmicas Acumuladas por mes, Base 6°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.



Gráfica 39b. Unidades Térmicas Acumuladas por mes, Base 8°C. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.





A manera de ejemplo, se consideró calcular la Constante Térmica, que es la acumulación de unidades térmicas desde la siembra hasta la madurez, para el cultivo de maíz, el cual se siembra en la zona aledaña a la Estación Meteorológica; se consideró una temperatura base de 10°C.

Asimismo se consideró la fecha de siembra del 15 de abril, fecha en la cual la probabilidad de ocurrencia de la última helada ha pasado (23 de marzo).

Los datos corresponden al Híbrido PUMA 1075, que se siembra bajo condiciones de riego.

Maíz PUMA 1075, de Valles Altos, (2200-2600 msnm).

Fecha de Siembra: 15 de abril.

Fecha de Cosecha: 11 de octubre

Duración del ciclo: 179 días.

Constante Térmica del Híbrido PUMA 1075 de 1938.3 UT.

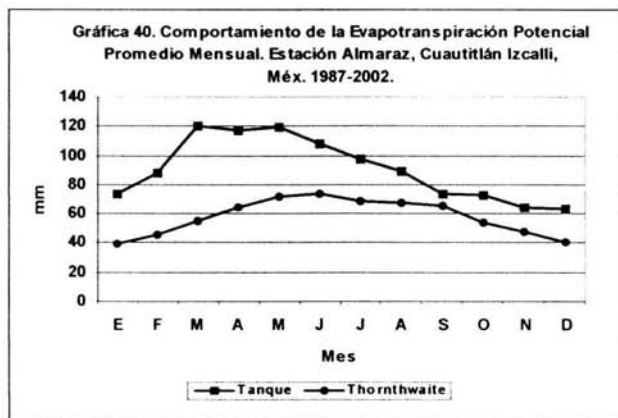
4.21. Evapotranspiración potencial.

La gráfica 40, muestra el comportamiento de la evapotranspiración durante el período de 15 años (1987-2002), obtenida mediante el método de Thornthwaite y el del Tanque de evaporación "Tipo A".

En ella se aprecia un comportamiento similar al que muestra la evaporación (gráfica 6), pero de forma inversa al comportamiento de la precipitación (gráfica 8), que presenta un período de lluvias durante una parte del año y un período de secas la otra mitad del año. Con el método del Tanque de evaporación "Tipo A" se obtuvo el valor total de la ETP de 1086.3 mm anuales, teniendo el mayor valor en marzo con 121mm y noviembre con el menor valor que es de 64mm al mes, mientras que con el método de Thornthwaite se obtuvo un valor total de la ETP de 693.8mm anuales, presentándose el valor mayor con este método durante junio con 73.9mm y el valor menor en enero con 39.4mm al mes.

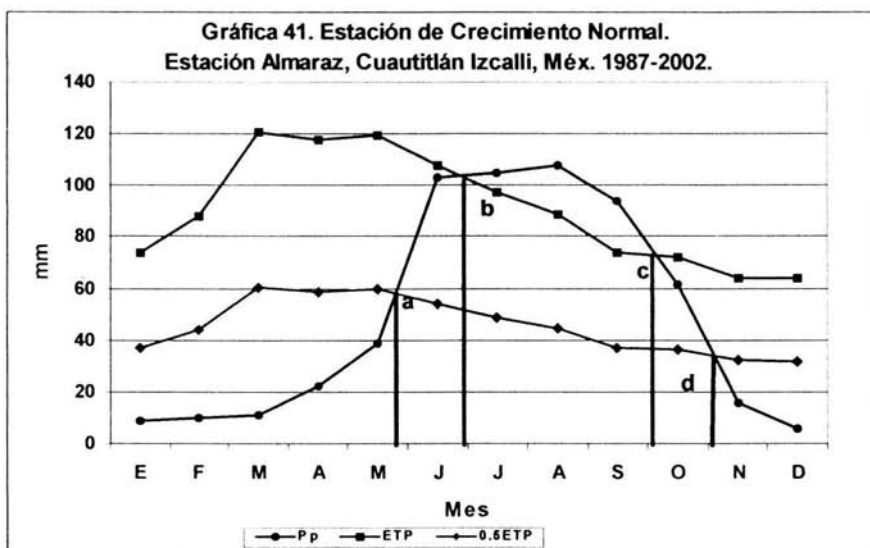
Se puede inferir que los datos obtenidos de Evapotranspiración potencial con el método de Thornthwaite son subestimados, al considerar que este método toma en cuenta solamente el efecto de la temperatura sobre el proceso de evapotranspiración. Sin embargo, los datos que se obtuvieron por el método del Tanque de evaporación son más cercanos a la realidad, porque el proceso de evaporación es afectado por más elementos del clima, esto es la velocidad del viento, la radiación solar, la temperatura, la insolación, la humedad atmosférica, entre otros, y que están íntimamente relacionados con la evapotranspiración. Es claro que el proceso de evapotranspiración involucra el cálculo de la transpiración a través del agua que consume la planta, de tal manera que el dato aquí expuesto es un valor de la evapotranspiración potencial, que ocurriría en condiciones favorables de humedad, sin déficit para la planta.

Al comparar los valores de la ETP obtenidos del período de 15 años (1987-2002) con los obtenidos del período anterior de 10 años 1987-1997 (Flores, 1998), donde se obtuvo mediante el Tanque de evaporación "Tipo A" un valor de 1080.18mm anuales, siendo el mayor valor en marzo con 124mm y el valor menor de 59.77mm al mes, respectivamente, se observa que el valor total de la ETP no presenta una variación significativa al presentar una misma tendencia y el mayor valor mensual es igual en los dos períodos.



4.22. Estación de crecimiento.

En la gráfica 41, se muestran los datos obtenidos con la serie de 15 años (1987-2002), determinando la estación de crecimiento por la disponibilidad de humedad (Método de la FAO). Esta indica, que el inicio de la estación de crecimiento es durante la segunda quincena de mayo, finalizando en la segunda quincena de octubre. Asimismo el periodo húmedo comprende los meses de julio a septiembre, teniendo entonces 4 meses de humedad, periodo en el cual se abastecen las necesidades del cultivo y se recarga el perfil del suelo.



Donde:

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

La gráfica muestra que es una estación de crecimiento normal y la disponibilidad de agua corresponde al ciclo de lluvias de verano, esto debido a que la zona de estudio corresponde principalmente a un clima templado del tipo C(w₀) (w) b (i'), (Flores, 1998).

Al hacer la comparación con la normal de 1987-1997 (Flores, 1998), donde prácticamente no existen diferencias, mostrando entonces una similitud para ambos periodos.

Por otro lado, se determinó la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura, utilizando el periodo libre de heladas, obtenida por 3 métodos diferentes: Pájaro y Ortiz (gráfica 43), el método de Da Mota (gráfica 43a) y el método Normal (gráfica 43b).

Por el método de Pájaro y Ortiz la estación de crecimiento indica a grandes rasgos un periodo libre de heladas o mejor dicho un periodo de bajo riesgo de heladas, de marzo a septiembre por lo que es importante entonces considerar al inicio de la siembra y antes de la cosecha riegos de emergencia y para los otros dos métodos; el de Da Mota y la Normal nos indican de forma más precisa la estación de crecimiento donde: por el método de Da Mota se indica el periodo libre de heladas del 22 de marzo al 13 de octubre, 205 días de bajo riesgo con 20% de probabilidad de ocurrencia. El método Normal indica el periodo libre de heladas a partir del 23 de marzo al 11 de octubre, 202 días de bajo riesgo al 20% de probabilidad de ocurrencia. Esto muestra similitud en el periodo libre de heladas obtenido por los dos métodos anteriores, con tan solo 3 días de diferencia.

4.23. Horas frío.

Los resultados que se obtuvieron al estimar las horas frío con los datos del periodo de 1987-2002, a través del empleo de 3 métodos diferentes: El Método de Da Mota, el Método de Weinberger y el Método de Utha, muestran los siguientes datos:

Por el método de Da Mota fueron 532 horas frío, por de Utha se obtuvieron 371 y por el de Weinberger se obtuvieron 610 horas frío respectivamente.

Es importante considerar la acumulación de horas frío para los árboles caducifolios que se encuentran en la zona de estudio ya que durante el periodo invernal tienen una dormancia en los órganos apicales considerando una temperatura igual o inferior a 7.2°C, como limite para la acumulación de la acción positiva de las horas frío.

Al observar los resultados se percibe una baja acumulación de frío de acuerdo a las necesidades requeridas para el establecimiento de frutales caducifolios, (anexo 5), lo que obliga a utilizar sustancias químicas (compensadores de frío), para compensar las necesidades de algunas variedades de frutales caducifolios en la zona. Por tanto, es importante considerar mejor el

establecimiento de árboles frutales que requieran un promedio de 600 horas frío que son las acumulables en la zona y de esta manera tener una buena brotación de yemas durante la primavera.

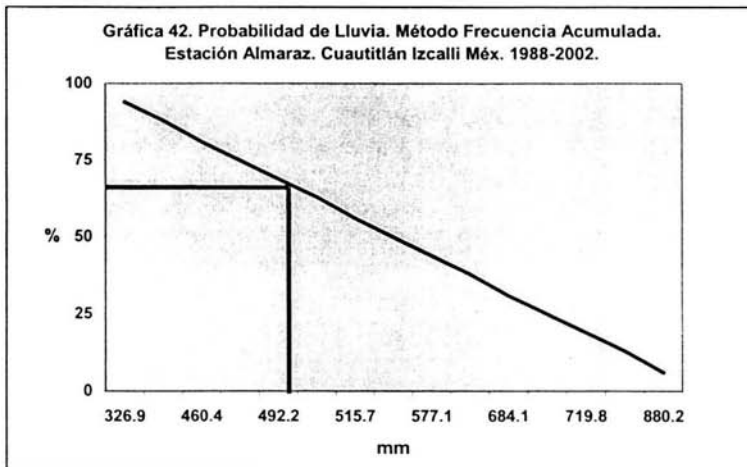
4.24. Probabilidad de lluvia.

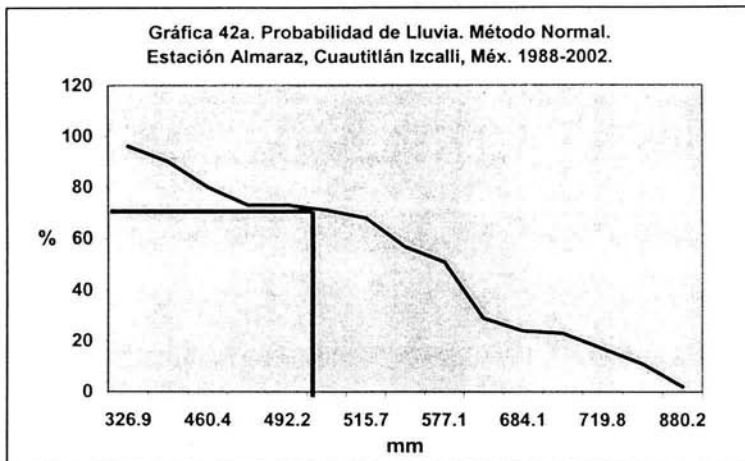
Las gráficas 42, 42a muestran la probabilidad de que ocurra un volumen anual de lluvia para la zona de estudio, con los datos del periodo de 1987-2002, empleando dos 2 métodos: la frecuencia acumulada y el método normal, utilizando un índice de probabilidad del 70% de ocurrencia de lluvia para ambos métodos.

Se determinó por el método de la frecuencia acumulada (gráfica 42), un valor de 492.2mm de precipitación anual; mientras que por el método normal, (gráfica 42a), se proyecta al 70% un volumen de 501.5mm. Por lo que la diferencia no es tan grande, sólo 9.3mm entre los dos métodos.

Por tanto, la probabilidad de tener un mayor volumen de precipitación, representa una menor probabilidad de ocurrencia.

Comparando los resultados obtenidos del periodo de 15 años (1987-2002), con los del periodo 1987-1998 (Flores, 1998), donde se obtuvieron 492mm con el método de frecuencia acumulada y 495mm por el método normal, se podrá observar una diferencia sólo en el método normal de 6.5mm, que no representa gran variación en el comportamiento probabilística de la precipitación, y que al planear las actividades agrícolas en la región se hace énfasis en la necesidad de contar con riegos de auxilio, como se puede ver en la gráfica 7, comportamiento de la precipitación promedio mensual, y de esta forma obtener una producción redituable para la zona de Cuautitlán Izcalli.





El valor promedio de precipitación anual con los datos de 15 años de la Estación Meteorológica Almaraz, es de 583.6mm. Al buscar este valor en la gráfica de probabilidad, representa sólo el 25% aproximadamente de que ocurra una precipitación igual ó mayor de ella, por los dos métodos, lo que reafirma la sugerencia de contar con riego para auxiliar a los cultivos la mayor parte del año.

4.25. Probabilidad de helada.

Las gráficas 43, 43a y 43b que corresponden al período de 1987-2002, muestran el periodo de bajo riesgo de heladas, utilizando los métodos de Da Mota, Pájaro y Ortiz y la Distribución Normal, respectivamente.

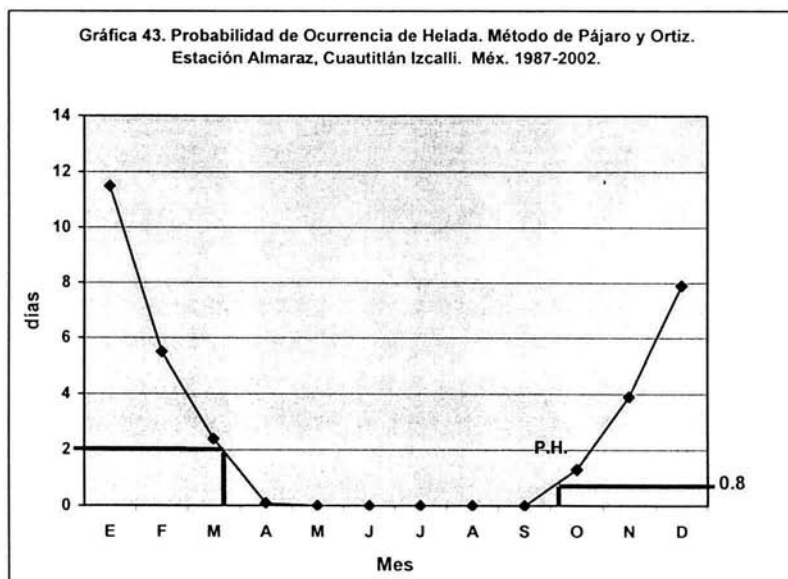
El resultado que se obtuvo con el método de Pájaro y Ortiz (gráfica 43) fue un periodo de marzo a septiembre, es decir, 5 meses de bajo riesgo de heladas, esto se obtuvo considerando la primera helada a partir de un índice de 0.8 días con helada promedio mensual durante octubre y la última helada obtenido de un índice de 2 días con helada promedio mensual, a partir de marzo.

Mientras que en el método de Da Mota (gráfica 43a), se obtuvo un periodo de bajo riesgo de helada a partir del día 81 del calendario Juliano que corresponde al 22 de marzo; termina el día 288 Juliano que corresponde al 13 de octubre es decir, 205 días de bajo riesgo de helada con el 20% de probabilidad de ocurrencia.

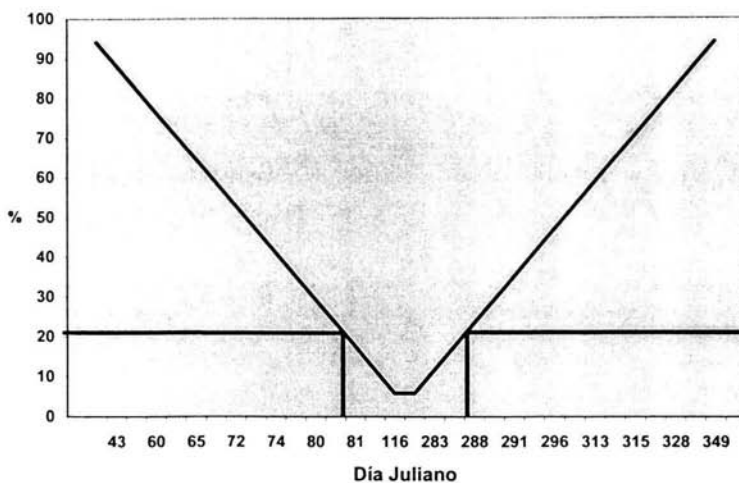
En el método de la Distribución Normal (gráfica 43b), indica un día más, iniciando el día 82 del calendario Juliano que corresponde al 23 de marzo, para finalizar el día 284 del calendario Juliano que corresponde al 11 de octubre es decir 202 días de bajo riesgo de helada con el 20% de probabilidad de ocurrencia, esto es, 1 cada 5 años o 2 cada 10 años.

Por lo tanto la posibilidad de disminuir el riesgo de sufrir pérdidas económicas, es ubicar cronológicamente a los cultivos fuera de la época de ocurrencia de helada; para 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 de ocurrencia.

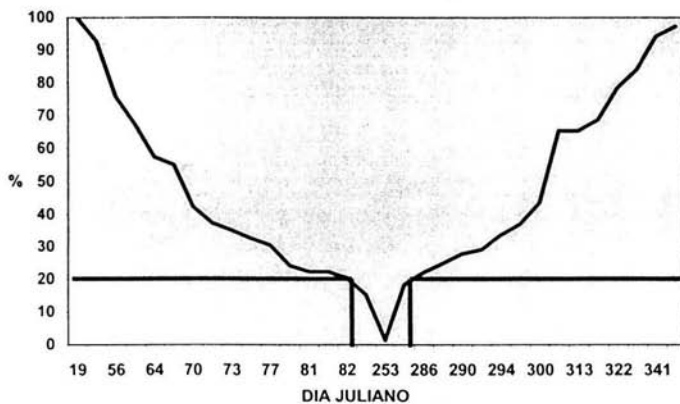
El mayor problema es que se hagan presentes las heladas tardías y tempranas que se presentan en primavera y en otoño pues son las que más estragos causan en la agricultura ya que se presentan en épocas de intensa actividad vegetativa. Las tardías causan daños sobre la floración, foliación y fructificación en las plantas anuales (anexo 4). Mientras que las heladas tempranas pueden interrumpir el proceso de maduración de los frutos y la formación de yemas de las cuales dependerá la producción del año siguiente, (Romo 1989).



Gráfica 43a. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Método de Mota. Estación Almaraz, Cuautitlán, Izcalli, Méx. 1987-2002.



Gráfica 43b. Probabilidad de Ocurrencia de Helada. Método Normal. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, Méx. 1987-2002.



V. Conclusiones.

1. El presente estudio, muestra de manera general y particular el comportamiento de los elementos del clima así como algunos parámetros agroclimáticos, con base al análisis de 15 años de información de la Estación Meteorológica Almaraz.
2. En base a dicha información y a procesamiento estadístico de los datos, se puede realizar una calendarización de actividades agrícolas adecuada para prevenir daños en los cultivos establecidos o que se pretendan establecer en la zona de estudio.
3. La temperatura oscila de acuerdo al calentamiento o enfriamiento de la atmósfera, donde el período más caluroso se hace presente durante la primavera y el período más frío se hace presente en el invierno. La temperatura promedio anual es de 14.9°C.
4. La relación calentamiento-enfriamiento de la superficie del suelo nos indica que la oscilación de temperatura varía de acuerdo a la profundidad del suelo, entre más superficial sea, la oscilación térmica aumenta y a la inversa entre mayor sea la profundidad la oscilación térmica será menor.
5. El comportamiento de la evaporación es inverso al comportamiento de la precipitación. La mayor evaporación se presenta en la época de primavera y disminuye en la época de verano cuando la temporada de lluvias está presente en la zona de estudio. El valor promedio anual de evaporación es de 1,448.5mm y el de precipitaciones de 583.6mm anuales.
6. El número de días con lluvia apreciable coincide con la temporada de lluvias de la zona, haciéndose más perceptible durante julio y agosto con 20 días al mes. Mientras que los días con lluvia inapreciable se hacen más notables durante marzo con 2 días al mes.
7. La velocidad del viento a niveles bajos muestra una disminución en su velocidad, mientras que a mayor altura el viento circula libremente y por ende a una mayor velocidad.
8. La dirección dominante del viento en la zona es de NE con 53.85% de frecuencia.
9. La radiación solar se hace presente con mayor intensidad durante la primavera y disminuye durante la temporada lluviosa, debido a la presencia de nubes, hasta llegar a su punto más bajo durante el período invernal donde los días son más cortos. El promedio anual de radiación solar global es de 466.48 cal/cm²/día.
10. El comportamiento anual de la insolación se encuentra determinada en gran medida por el grado de nubosidad, es decir, durante el verano al existir una concentración mayor de nubes se tienen menos horas de insolación, mientras que en invierno las horas de insolación aumentan al haber cielos despejados, a pesar de que los días son más cortos en esta época del año. La duración promedio de la insolación es de 8.02 horas.
11. El comportamiento de la presión atmosférica está íntimamente ligado al comportamiento de la temperatura y humedad, pues al aumentar la temperatura la presión disminuye y viceversa, al

disminuir la temperatura la presión aumenta. Sus comportamientos son inversos aunque no son proporcionales.

12. Para el caso de la relación humedad y presión atmosférica, se tiene que si aumenta la humedad, la presión aumenta también y si disminuye una disminuye la otra. El valor promedio de la presión atmosférica es de 584.6mmHg, y el de la humedad atmosférica 67.4%.

13. Los días con rocío y los días con niebla son más notables durante los meses de septiembre y octubre, respectivamente. El total de días al año con rocío es de 248.2, y con niebla es de 72.5 días.

14. Los días con tormentas eléctricas son en total 44.2 días al año, presentándose más en el mes de junio.

15. Los días con granizo se presentan con un bajo rango en la zona con 0.7 días promedio en junio y 4.0 días al año, no teniendo mayor efecto en la zona de estudio.

16. El número de días con helada al mes aumentan en la época de invierno, teniendo en total al año 32.6 días con helada. Este dato sirve para determinar el periodo de bajo riesgo de helada, el cual por el método de Pájaro y Ortiz abarca del mes de marzo a septiembre en la zona de estudio.

17. La probabilidad de ocurrencia de la última helada es el día 22 de marzo y la fecha de primera helada el día 12 de octubre, al 20% de probabilidad. El total del periodo de bajo riesgo de helada es de 203 días.

18. La determinación de horas frío indican de acuerdo a los resultados obtenidos, que para establecer un huerto frutícola, es necesario contar con especies que no requieran más de 600 horas frío, para la zona de estudio.

19. Considerando la probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70%, en le presente estudio se obtuvieron 492.2mm, muy por debajo del valor promedio de precipitación que es de 583.6mm, lo cual obliga a contar con riego de auxilio, principalmente para el ciclo otoño-invierno, y como riego de punta en el ciclo primavera-verano.

20. El valor de evapotranspiración potencial obtenido en el presente estudio fue de 1086.3mm anuales, lámina de agua que esta muy por encima de la cantidad de precipitación que se registra en la zona, lo que reafirma la sugerencia de contar con riegos, como anteriormente se señaló.

21. Al construir la gráfica de la estación de crecimiento, por disponibilidad de humedad, esta tiene una duración que abarca de la segunda quincena de mayo a la segunda quincena de octubre, siendo en total 168 días aproximadamente. La duración del periodo húmedo es de tres meses, de julio a septiembre.

22. Por disponibilidad de temperatura, la estación de crecimiento tiene una duración de 203 días. Por disponibilidad de humedad se tuvieron 168 días, lo que resulta en una diferencia de 35 días, periodo que permite establecer los cultivos de ciclo primavera-verano, bajo condiciones de riego al inicio del ciclo.

23. El conteo de unidades térmicas reportó que utilizando una temperatura base de 4.5°C, se acumulan al año 3,825.7 UT; con temperatura base de 6°C se acumulan 3,276.7 UT; con temperatura base de 8°C se acumulan 2,544.7 UT y empleando la temperatura base de 10°C se acumulan 1,812.0 UT al año.

24. Finalmente, se concluye que el comportamiento de los elementos del clima aquí evaluados, caracterizan a la zona como un Clima templado subhúmedo, con lluvias de verano, con poca oscilación térmica, sin sequía intraestival, y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5%.

VI. Bibliografía.

1. Aguilera, C. M. y Martínez, E. R. 1990. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. 2ª Edición. Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Irrigación. Chapingo. México.
2. Albanil, E. A. 1994. Notas del Seminario de Titulación de Ingeniería Agrícola. F.E.S-C. UNAM. México.
3. Ayllón, T. T. y Gutiérrez, R. J. 1983. Introducción a la Observación Meteorológica. Editorial Limusa. México.
4. Castillo, E. F y Castellvi, S. F. 1996. Agrometeorología. Editorial Mundi-Prensa. México.
5. Corzo, S. J. C. 1992. Estación de Crecimiento y Potencial Térmico para Cultivos Básicos en el Estado de México. Tesis FES-C. UNAM. México.
6. Chang, J. 1968. Climate and Agriculture. An Ecological Survey. Aldine Publishing. Chicago. U.S.A.
7. Da Mota, F. S. 1983. Agriculture Meteorology. Weather-Technology.Models for Corn and Soybeans in the South of Brazil.
8. De la Teja, O. 1982. Estudio de las Características Edáficas de los Suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Departamento de Ciencias Agrícolas. UNAM. México.
9. De Fina, A. L y Ravelo, A. C. 1975. Climatología y Fenología Agrícola. 2ª Edición. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina.
10. FAO. 1978. Agro-Ecological Zones Project. Volumen 1. Roma. Italia.
11. Flores, F. F. G. 1998. Caracterización de la Zona de Influencia de la Estación Meteorológica Almaraz en Cuautitlán Izcalli. Tesis FES-C. UNAM. México.
12. Flores, F. L. 1990. Metodología de la Investigación y Diagnóstico en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. INIFAP. México.
13. Fuentes, Y. J. L. 1996. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
14. García, C. R. y Guerrero, C. M. 1995. Índices Agroclimáticos Derivados de la Temperatura para el Valle de Mexicali. Universidad Autónoma de Baja California. México.
15. García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de köppen. 2ª Edición. UNAM. México.
16. Gómez, R. J. C. 1981. Método Climático De Fina en la Aplicación de la Agricultura en el Estado de Aguascalientes. Editorial UNAM. México.

17. Grassi, C. B. 1983. Riesgo de Primeras y Últimas Heladas en Puebla y Tlaxcala Respecto a los Cultivos Básicos. Tesis de M.C. Colegio de Posgraduados. Chapingo. México.
18. Jiménez, L. J. 1972. Instructivo para la Determinación del Tipo de Clima de Acuerdo al Segundo Sistema de Thornthwaite. Departamento de Estudios Especiales. Dirección de Agrología. México.
19. Ortiz, S. C. A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativamente con Aplicaciones en la Republica Mexicana. Departamento de Suelos. Chapingo. México.
20. Pájaro, H. D. y Ortiz, S. C. 1988. Curso Taller Sobre Zonificación Agroecológica de Cultivos. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Chapingo. México.
21. Piña, V. Á. 1992. Capacidad Productiva de Híbridos de Maíz por Diferente Orden de Combinación de Progenitores. Tesis FES-C. UNAM. México.
22. Quintero, O. R. 1991. Comportamiento de las Principales Variables Climáticas que Afectan a Algunos Cultivos en el Área de Influencia de Chapingo. Tesis de M. C. Colegio de Posgraduados. Chapingo. México.
23. Rodríguez, B. R. 1999. Análisis de Series Temporales en Climatología. Ediciones Universitarias de Barcelona. España.
24. Romo, G. 1989. Meteorología Agrícola. 2ª Edición. UACH. México.
25. Sierre, P. 1976. Introducción a la Meteorología. Editorial Espasa-Calpe. Madrid, España.
26. Torres, R. E. 1995. Agrometeorología. Editorial Trillas. México.
27. Villalpando, I. F. y Ruiz, C. A. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su Uso en la Agricultura. Editorial UTEHA. México.
28. <http://www.edomex.gob.mx/se/cuauizcadiag.htm>.
29. <http://www.e-local.gob.mx/enciclo/mexico/mpios/15121a>
30. <http://www.infoagro.com.ar>

VII. Anexos

Anexo 1. Resumen de los datos promedio mensual, de la Estación Meteorológica Almaraz de 1987-2002.

Mes	Temperatura	Precipitación Mensual	Evaporación	ETP	Horas de	Radiación	Presión
	Media (°C)	(mm)	(mm)	(mm)	Insolación	Solar (cal/cm ² /día)	Atmosférica (mmHg)
E	11.6	8.8	98.4	74	8.54	406.43	584.7
F	12.8	10.2	117.1	88	9.04	472.76	584.4
M	14.6	11.0	160.8	121	9.20	529.23	583.3
A	16.1	22.5	156.7	118	8.71	522.84	583.4
M	17.3	38.7	159.1	119	9.01	534.45	583.9
J	17.7	102.9	143.8	108	7.72	503.09	584.2
J	16.8	105.1	129.3	97	7.28	504.47	585.6
A	16.7	108.0	118.3	89	7.49	593.43	585.4
S	16.3	93.5	98.3	74	6.00	436.70	584.5
O	14.4	61.3	96.4	72	8.80	407.96	585.1
N	13.2	15.6	85.4	64	8.05	398.54	585.3
D	11.8	5.9	84.8	64	8.46	387.83	585.3

Mes	Humedad Ambiental (%)	Días con Niebla	Días con Lluvia Apreciable	Días con Lluvia Inapreciable	Días con Nubosidad		
					Despejado	Nublado	Medio N.
					E	63,4	4,9
F	63,2	4,4	3	1	17	2	10
M	60,2	2,9	4	2	18	2	12
A	60,0	2,4	7	2	12	3	15
M	63,8	3,8	10	2	11	3	16
J	69,0	6,6	13	2	6	7	17
J	72,2	6,9	18	1	4	5	19
A	73,0	8,4	18	1	1	6	20
S	74,5	8,7	15	2	4	8	17
O	71,5	9,8	9	1	9	7	14
N	67,4	8,1	4	1	14	3	13
D	65,4	5,4	2	1	16	2	10

Continúa anexo 1.

Mes	Recorrido del viento (mts/día)				Temperatura Mínima a la Intemperie				
	0.30mts	2.0mts	4.0mts	6.0mts	20cm	40cm	60cm	80cm	100cm
E	50,264.5	101,669.9	128,420.9	145,708.2	3.4	2.6	2.1	1.6	2.0
F	60,427.0	113,311.8	143,864.6	166,575.3	2.5	1.7	1.2	0.6	0.3
M	68,533.0	137,127.7	164,442.4	184,846.6	0.8	0.1	0.5	1.0	1.2
A	65,954.2	129,198.7	156,711.8	183,544.3	1.7	2.2	2.7	3.3	3.7
M	67,632.0	134,845.4	161,355.9	187,328.0	4.0	4.6	5.0	5.5	5.9
J	66,702.9	140,323.7	166,716.5	193,419.1	7.3	7.7	8.0	8.4	8.5
J	58,828.2	135,479.0	154,936.1	181,770.0	7.3	7.6	7.9	8.3	8.4
A	51,491.1	130,243.3	156,147.7	184,924.3	7.3	7.7	7.9	8.1	8.3
S	45,902.2	137,093.3	158,175.6	183,877.8	7.7	8.0	8.3	8.5	8.7
O	43,264.7	119,656.8	140,372.1	172,651.2	4.3	4.6	4.9	5.2	5.2
N	43,904.9	108,297.1	127,884.2	149,211.6	0.3	0.5	0.9	1.3	1.3
D	40,937.0	90,670.4	112,748.2	135,322.0	2.8	1.9	1.5	1.0	0.7

Mes	Temperatura de Suelo (°C)			Días con				Nubosidad (octas)
	10cm	20cm	50cm	Rocío	Helada	Granizo	Tormenta eléctrica	
E	11.6	12.8	13.9	17.0	11.5	0.1	0.9	3
F	13.3	13.9	14.4	17.9	5.5	0.4	1.4	3
M	15.7	15.8	16.0	15.5	2.4	0.2	2.3	3
A	17.3	17.3	17.1	15.8	0.1	0.4	3.2	4
M	18.6	18.6	18.2	19.9	0.0	0.5	5.8	4
J	19.7	19.7	19.2	20.5	0.0	0.7	7.4	5
J	18.9	19.3	19.3	24.5	0.0	0.4	7.2	5
A	18.8	19.3	19.3	26.1	0.0	0.4	5.5	5
S	18.4	18.8	19.1	25.9	0.0	0.3	4.9	5
O	16.7	17.2	18.1	23.9	1.3	0.3	3.3	4
N	14.4	15.3	16.5	22.6	3.9	0.3	1.7	4
D	12.1	13.3	15.0	19.6	7.9	0.0	0.1	3

Anexo 2. Régimen de Unidades térmicas (U.T) para maíz en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

Distritos de Desarrollo Rural	U.T. Anual		U.T. Mensual	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Toluca	1242.9	2400.4	0.0	200.0
Zumpango	1948.7	3310.1	162.4	275.8
Texcoco	1350.7	4076.9	112.5	339.7
Tejupilco	4191.6	4739.1	349.3	394.9
Atlacomulco	1568.5	2848.0	130.7	237.3
C. Harinas	2915.8	4098.2	243.0	341.5
V. Bravo	1586.9	4899.3	132.2	408.3
Jilotepec	2081.4	3380.6	173.5	281.7

Fuente: Julio Cesar Corzo Sosa, 1992.

Anexo 3. Régimen de Unidades térmicas (U.T) para frijol en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

Distritos de Desarrollo Rural	U.T. Anual		U.T. Mensual	
	Mín.	Máy.	Mín.	Máy.
Toluca	0.0	2039.8	0.0	170
Zumpango	1591.1	3063.2	132.6	255.3
Texcoco	1011.1	3801.8	84.3	316.8
Tejupilco	1856.4	7204.9	154.7	600.4
Atlacomulco	1231.8	2534.8	102.6	211.2
C. Harinas	2559.7	3890.3	213.3	324.2
V. Bravo	1244.7	5822.3	103.7	485.2
Jilotepec	1722.3	3061.5	143.5	255.1

Fuente: Julio Cesar Corzo Sosa, 1992.

Anexo 4. Régimen de Unidades térmicas (U.T) para trigo en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

Distritos de Desarrollo Rural	U.T. Anual		U.T. Mensual	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Toluca	1385.4	4959.8	115.4	413.3
Zumpango	4511.1	5980.2	375.9	498.3
Texcoco	3931.1	6001.7	327.6	500.1
Tejupilco	4776.4	10125.5	398.0	843.7
Atlacomulco	4146.4	5412.0	345.5	451.0
C. Harinas	5479.7	6810.3	456.6	567.5
V. Bravo	4152.3	8742.3	346.0	728.5
Jilotepec	4641.8	5981.0	386.8	498.4

Fuente: Julio Cesar Corzo Sosa, 1992.

Anexo 5. Requerimiento de horas frío de algunas variedades de frutales.

Especie	Variedad	Requerimientos Horas Frío	Clasificación
Manzano	Rome Beauty	1000 – 1300	Muy Alto
	Golden Delicious	800 – 1000	Alto
	Red Delicious	700 – 800	Medio
	Rayada	600 – 700	Bajo
	Winter Banana	500 - 500	Muy Bajo
Durazno	May Flower	1000 – 1300	Muy Alto
	Fortuna	800 – 850	Alto
	Witehale	700 – 800	Medio
	May Gold	650 – 750	Bajo
	Floradahome	400 – 500	Muy Bajo
Chabacano	Nancy	1000 – 1050	Muy Alto
	Royal	700 – 850	Alto
	Real Fino	650 – 750	Medio
	Klabi	600 – 700	Bajo
	Valencianos	500 – 600	Muy Bajo
Peral	Williams	1000 – 1300	Muy Alto
	Beurré Hardy	950 – 1050	Alto
	Winter Nelis	650 – 750	Medio
	Orient	500 – 600	Bajo
	Paraiso	400 – 500	Muy Bajo
Ciruelo	RedHeart	850 – 950	Muy Alto
	Ozak Premier	800 – 900	Alto
	Purple King	700 – 800	Medio
	Mariposa	650 – 750	Bajo
	Gota de Oro	600 – 700	Muy Bajo
Cerezo	Lambert	900 – 1100	Muy Alto
	Chapman	850 – 950	Alto
	Tixerain	750 – 850	Medio
	Precoz de Bále	750 – 850	Bajo
	Cristobalina	600 – 700	Muy Bajo

Fuente: Calderón 1977

Anexo 6. Temperaturas letales congelantes en diferentes especies y etapas fenológicas.

Especie	Germinación	Temperaturas letales (°C) Floración	Temperaturas letales (°C) Fructificación	Clasificación
Trigo Avena Cebada Chicharo Lenteja Cilantro	-9.0 -8.0 -7.0 -7.0 -7.0 -8.0	-1.0 -1.0 -1.0 -2.0 -2.0 -2.0	-2.0 -2.0 -2.0 -3.0 -2.0 -3.0	Altamente Resistentes
Frijol Girasol Zanahoria	-5.0 -5.0 -6.0	-2.0 -2.0 ---	-3.0 -3.0 ---	Resistentes
Col Soya	-5.0 -3.0	-2.0 -2.0	-6.0 -2.0	Medianamente Resistentes
Maíz Sorgo Papa	-1.0 -2.0 -2.0	-2.0 -1.0 -1.0	-2.0 -2.0 -1.0	Poco resistentes
Melón Arroz Pepino Tomate Tabaco	-0.5 0.0 -0.5 0.0 0.0	-0.5 -0.5 --- 0.0 0.0	-1.0 -0.5 0.0 0.0 0.0	Nada resistentes

Fuente: Da Mota 1979.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

Anexo 7. Horas frío calculadas por el Método de Weinberger.

T. Prom. (°C) Dic - Ene	Horas Frío	T. Prom. (°C) Dic - Ene	Horas Frío	T. Prom. (°C) Dic - Ene	Horas Frío	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

Continua Anexo 8.....

	MIN	MAX	20.0	21.0	21.5	22.0	22.5	23.0	23.5	24.0	24.5	25.0	25.5	26.0	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	
-49	4	0	2	0	2	0	1	0	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
-48	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-47	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-46	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-45	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-44	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-43	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-42	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-41	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-40	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-39	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-38	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-37	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-36	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-35	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-34	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-33	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-32	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-31	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-30	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-29	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-28	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-27	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-26	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-25	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-24	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-23	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-22	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-21	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2
-20	4	0	3	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2	0	2

Continua Anexo 8.....

	30.0	30.5	31.0	31.5	32.0	32.5	33.0	34.0	34.5	35.0	35.5	36.0	36.5	37.0	37.5	38.0	38.5	39.0	39.5	40.0	
1.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
2.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
3.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
4.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
5.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
6.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
7.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
8.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
9.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
10.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
11.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
12.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
13.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
14.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
15.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
16.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
17.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
18.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
19.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
20.0	-8.0	-7.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0

Anexo 9. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 4.5°C.

DIA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	6.7	227.2	469.3	784.3	1134.5	1533.1	1930.1	2310.4	2699.3	3040.9	3348.8	3607.7
2	13.3	235.0	478.9	795.8	1147.5	1546.4	1942.5	2322.0	2701.7	3051.7	3358.0	3615.5
3	19.8	242.9	486.6	807.5	1160.8	1559.6	1954.9	2333.9	2714.0	3062.5	3367.3	3623.2
4	26.3	250.3	497.3	818.9	1173.7	1572.8	1967.5	2346.2	2726.1	3073.0	3378.9	3630.4
5	33.1	257.6	506.5	830.4	1186.7	1586.3	1980.1	2358.5	2738.3	3083.9	3386.0	3638.2
6	40.3	264.3	516.0	841.9	1199.1	1599.9	1992.3	2370.8	2750.5	3094.4	3395.6	3645.7
7	47.3	271.8	525.5	852.8	1211.8	1613.9	2004.6	2382.9	2762.4	3105.5	3405.2	3653.0
8	54.1	278.9	534.6	863.6	1224.5	1628.3	2016.6	2395.2	2774.1	3115.8	3414.5	3659.9
9	60.7	286.6	543.7	874.2	1237.3	1642.2	2028.8	2406.8	2785.7	3126.2	3423.7	3667.1
10	67.4	294.9	552.7	885.5	1249.7	1656.4	2041.2	2418.3	2797.2	3136.1	3432.6	3674.3
11	74.2	303.0	561.7	896.8	1261.8	1670.1	2054.1	2430.9	2809.3	3146.2	3441.0	3681.5
12	81.0	310.7	571.3	908.2	1274.6	1683.8	2066.5	2443.3	2821.6	3155.8	3450.2	3689.2
13	87.5	318.6	581.3	919.9	1287.3	1697.0	2079.3	2455.5	2833.9	3165.5	3458.9	3696.2
14	94.0	327.1	591.5	931.4	1300.0	1710.3	2091.5	2467.8	2846.1	3175.1	3467.6	3703.2
15	100.6	335.9	602.0	942.8	1312.3	1723.3	2103.8	2480.4	2857.8	3184.5	3476.7	3710.4
16	107.5	344.1	612.2	954.1	1324.4	1737.0	2116.4	2492.7	2870.1	3193.8	3486.1	3717.5
17	114.7	352.6	622.4	965.5	1337.6	1750.5	2128.9	2505.0	2882.2	3203.4	3494.9	3724.8
18	122.5	361.5	632.7	977.1	1350.6	1763.9	2141.1	2517.2	2894.5	3213.0	3503.6	3732.2
19	129.6	371.4	643.1	988.7	1363.4	1776.7	2153.6	2529.8	2907.1	3223.1	3511.9	3739.9
20	136.7	380.5	653.1	1000.3	1376.4	1789.6	2165.7	2541.4	2918.7	3232.9	3519.6	3747.4
21	143.8	388.7	663.4	1012.4	1389.6	1802.4	2178.1	2553.4	2930.2	3243.2	3527.3	3755.2
22	150.9	396.8	673.8	1024.3	1401.7	1815.0	2190.2	2565.7	2942.1	3252.7	3535.2	3762.9
23	157.9	405.2	684.0	1036.0	1414.4	1827.7	2201.7	2577.5	2953.8	3262.4	3543.0	3770.6
24	164.6	413.6	695.4	1048.2	1427.4	1840.5	2213.5	2589.8	2965.2	3271.8	3550.8	3777.8
25	172.5	422.4	706.5	1060.6	1441.0	1853.6	2225.7	2602.5	2976.8	3281.3	3559.2	3785.0
26	179.2	431.7	717.8	1072.5	1454.2	1866.5	2237.6	2614.9	2988.5	3290.9	3567.3	3791.4
27	186.3	441.2	729.0	1084.3	1467.6	1879.3	2249.5	2627.2	2999.5	3300.3	3575.8	3798.7
28	194.0	450.4	740.0	1096.4	1480.4	1891.9	2261.5	2639.5	3009.7	3309.9	3584.1	3805.5
29	202.2	459.9	751.0	1108.9	1493.8	1904.6	2273.6	2652.0	3020.4	3319.4	3592.7	3812.1
30	211.5		762.1	1121.9	1507.0	1917.5	2286.0	2664.0	3030.4	3329.2	3599.5	3818.7
31	219.2		772.9		1520.0		2298.2	2676.5		3339.0		3825.7

Anexo 10. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 6°C.

DIA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	5.2	179.2	377.8	646.3	951.5	1303.8	1655.6	1989.4	2321.8	2628.4	2889.8	3103.7
2	10.3	185.5	385.9	656.3	963.0	1315.4	1666.5	1999.5	2332.7	2637.7	2897.5	3110.0
3	15.3	191.9	394.1	666.5	974.8	1327.1	1677.4	2009.9	2343.5	2647.0	2905.3	3116.2
4	20.3	197.8	401.3	676.4	986.2	1338.6	1688.5	2020.7	2354.1	2656.0	2913.4	3121.9
5	25.6	203.6	409.0	686.4	997.7	1350.8	1699.6	2031.5	2364.8	2665.4	2921.0	3128.2
6	31.3	208.8	417.0	696.4	1008.6	1362.9	1710.3	2042.3	2375.5	2674.4	2929.1	3134.2
7	36.8	214.8	425.0	705.8	1019.8	1375.4	1721.1	2052.9	2385.9	2684.0	2937.2	3140.0
8	42.1	220.4	432.6	715.1	1031.0	1388.3	1731.6	2063.7	2396.4	2692.8	2945.0	3145.4
9	47.2	226.6	440.2	724.2	1042.3	1400.7	1742.3	2073.8	2406.2	2701.7	2952.7	3151.1
10	52.4	233.4	447.7	734.0	1053.2	1413.4	1753.2	2083.8	2416.2	2710.1	2960.1	3156.8
11	57.7	240.0	455.2	743.8	1063.8	1425.6	1764.6	2094.9	2426.8	2718.7	2967.0	3162.5
12	63.0	246.2	463.3	753.7	1075.1	1437.6	1775.5	2105.8	2437.6	2726.8	2974.7	3168.7
13	68.0	252.6	471.8	763.9	1086.3	1449.5	1786.8	2116.5	2448.4	2735.0	2981.9	3174.2
14	73.0	259.0	480.5	773.9	1097.5	1461.3	1797.5	2127.3	2459.1	2743.1	2989.1	3179.7
15	78.1	266.9	489.5	783.6	1108.3	1472.8	1808.3	2138.4	2469.3	2751.0	2996.7	3185.4
16	83.5	273.6	498.2	793.6	1118.9	1485.0	1819.4	2148.2	2480.1	2758.8	3004.6	3191.0
17	89.2	280.6	506.9	803.5	1130.6	1497.0	1830.4	2160.0	2490.7	2766.9	3011.9	3196.8
18	95.5	288.0	515.7	813.6	1142.1	1508.9	1841.1	2170.7	2501.5	2775.0	3019.1	3202.7
19	101.1	296.4	524.6	823.7	1153.4	1520.2	1852.1	2181.8	2512.6	2783.6	3025.9	3208.9
20	106.7	304.0	533.1	833.8	1164.9	1531.6	1862.7	2191.9	2522.7	2791.9	3032.1	3214.9
21	112.3	310.7	541.9	844.4	1176.6	1542.9	1873.6	2202.4	2532.7	2800.7	3038.3	3221.2
22	117.9	317.3	550.8	854.8	1187.2	1554.0	1884.2	2213.2	2543.1	2809.7	3044.7	3227.4
23	123.4	324.2	559.5	865.0	1198.4	1565.2	1894.2	2223.5	2553.3	2818.9	3051.0	3233.6
24	128.6	331.1	568.4	875.7	1209.9	1576.5	1904.5	2234.3	2563.2	2828.4	3057.3	3239.3
25	135.0	338.4	578.0	886.6	1222.0	1588.1	1915.2	2245.5	2573.3	2832.8	3064.2	3245.0
26	140.2	346.2	588.8	897.0	1233.7	1599.5	1925.6	2256.4	2583.5	2840.9	3070.8	3249.9
27	145.8	354.2	598.5	907.3	1245.6	1610.8	1936.0	2267.2	2593.0	2848.8	3077.8	3255.7
28	152.0	361.9	608.0	917.9	1256.9	1621.9	1946.5	2278.0	2601.7	2856.9	3084.6	3261.0
29	159.7	369.9	617.5	928.9	1268.8	1633.1	1957.1	2289.0	2610.9	2864.9	3091.7	3266.1
30	166.5		627.1	940.4	1280.5	1644.5	1968.0	2299.5	2619.4	2873.2	3097.0	3271.2
31	172.7		636.4		1292.0		1978.7	2310.5		2881.5		3276.7

Anexo 11. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 8°C.

DIA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	3.2	115.2	255.8	462.3	707.5	997.6	1289.6	1561.4	1831.8	2078.4	2277.8	2431.7
2	6.3	119.5	261.9	470.3	717.0	1007.4	1298.5	1569.3	1840.7	2085.7	2283.5	2436.0
3	9.3	123.9	268.1	478.5	726.8	1017.1	1307.4	1577.9	1849.5	2093.0	2289.3	2440.2
4	12.3	127.8	273.3	486.4	736.2	1026.6	1316.5	1586.7	1858.1	2100.0	2295.4	2443.9
5	15.6	131.6	279.0	494.4	745.7	1036.8	1325.6	1595.5	1866.8	2107.4	2301.0	2448.2
6	19.3	134.8	285.0	502.4	754.6	1046.9	1334.3	1604.3	1875.5	2114.4	2307.1	2452.2
7	22.8	138.8	291.0	509.8	763.8	1057.4	1343.1	1612.9	1883.9	2122.0	2313.2	2456.0
8	26.1	142.4	296.6	517.1	773.0	1068.3	1351.6	1621.7	1892.1	2128.8	2319.0	2459.4
9	29.2	146.6	302.2	524.2	782.3	1078.7	1360.3	1629.8	1900.2	2135.7	2324.7	2463.1
10	32.4	151.4	307.7	532.0	791.2	1089.4	1369.2	1637.8	1908.2	2142.1	2330.1	2466.8
11	35.7	156.0	313.2	539.8	799.9	1099.8	1378.6	1646.9	1916.8	2148.7	2335.0	2470.5
12	39.0	160.2	319.3	547.7	809.1	1109.5	1387.5	1655.8	1925.6	2154.8	2340.7	2474.7
13	42.0	164.6	325.8	555.9	818.3	1119.5	1396.8	1664.5	1934.4	2161.0	2345.9	2478.2
14	45.0	169.6	332.5	563.9	827.5	1129.3	1405.5	1673.3	1943.1	2167.1	2351.1	2481.7
15	48.1	174.9	339.5	571.6	836.3	1138.8	1414.3	1682.4	1951.3	2173.0	2356.7	2485.4
16	51.5	179.6	346.2	579.6	844.9	1149.0	1423.4	1691.2	1960.1	2178.8	2362.6	2489.0
17	55.2	184.6	352.9	587.5	854.6	1159.0	1432.4	1700.0	1968.7	2184.9	2367.9	2492.8
18	59.5	190.0	359.7	595.6	864.1	1168.9	1441.1	1708.7	1977.5	2191.0	2373.1	2496.7
19	63.1	196.4	366.6	603.7	873.4	1178.2	1450.1	1717.8	1986.6	2197.6	2377.9	2500.9
20	66.7	202.0	373.1	611.8	882.9	1187.6	1458.7	1725.9	1994.7	2203.9	2382.1	2504.9
21	70.3	206.7	379.9	620.4	892.6	1196.9	1467.6	1734.4	2002.7	2210.7	2386.3	2509.2
22	73.9	211.3	386.8	628.8	901.2	1206.0	1476.2	1743.2	2011.1	2216.7	2390.7	2513.4
23	77.4	216.2	393.5	637.0	910.4	1215.2	1484.2	1751.5	2019.3	2222.9	2395.0	2517.6
24	80.8	221.1	401.6	645.7	919.9	1224.5	1492.5	1760.3	2027.2	2228.8	2399.3	2521.3
25	85.0	226.4	409.0	654.8	929.0	1234.1	1501.2	1769.5	2035.2	2234.8	2404.2	2525.0
26	88.2	232.2	416.8	663.0	939.7	1243.5	1509.6	1778.4	2043.5	2240.9	2408.8	2527.9
27	91.8	238.2	424.5	671.3	949.6	1252.8	1518.0	1787.2	2051.0	2246.8	2413.8	2531.7
28	96.0	243.9	432.0	679.9	959.9	1261.9	1526.5	1796.0	2057.7	2252.9	2418.6	2535.0
29	101.7	249.9	439.5	688.9	969.8	1271.1	1535.1	1805.0	2064.9	2258.9	2422.7	2538.1
30	106.5	247.1	447.1	698.4	978.5	1280.5	1544.0	1813.5	2071.4	2265.2	2427.0	2541.2
31	110.7	254.4	454.4	708.0	988.0	1289.0	1552.7	1822.5	2078.0	2271.5	2431.7	2544.7

Anexo 12. Unidades Térmicas Acumuladas, con temperatura base de 10°C.

DIA	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1	1.2	51.2	133.8	278.3	463.5	691.6	923.6	1133.4	1341.8	1528.4	1665.8	1759.7
2	2.3	53.5	137.9	284.3	471.0	699.4	930.5	1139.5	1346.7	1533.7	1669.5	1762.0
3	3.3	55.9	142.1	290.5	478.9	707.1	937.4	1145.9	1355.5	1539.0	1673.3	1764.2
4	4.3	57.8	145.3	296.4	486.2	714.6	944.5	1152.7	1362.1	1544.0	1677.4	1765.9
5	5.6	59.6	149.0	302.4	493.7	722.8	951.6	1159.5	1368.8	1549.4	1681.0	1768.2
6	7.3	60.8	153.0	308.4	500.6	730.9	958.3	1166.3	1375.5	1554.4	1685.1	1770.2
7	8.8	62.8	157.0	313.8	507.8	739.4	965.1	1172.9	1381.9	1560.0	1689.2	1772.0
8	10.1	64.4	160.6	319.1	515.0	748.3	971.8	1179.7	1388.1	1564.8	1693.0	1773.4
9	11.2	66.6	164.2	324.2	522.3	756.7	978.3	1185.8	1394.2	1569.7	1696.7	1775.1
10	12.4	69.4	167.7	330.0	529.2	765.4	985.2	1191.8	1400.2	1574.1	1700.1	1776.8
11	13.7	72.0	171.2	335.8	535.8	773.6	992.6	1198.9	1406.8	1578.7	1703.0	1778.5
12	15.0	74.2	175.3	341.7	543.1	781.6	999.5	1205.8	1413.6	1582.8	1706.7	1780.7
13	16.0	76.6	179.8	347.9	550.3	789.5	1006.8	1212.5	1420.4	1587.0	1709.9	1782.2
14	17.0	79.8	184.5	353.9	557.5	797.3	1013.5	1219.3	1427.1	1591.1	1713.1	1783.7
15	18.1	82.9	189.5	359.6	564.3	804.8	1020.3	1226.4	1433.3	1595.0	1716.7	1785.4
16	19.5	85.6	194.2	365.6	570.9	813.0	1027.4	1233.2	1440.1	1598.8	1720.6	1787.0
17	21.2	88.6	198.9	371.5	578.6	821.0	1034.4	1240.0	1446.7	1602.9	1723.9	1788.8
18	23.5	92.0	203.7	377.6	586.1	828.9	1041.1	1246.7	1453.5	1607.0	1727.1	1790.7
19	25.1	96.4	208.6	383.7	593.4	836.2	1048.1	1253.7	1460.6	1611.6	1729.9	1792.9
20	26.7	100.0	213.1	389.8	600.9	843.6	1054.7	1259.9	1466.7	1615.9	1732.1	1794.9
21	28.3	102.7	217.9	396.4	608.6	850.9	1061.6	1266.4	1472.7	1620.7	1734.3	1797.2
22	29.9	105.3	222.8	402.8	615.2	858.0	1068.2	1273.2	1479.1	1624.7	1736.7	1799.4
23	31.4	108.2	227.5	409.0	622.4	865.2	1074.2	1279.5	1485.3	1628.9	1739.0	1801.6
24	32.6	111.1	233.4	415.7	629.9	872.5	1080.5	1286.3	1491.2	1632.8	1741.3	1803.3
25	35.0	114.4	239.0	422.6	638.0	880.1	1087.2	1293.5	1497.3	1636.8	1744.2	1805.0
26	36.2	118.2	244.8	429.0	645.7	887.5	1093.6	1300.4	1503.5	1640.9	1746.8	1805.9
27	37.8	122.2	250.5	435.3	653.6	894.8	1100.0	1307.2	1509.0	1644.8	1749.8	1807.7
28	40.0	125.9	256.0	441.9	660.9	901.9	1106.5	1314.0	1513.7	1648.9	1752.6	1809.0
29	43.7	129.9	261.5	448.9	668.8	909.1	1113.1	1321.0	1518.9	1652.9	1754.7	1810.1
30	46.5	134.0	267.1	456.4	676.5	916.5	1120.0	1327.5	1523.4	1657.2	1757.0	1811.2
31	48.7	138.0	272.4	464.0	684.0	924.0	1126.7	1334.5	1528.0	1661.5	1759.7	1812.7