



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Normal climática de la Estación
Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli,
México (1987-2013)**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

P R E S E N T A:

MARTHA RODRIGUEZ RAMIREZ

ASESOR

Dr. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO 2014.



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



**M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE**

**ATN: M. en A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos **La Tesis:**

**NORMAL CLIMÁTICA DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ALMARAZ, CUAUTITLÁN IZCALLI MÉXICO
(1987-2013)**

Que presenta el pasante: **MARTHA RODRÍGUEZ RAMÍREZ**
Con número de cuenta: **08805957-2** para obtener el Título de: **Ingeniera 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 ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 23 de Mayo de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

| | NOMBRE | FIRMA |
|---------------------|-------------------------------------|-------|
| PRESIDENTE | M.C. Margarita Tadeo Robledo | |
| VOCAL | Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza | |
| SECRETARIO | Dr. Gustavo Mercado Mancera | |
| 1er SUPLENTE | Dr. Julio César Córzo Sosa | |
| 2do SUPLENTE | M.C. Ana María Martínez García | |

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Agradecimientos

Al Doctor en Ciencias, Gustavo Mercado Mancera, por compartir sus valiosos conocimientos, por dedicar incontables horas de su tiempo a dirigir este trabajo, por su amistad y por enseñarme a sobreponerme a la adversidad.

A mi gran amigo el Ingeniero Alejandro Mosqueda Rivera, por el empeño y paciencia con que me animó a superar difíciles barreras académicas, por ser motivo de inspiración y un gran impulso para seguir el andar.

A mis apreciables amigas las Ingenieras Leticia de Paz Hernández y Socorro Torres Cortés, compañeras de generación, por haber crecido con un espíritu de competitividad pero compartiendo momentos personales dentro y fuera del salón de clases, y porque cada una somos el eslabón que une la cadena.

A mi adorable madre Carmen Ramírez R. quien siempre me ha otorgado su amparo incondicional, olvidándose de su propio bienestar para que yo alcanzara mis metas. Por su comprensión y ayuda en los momentos difíciles, por darme los recursos necesarios para estudiar. Mamacita muchas gracias por ser quien eres y por darme tu tiempo, ejemplo y amor.

Gracias a cada uno de mis Profesores de la carrera de Ingeniería Agrícola y a la máxima casa de estudios, la Universidad Nacional Autónoma de México. Al Jurado que formó parte en este trabajo, agradezco sus enriquecedores comentarios.

Esta tesis es un logro que Dios me permitió, él me dio fuerzas para no desfallecer. Me ha dado todo lo que soy como persona: principios, carácter y empeño para conseguir mis objetivos. Me hizo sentir que la vida consiste en tener siempre algo que hacer y que esperar, gracias por permitirme llegar hasta este importante momento de mi formación profesional.

Gracias...

Cuando la semilla es de calidad, no importa el mal tiempo ni la lluvia ni la sequía, ni el calor o el frío, serán suficientes para limitar su germinación y lograr abundantes cosechas.

Martha Rodríguez Ramírez.

CONTENIDO

| | Página |
|--|------------|
| INDICE DE GRÁFICAS | <i>i</i> |
| INDICE DE FIGURAS | <i>iii</i> |
| INDICE DE CUADROS | <i>iii</i> |
| RESUMEN | <i>iv</i> |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Objetivos | 2 |
| 1.1.1 Objetivo general. | |
| 1.1.2. Objetivos particulares | |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Definición de Agrometeorología, Agroclimatología y Normal climática | 3 |
| 2.2. Aplicaciones de la Agrometeorología y Agroclimatología | 5 |
| 2.3. Métodos para el cálculo de las variables agroclimáticas | 7 |
| 2.3.1. Evapotranspiración potencial | 7 |
| 2.3.2. Unidades térmicas | 12 |
| 2.3.3. Horas frío | 14 |
| 2.3.4. Probabilidad de lluvia | 15 |
| 2.3.5. Probabilidad de helada | 17 |
| 2.3.6. Estación de crecimiento | 19 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 21 |
| 3.1. Características del área de estudio | 21 |
| 3.1.1. Localización Geográfica | 21 |
| 3.1.2. Características Climáticas | 21 |
| 3.1.3. Características Edáficas | 22 |
| 3.1.4. Localización y descripción de la Estación Meteorológica Almaraz | 22 |
| 3.2. Metodología | 24 |
| 3.2.1. Datos Climáticos | 24 |
| 3.2.2. Métodos Empleados | 24 |
| 3.3. Variables Climáticas | 25 |
| 3.3.1. Marcha de la temperatura | 25 |
| 3.3.2. Temperatura mínima a la intemperie | 25 |
| 3.3.3. Evaporación | 25 |
| 3.3.4. Precipitación (pp). | 25 |

| | Página |
|--|--------|
| 3.3.5. Humedad Atmosférica | 25 |
| 3.3.6. Viento | 25 |
| 3.3.7. Radiación solar | 25 |
| 3.3.8. Insolación | 25 |
| 3.3.9. Temperatura del suelo | 26 |
| 3.3.10. Presión Atmosférica | 26 |
| 3.3.11. Nubosidad | 26 |
| 3.3.12. Número de días con nubosidad | 26 |
| 3.3.13. Número de días con lluvia apreciable | 26 |
| 3.3.14. Número de días con lluvia inapreciable | 26 |
| 3.3.15. Número de días con rocío | 26 |
| 3.3.16. Número de días con tormenta eléctrica | 26 |
| 3.3.17. Número de días con helada | 27 |
| 3.3.18. Número de días con granizo | 27 |
| 3.3.19. Número de días con niebla | 27 |
| 3.4. Variables Agroclimáticas | 27 |
| 3.4.1. Unidades térmicas | 27 |
| 3.4.2. Evapotranspiración potencial | 27 |
| 3.4.3. Estación de crecimiento | 27 |
| 3.4.4. Horas frío | 27 |
| 3.4.5. Probabilidad de lluvia | 28 |
| 3.4.6. Probabilidad de helada | 28 |
| 3.4.7. Fórmula climática | 28 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 4.1. Marcha de la temperatura | 29 |
| 4.2. Temperatura mínima a la intemperie | 30 |
| 4.3. Tendencia de la evaporación | 31 |
| 4.4. Tendencia de la precipitación | 32 |
| 4.5. Tendencia de la humedad atmosférica | 34 |
| 4.6. Tendencia del viento | 35 |
| 4.7. Tendencia de la radiación solar | 36 |
| 4.8. Tendencia de la insolación | 37 |

| | Página |
|---|--------|
| 4.9. Temperatura del suelo | 38 |
| 4.10. Tendencia de la presión atmosférica | 39 |
| 4.11. Tendencia de la nubosidad | 40 |
| 4.12. Número de días con nubosidad | 41 |
| 4.13. Número de días con lluvia apreciable e inapreciable | 42 |
| 4.14. Número de días con rocío | 43 |
| 4.15. Número de días con tormenta eléctrica | 44 |
| 4.16. Número de días con helada | 44 |
| 4.17. Número de días con granizo | 45 |
| 4.18. Número de días con niebla | 46 |
| 4.19. Unidades térmicas | 47 |
| 4.20. Evapotranspiración potencial | 48 |
| 4.21. Estación de crecimiento | 49 |
| 4.22. Horas frío | 51 |
| 4.23. Probabilidad de lluvia | 51 |
| 4.24. Probabilidad de helada | 53 |
| 4.25. Fórmula climática | 55 |
| 4.26. Programa de manejo del cultivo de calabacita | 56 |
| V. CONCLUSIONES | 58 |
| VI. LITERATURA CITADA | 61 |
| ANEXOS | 64 |

INDICE DE GRÁFICAS

| | Página |
|--|--------|
| Gráfica 1. Marcha de la temperatura promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 30 |
| Gráfica 2. Temperatura mínima a la intemperie promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 31 |
| Gráfico 3. Tendencia de la evaporación promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 32 |
| Gráfica 4. Tendencia de la precipitación promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 33 |
| Gráfica 5. Tendencia de la precipitación total anual. Estación Almaraz, 1987-2013 | 33 |
| Gráfica 6. Tendencia de la humedad atmosférica promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 34 |
| Gráfica 7. Recorrido del viento promedio mensual a diferentes alturas. Estación Almaraz, 1987-2013. | 35 |
| Gráfica 8. Dirección del viento promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 36 |
| Gráfica 9. Tendencia de la radiación solar promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 37 |
| Gráfica 10. Tendencia de la insolación promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 38 |
| Gráfica 11. Tendencia de la temperatura del suelo promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 39 |
| Gráfica 12. Tendencia de la presión atmosférica promedio mensual. Estación Almaraz 1987-2013. | 40 |
| Gráfica 13. Tendencia de la nubosidad promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 41 |
| Gráfica 14. Días con nubosidad promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 42 |

| | |
|---|----|
| Gráfica 15. Días con lluvia apreciable e inapreciable promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 43 |
| Gráfica 16. Días con rocío promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 43 |
| Gráfica 17. Días con tormenta eléctrica promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 44 |
| Gráfica 18. Días con helada promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 45 |
| Gráfica 19. Días con granizo promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 45 |
| Gráfica 20. Días con niebla promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 46 |
| Gráfica 21. Evapotranspiración potencial promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013. | 49 |
| Gráfica 22. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad. Estación Almaraz 1987-2013. | 50 |
| Gráfica 23. Probabilidad de Lluvia por el método de Frecuencia acumulada. Estación Almaraz, 1987-2013. | 52 |
| Gráfica 24. Probabilidad de lluvia por el método Normal. Estación Almaraz, 1987-2013. | 52 |
| Gráfica 25. Probabilidad de ocurrencia de helada por el método de Da Mota. Estación Almaraz, 1987-2013. | 54 |
| Gráfica 26. Probabilidad de ocurrencia de helada por el método de Pájaro y Ortíz. Estación Almaraz, 1987-2013. | 54 |
| Gráfica 27. Probabilidad de ocurrencia de helada de método Normal. Estación Almaraz, 1987-2013. | 55 |

INDICE DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Componentes de la Estación de Crecimiento | 20 |
| Figura 2. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli, México | 21 |
| Figura 3. Estación Meteorológica Almaraz Cuautitlán Izcalli, México | 22 |

INDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|--------|
| Tabla 1. Coeficiente de ajuste “C” para estimar la Evapotranspiración potencial como función de la evaporación medida en tanque tipo A. | 11 |
| Tabla 2. Unidades Térmicas acumuladas por mes con diferentes temperatura base | 47 |
| Tabla 3. Programa de actividades en campo del cultivo de calabacita | 56 |
| Tabla 4. UT acumuladas por etapa fenológica del cultivo de calabacita, ciclo P-V 2013. | 57 |

R E S U M E N

El presente trabajo da a conocer un informe analítico de los registros de las variables climáticas de los años de 1987 al 2013, obtenidos de la estación meteorológica Almaraz, en la FES-C, UNAM, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Los datos aquí reportados son de importancia para las zonas aledañas pues indican la tendencia estacional de los elementos del clima como la temperatura, la precipitación, evaporación, humedad y presión atmosférica, radiación solar, nubosidad, entre otros, asimismo de algunas variables agroclimáticas entre ellas la evapotranspiración, probabilidad de ocurrencia de heladas, de lluvia, acumulación de calor y frío en la zona de estudio. Los valores obtenidos de este análisis dan cuenta en la zona de un clima Templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, sin sequía intraestival, el mes más caliente es junio, con poca oscilación térmica; con una temperatura media anual de 15.2 °C; 612.1 mm de precipitación anual; con un periodo de bajo riesgo de helada de 208 días; se acumulan en promedio 600 horas frío; y con una temperatura base de 8 °C se acumulan 2,621.5 unidades térmicas. Los resultados de este estudio, permiten establecer el conocimiento del clima y sus tendencias del pasado al presente, como una herramienta técnica que visualice escenarios futuros para evaluar impactos que afecten o favorezcan el desarrollo de los cultivos, que sirvan además para establecer riesgos climáticos con fines de protección civil, puesto que un clima extremo puede causar graves daños a la economía de una ciudad, a su infraestructura, entre otras.

I. INTRODUCCIÓN

El clima es la principal condicionante del asentamiento y desarrollo de una comunidad, en conjunto con otros factores de tipo biológico, el clima resume la acción integrada de una serie de elementos y factores de la atmósfera terrestre.

La recopilación de los datos climatológicos son elementos que conllevan al estudio de las condiciones climáticas, es una herramienta para la planeación a nivel agrícola, para la predicción del tiempo a nivel urbano y zonificación socioeconómica y geográfica; establecer modelos que permiten predecir y prevenir posibles consecuencias adversas para la humanidad.

El clima permite el desarrollo de una fauna y vegetación determinada, un suelo equilibrado admite hablar de suelos climáticos, por ende existe una estrecha relación entre el tipo de clima de una zona y el tipo de vegetación que crece y lo caracteriza; sin embargo, las variables del tiempo se modifican y pueden afectar dramáticamente a los ecosistemas.

Una estación meteorológica genera información para ser contemplada en el cambio o uso suelo, sea para actividades con fines urbanos o agropecuarios. La información que se genera de la estación meteorológica se adopta para mejorar los sistemas de alerta temprana y vigilancia, para la toma de decisiones operativas, como la planeación de cultivos, que garantizan la producción y alimentación mundial.

La estación meteorológica Almaraz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-C) lleva un registro de datos a lo largo de sus 26 años de existencia, el equipo e instrumentos que miden y registran las variables meteorológicas permite elaborar predicciones a partir de modelos numéricos que acercan a la tendencia normal del clima de la zona de influencia de la misma estación. A través de estos años, Flores (1998) realizó un análisis que comprendió el primer periodo de 10 años (1987–1997). Un segundo trabajo por espacio de 5 años adicionales (1998-2002) fue reportado por Trejo (2004). El presente trabajo incluyó la serie completa de datos, que integra la información de julio de 1987 a diciembre del 2013.

Los registros meteorológicos de la estación son de uso muy importante en la planeación de actividades agropecuarias, y en el caso particular de la FES-C, son un gran apoyo a la programación de la producción agrícola con fines de investigación, y prácticas de algunas asignaturas de la Carrera de Ingeniería Agrícola y áreas afines que involucren en sus investigaciones la información que la estación meteorológica genera diariamente.

Debido a que el clima tiende a ser regular en periodos de tiempo muy largo, incluso geológico, en el presente estudio, se usan los datos climáticos de las unidades de medida registrados durante 26 años de trabajo de la estación meteorológica Almaraz, para calcular los valores promedio de los elementos del clima registrados, calcular la tendencia de algunos parámetros agroclimáticos (el cálculo del periodo libre de heladas, la evapotranspiración, la estación de crecimiento), asimismo, la presencia de fenómenos meteorológicos como el rocío, la niebla, el granizo, entre otros.

Por lo anterior se plantearon los objetivos siguientes:

1.1. Objetivos.

1.1.1. Objetivo general:

Establecer la tendencia normal de los elementos climáticos que registra la estación meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México, de julio de 1987 a diciembre del 2013.

1.1.2. Objetivos particulares.

- a) Analizar la tendencia de los elementos del clima registrados de 1987 a 2013, en la estación meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México.
- b) Determinar los valores de las variables agroclimáticas del período de estudio, con base en los valores promedio de los elementos del clima registrados en la estación.
- c) Proponer un plan de manejo para un cultivo que se adapte a las condiciones agroclimáticas determinadas del presente trabajo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Definición de Agrometeorología, Agroclimatología y Normal climática

En relación a los objetivos planteados, en el presente capítulo se indican los principales conceptos y la importancia de su estudio en la agricultura. Para el desarrollo del proyecto, es conveniente definir los conceptos de Agrometeorología y Agroclimatología, para poder entender la importancia que tiene el determinar los valores normales de los elementos climáticos. Sin embargo, es necesario aclarar que el tiempo atmosférico es el conjunto de las condiciones que caracterizan la atmósfera en un momento determinado (Nájera y Arteaga, 1998).

En un sentido estrecho la palabra, clima está constituido por la totalidad de los fenómenos meteorológicos (temperatura, precipitación, viento, además de otros elementos climáticos) que caracterizan el estado promedio de la atmósfera en un determinado lugar. Para describir el clima, se toman en cuenta los valores registrados en un período de 30 años de duración. Si se toma en un sentido más amplio la palabra, clima se define como el estado del sistema climático (Ayllón, 1996).

El tiempo es el objeto de estudio de la meteorología y puede ser considerado como el "estado específico de los diversos elementos atmosféricos, como radiación, humedad, presión, viento y temperatura, en un momento determinado". El clima por el contrario, se define como el "sumario estadístico, o promedio de los elementos meteorológicos individuales, a través de un número dado de años". La climatología, sobre todo en la actualidad, no sólo estudia las condiciones medias, sino también las extremas y los patrones de comportamiento, como por ejemplo los ciclos climáticos; aun cuando hace uso de la estadística, esta última debe utilizarse sólo como un instrumento para describir las fluctuaciones o la naturaleza cambiante del clima, su variabilidad a largo plazo, y la influencia interrelacionada de todos los elementos atmosféricos (INEGI, 2005).

Entonces, el clima es la condición media del tiempo, a través de los años, que caracterizan un punto de la superficie terrestre (Moran y Morgan, 1991).

Las ciencias que estudian el tiempo y el clima son la Meteorología y la Climatología. Nájera y Arteaga (1998) definieron a la Meteorología como una rama de la Geofísica que estudia los fenómenos físicos y dinámicos, sus características, magnitudes, propiedades y movimientos de la atmósfera terrestre, referentes al tiempo, con la finalidad de conocer las leyes que rigen tales fenómenos, así como su predicción y prevención.

Los valores estadísticos que se obtienen cuando se analizan los registros diarios de las tendencias de los elementos del clima a través del tiempo reciben el nombre de Normal Climática definida como los valores medios de las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, precipitación, viento, horas de sol, etc.), calculados con los datos registrados durante un periodo largo y relativamente uniforme, generalmente mayor de 30 años (MINARI, 2013). Estas normales pueden ser:

- Normales Decadales: cuando son calculadas medias cada 10 días, siendo las dos primeras décadas del mes de 10 días y la tercera década del mes puede variar entre 8, 9, 10 u 11 días, según el número de días del mes.

- Normales Mensuales: cuando se calculan medias para cada uno de los meses del año; por ejemplo, la normal de la precipitación mensual es el promedio de la precipitación mensual acumulada, observada durante muchos años.

Por su parte, la Agrometeorología es la ciencia que estudia las condiciones meteorológicas, climáticas e hidrológicas; su estudio es necesario porque el tiempo atmosférico desempeña un papel importante en su interrelación con los procesos de la producción agrícola. Estudia la atmósfera cercana al suelo, integrando aspectos biológicos y estableciendo relaciones en el sistema suelo-planta-atmósfera. Analiza los componentes meteorológicos básicos y su regularidad en la atmósfera libre, en su capa cercana al suelo y las interacciones en la zona subyacente. Además establece expresiones cuantitativas y dependientes entre atmósfera y la formación, crecimiento y desarrollo de la productividad de cultivos, pasturas y animales (Ebookbrowse, 2010).

La Agrometeorología coopera con la agricultura para utilizar mejor los recursos climáticos y luchar contra las adversidades del tiempo para obtener altos y mejores rendimientos agrícolas. Es una herramienta fundamental en el estudio agroclimático, para el análisis de la fuente de energía en los procesos físicos y biológicos de los cultivos agrícolas (OMM, 1999).

La Agrometeorología es una de las aplicaciones de la Meteorología en la obtención de buenos rendimientos agrícolas. La Comisión de Meteorología Agrícola, indica que la Meteorología Agrícola es la ciencia que se ocupa del agua, el calor y el aire, así como el desarrollo de la biomasa en altitud o bajo el suelo, en torno a la producción agrícola, incluye plagas y en enfermedades que dependen de estos factores. Por lo tanto la actividad que aplica la Agrometeorología es interdisciplinaria, por los conocimientos de distintas especialidades de campos comunes: ciencia del suelo, hidrología, zootecnia, fitopatología, aerobiología, así como ciencias básicas (OMM, 1999).

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

Por otro lado, la Agroclimatología o Climatología Agrícola es la aplicación de los elementos del clima en la agricultura; esta ayuda eficientemente a destacar la planificación agrícola que frecuentemente se ve afectada por la época excesiva de lluvia, la ocurrencia de helada o granizada, altas humedades atmosféricas, que pueden afectar los programas agrícolas, producir pérdidas cuantiosas y originar conflictos sociales (Boshell, 1981) citado por Goyal y Ramírez (2003).

La climatología agrícola es la ciencia que se encarga de estudiar las leyes y principios que relaciona los elementos y factores del clima con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos agrícolas (Romo y Arteaga, 1989).

Entre las principales actividades operativas y de planeación donde tiene aplicación la climatología agrícola están (Villalpando, 1993):

1. Programación de fechas de siembra.
2. Manejo de maquinaria para prácticas agrícolas.
3. Pronósticos de fases fenológicas.
4. Pronósticos de heladas.
5. Manejo de ambientes controlados e invernaderos.
6. Definición de áreas de uso de la tierra.
7. Zonificación de cultivos.
8. Adaptación de cultivos y animales.
9. Manejo de praderas y animales.

De Fina y Ravello (1975) consideraron que tiene más utilidad para la agricultura el estudio de las probabilidades de que ocurran eventos desfavorables para los cultivos. Este tipo de estudios se basa en estadísticas de los fenómenos meteorológicos, que contribuyen a las observaciones de la temperatura, precipitaciones, humedad, entre otros.

2.2. Aplicaciones de la Agrometeorología y Agroclimatología.

El fin que persigue 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

(agua, suelo, planta, ganado), lo que permite desarrollar métodos 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 (Nájera y Arteaga, 1998).

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 establecidos, 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.

La Agrometeorología, se aplica en (Ídem):

- a. Prevención y combate de heladas.
- b. Predicción de la aparición de plagas y enfermedades y su control.
- c. Calendarización de la preparación oportuna de la tierra, siembra, aplicaciones de agroquímicos y cosecha, con base a las condiciones atmosféricas y biológicas.
- d. Medidas de prevención por sequías, peligro de heladas y granizadas, de lluvias excesivas, vientos huracanados, entre otros.
- e. Posibilidad de incendios en bosques.
- f. Momento oportuno del riego.

El uso de la Agroclimatología puede centrarse en:

- a. Apertura de nuevas zonas para la agricultura y la ganadería.
- b. Zonificación de cultivos.
- c. Introducción de nuevas especies y variedades cultivables.
- d. Determinación de las adversidades climáticas para cada cultivo en base a su fenología, con el objeto de tomar medidas para eliminarlas o atenuarlas.
- e. Planeación de los calendarios de siembra y/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.

1. Planeación de la explotación de agostaderos, bosques y selvas, así como programas de reforestación.

2.3. Métodos para el cálculo de las variables agroclimáticas.

A continuación se describen los métodos que fueron empleados en este trabajo, para determinar los valores y tendencias de las variables agroclimáticas:

2.3.1. Evapotranspiración potencial.

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Torres, 1995).

La Transpiración consiste en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su posterior remoción hacia la atmósfera. Los cultivos pierden agua predominantemente a través de estomas. Estos son pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con algunos nutrimentos, es absorbida por las raíces y transportada a través de la planta (Ídem).

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo (FAO, 2006).

Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo.

Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo. En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En el momento de la siembra, casi el 100 % de la ET ocurre en forma de evaporación; cuando la

cobertura vegetal es completa, más del de 90 % de la ET ocurre como transpiración (Allen et al., 2006).

La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua. La unidad de tiempo puede ser una hora, un día, diez días, un mes o incluso un período completo de cultivo o un año.

Chang (1968) reportó que la evapotranspiración potencial (ETP), es la cantidad de agua consumida en la unidad de tiempo por un cultivo verde y de altura que sombrea completamente el terreno y nunca tiene deficiencia de agua. Mientras que Ortiz (1987), señaló 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.

Algunas de las aplicaciones del cálculo de la evapotranspiración real son: definición de períodos de crecimiento, diagnóstico de necesidades de riego y cálculo de balances de humedad.

Para la estimación de la ET se tienen dos tipos de métodos, directos e indirectos. En el método directo, se proporciona directamente el consumo total del agua requerida, por lo que se hace uso de aparatos e instrumentos para su estimación.

Entre los métodos directos se tienen:

- a) El Método Lisimétrico.
- b) El Método Gravimétrico en parcelas experimentales.
- c) 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 entre otros (Ponce, 1989):

- a) El Método de Blaney y Criddle (1950).
- b) El Método del Tanque de Evaporación Tipo A (1968).
- c) El Método de Penman Monteith (1948).
- d) El método de Thornthwaite (1948).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial (ETP) en la Estación Meteorológica Almaraz, solo se utilizaron el método de Penman Monteith, Thornthwaite y el método del Tanque de evaporación “Tipo A”, los cuales se describen a continuación.

a) Método de Thornthwaite: Es 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:

$$ETP^{\circ} = ETP \times f$$

Jiménez (1972), indicó 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.

b) Método del tanque de evaporación tipo “A”: Con el método basado en un dispositivo evaporimétrico, el Tanque de evaporación, Chávez (1973), citado por Aguilera y Martínez (1990), mencionó que frecuentemente se encuentra una 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, mostraron 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 mencionó 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 (Tabla 1).

c) Método de Penman Monteith: Puede considerarse como el método estándar de todos los métodos combinados para estimar la evapotranspiración (ET) del cultivo de referencia. Utiliza términos como la resistencia aerodinámica del follaje para relacionar la altura de los instrumentos meteorológicos con la altura del cultivo y la resistencia estomática a la transpiración mínima que dependerá del tipo de cultivo y de su altura, y su ecuación es:

$$ET_o = \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{10}{L} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma^*} \frac{90}{T + 275} u_2 (e_s - e_a) \right]$$

Donde:

ET_o = evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

γ* = constante psicométrica modificada utilizada en el método de Penman-Monteith (mbar C-1)

e_s – e_a = déficit de presión de vapor (mb)

e_s = presión de vapor a saturación a la temperatura promedio del aire (mb)

e_a = presión de vapor tomada a la temperatura a punto de rocío (mb)

L = calor latente de vaporización (cal gr-1)

Δ = pendiente de la curva de presión de la saturación de vapor a una temperatura específica (mbar °C-1)

γ = constante psicométrica

R_n = energía de radiación neta (cal cm² día-1)

T = temperatura promedio (°C)

G = flujo termal del suelo (cal cm²-)

Tabla 1. Coeficiente de ajuste “C” para estimar la evapotranspiración potencial Como función de la evaporación medida en el tanque tipo A (Palacios (1977), citado por Aguilera y Martínez (1990)).

| Tanque | | Tanque rodeado de pasto | | |
|-------------------------------|-------------------|---|----------------|------------|
| Humedad Relativa promedio (%) | Viento (Km día-1) | Baja 40 | Media 40-70 | Alta 70 |
| | | Viento superior Dist. 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 |

| Tanque | | Tanque rodeado de tierra seca | | |
|-------------------------------|-------------------|---|----------------|------------|
| Humedad Relativa promedio (%) | Viento (Km día-1) | Baja 40 | Media 40-70 | Alta 70 |
| | | Viento superior Dist. 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 |

2.3.2. Unidades térmicas.

Desde el siglo XVIII se puso de relieve la importancia de la temperatura sobre el desarrollo de las plantas, relacionándose la duración del ciclo vegetativo de las plantas con la marcha de las temperaturas. Es fácil observar cómo se acorta la duración del ciclo vital de la planta cuando las temperaturas son más altas (Hernández y Medina, 2012).

La variación anual y diaria de la temperatura del aire tiene un efecto manifiesto en el desarrollo de los vegetales superiores. Las plantas deben acumular determinada cantidad de calor, medida en grados/día o unidades térmicas desde la germinación hasta la madurez (Gastiazoro, s/f).

La temperatura es una variable climática importante para calcular las unidades térmicas de crecimiento de cultivos, mediante las cuales es posible medir la influencia de la temperatura en el desarrollo de los cultivos pero también de enfermedades y plagas además de la fenología de cultivos y estadios biológicos de insectos (Medina et al., 2008).

Las temperaturas tienen efecto sobre la velocidad de crecimiento, germinación, transpiración, respiración, fotosíntesis, y absorción de agua y nutrientes (OCW, s/f).

Es un elemento bioclimático que favorece o promueve el aumento de la masa vegetativa. Se tienen varios umbrales térmicos entre ellos: a) temperatura letal mínima y máxima; b) temperatura vital mínima y máxima; c) temperatura óptima o rango de temperaturas óptimas.

También la temperatura del aire influye sobre el proceso de desarrollo de los vegetales de tres maneras: 1) por la acción de la acumulación de calor (sumas térmicas); 2) por la acción de la acumulación de frío (horas de frío) y 3) por la acción de las amplitudes térmicas (termoperiodismo).

Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo dependen de la cantidad de calor que reciben. Esto quiere decir, que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello (Goyal y Ramírez, 2003).

La temperatura es uno de los factores físicos de mayor importancia del ambiente que influye en los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas (Machado et al., 2006). Romo y Arteaga (1989) definió a las unidades térmicas como la cantidad de temperatura acumulada que necesita una especie vegetal para completar su ciclo vegetativo, así mismo, señaló Bootsma (1977) citado por Corzo (1992), la constante térmica para un determinado cultivo es la cantidad acumulada de temperatura desde la emergencia hasta la madurez fisiológica.

La acumulación de unidades térmicas (U.T) durante una etapa vegetativa es variable para localidades diferentes.

Los métodos para calcular unidades térmicas son los siguientes:

1. Método directo.
2. Método Exponencial.
3. Método Termofisiológico.
4. Método Residual.

Para la presente investigación, se utilizó el Método residual, que consiste en la acumulación de unidades calor arriba de una cierta temperatura base (Tb), 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. La temperatura base tiene gran importancia en el cálculo de los grados día desarrollo o unidades calor (GDD, UC) (Masle et al., 1989). Para aplicar este método se debe contar con la temperatura media diaria.

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

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

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.

Los grados día es una de las formas más correctas para medir cuánto tarda una determinada especie vegetal en alcanzar una etapa fenológica (inicio a la floración, madurez fisiológica, días a antesis, etc.) ya que depende en gran medida de la temperatura. Además, determinar el mínimo de días que requiere una especie para alcanzar una etapa fenológica es muy abstracto ya que dependerá de la temperatura que prevalezca durante el ciclo biológico (Barrios y López, 2009).

2.3.3. 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 periodo de frío es necesario para cumplir posteriormente su desarrollo sin anomalías fenológicas ni alteraciones en el rendimiento (Torres, 1995).

Horas de frío es la suma de horas en que la planta está sujeta a un período de descanso o latencia, cuando la temperatura es igual o inferior a una temperatura base. Es usual considerar la temperatura igual a 7 °C (Gastiazoro, s/f). Esta acumulación de horas frío permite el cese de la latencia de yemas (Elias y Castellvi, 2001).

La duración media específica del reposo de una especie o variedad esta determinada por sus necesidades de frío y es cuantificada a través de la acumulación del número de horas que transcurren durante ese período de reposo invernal, con temperaturas inferiores a una temperatura umbral. Tanto la temperatura umbral como el número de horas-frío son variables para las diferentes especies. Se trabajan con valores para la temperatura umbral de entre 4 y 12 °C; casi todos los trabajos que se han hecho usan como umbral la temperatura de 7 °C, que se considera como un valor fijo en la determinación de las horas frío (Ferrerías, 2002).

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

De acuerdo a las comparaciones hechas en campo, (Damario, 1969) citado por Corzo (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 puede producir errores grandes de estimación.

Dentro de sus aplicaciones se tiene las siguientes: clasificación de especies frutícolas, planificación de actividades de manejo (podas, injertos, compensadores de frío) y la determinación del potencial frutícola en áreas templadas. Existen diferentes modelos que intentan predecir la ruptura del reposo; en la actualidad esos modelos contemplan rangos de temperatura con diferente eficiencia en la acumulación de frío. Para salir del reposo, la planta requiere acumular frío (Gobierno de Aragón, 2010). Para calcular el índice de horas frío se tienen 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 (Almaguer, 1997):

1) Método de F. S. Da Mota (1979).

2) Método del Dr. Weinberger (1956).

1) Método de F. S. Da Mota: En este método se 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 (°C).

2) Método del Dr. Weinberger: hizo una estimación de las horas inferiores a 7 °C en relación a las temperaturas medias de los meses de Diciembre y Enero. Con esas Tablas (Anexo 5) basta comparar la temperatura media combinada, de éstos dos meses con los valores calculados, para obtener una estimación del número de horas frío acumulado.

2.3.4. Probabilidad de lluvia.

La probabilidad de lluvia es definida como la cantidad de lluvia en un período breve o largo de tiempo, asimismo como la frecuencia que es captada ya sea en un volumen superior o inferior a ella, y debido a su tendencia irregular es de vital importancia calcular esta probabilidad para la planeación agrícola. Esto implica 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 o exceso de humedad; balances hídricos; períodos de crecimiento y problemas fitosanitarios.

Hay varios índices que miden la separación entre la actual y un valor normal establecido históricamente. El porcentaje del valor normal es el índice más difundido por su simpleza, aunque tiene el inconveniente que el valor “normal” no siempre es representativo del clima local. Los deciles son mas precisos desde el punto de vista estadístico, siempre y cuando para su cálculo se disponga de una serie histórica muy extensa (Mormoneo y Díaz, 2003).

En este trabajo, los métodos que se utilizaron para obtener la probabilidad de lluvia fueron, la Distribución Acumulada y la Distribución Normal.

1) Distribución acumulada: se obtiene la probabilidad de lluvia mediante la siguiente 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

2) Distribución normal: 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 lluvia con la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X - \mu}{s}$$

Donde:

Z = Probabilidad normal.

X = Dato ordenado.

μ = Media aritmética.

S = Desviación estándar.

2.3.5. Probabilidad de helada.

Como la agricultura es una actividad sujeta a riesgos, las heladas se constituyen como un peligro más a su buen desarrollo. Una helada es considerada desde el punto de vista meteorológico, como la ocurrencia de una temperatura igual o menor a 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 (Romo y Arteaga, 1989).

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. Estas pérdidas son variables y dependen principalmente del estado de desarrollo de la planta y de la intensidad y duración de la helada. Los estragos que ocasiona podrían minimizarse si se conocieran a fondo las características de su distribución, formación y evolución, para así poder desarrollar mejores estrategias y técnicas de defensa en la lucha contra esta adversidad (Medina et al., 2008).

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 asegura 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 (Snyder y Melo-Abreu, 2010).

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 hay 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 (Ortiz, 1987):

- a) Distribución acumulativa.
- b) Distribución normal.
- c) Método de D. S. Da Mota (1977).

d) Método de Pájaro y Ortiz (1988).

Sin embargo en la metodología del presente estudio, sólo se utilizaron los métodos de Da Mota, Distribución normal y el de Pájaro y Ortiz, que se explican brevemente:

1) 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 y que se da a continuación:

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

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.

2) Distribución normal: la fórmula fue descrita anteriormente, y se recomienda este método cuando existe un gran número de observaciones (muchos años con registros de temperatura para cuantificar la fecha de primera y última helada) y además todos los años registran heladas (Medina et al., 2008).

3) Método de Pájaro y Ortiz: Pájaro y Ortiz (1988), mencionaron que si se dispone 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 acumulados para cada mes, de tal forma que es posible construir la gráfica respectiva. En dicha gráfica se entra con 2 días con helada para el primer semestre del año y con 0.8 días con helada para el segundo semestre y al interceptar la gráfica construida, la coordenada de la intercepción corresponda a la fecha en las cuales se tienen probabilidades de 12.1 % y 11.7 % de ocurrencia de helada, respectivamente (Romo y Arteaga, 1989).

2.3.6. Estación de crecimiento.

La estación de crecimiento es el período para las plantas, que presenta condiciones favorables de humedad, temperatura, para su desarrollo y crecimiento. Al respecto Grassi et al. (1986), utilizaron el término estación ó período 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 la utilizó para determinar la longitud de la estación de crecimiento en los EE.UU.

Por lo que respecta al método propuesto para ser utilizado 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 temperaturas óptimas para el desarrollo de los cultivos establecidos o los que se vayan a establecer (FAO, 1978).

Ortiz (1987) 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 utilizó 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 del 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 1.

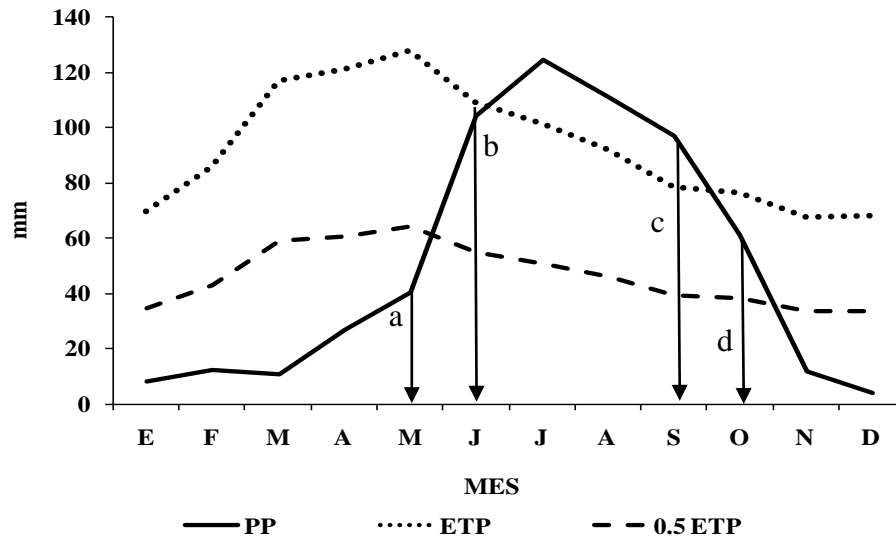


Figura 1. Componentes de la estación de crecimiento (FAO, 1978).

Donde:

a) Inicio del período de crecimiento. Su determinación se basa en el inicio de la estación de las lluvias, 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.

b) 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 al déficit de humedad del perfil del suelo.

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.

d) Final del período de crecimiento. El final de este coincide con la terminación de la estación de lluvias ($P = 0.5 \text{ ETP}$). 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 normalmente aprovechando las reservas de humedad acumuladas en el perfil del suelo.

Se consideró también en este estudio, al período de crecimiento por temperatura como el período libre de heladas (PLH), al 20 % de probabilidad estimada por tres métodos: el método de Pájaro y Ortiz, el método de Da Mota y el método de Distribución normal.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del área de estudio.

3.1.1. Localización geográfica.

El estudio se realizó en la Facultad de Estudios Cuautitlán, UNAM (FES-C), en el centro del valle donde se ubican los municipios de Cuautitlán México y Cuautitlán Izcalli, Estado de México, perteneciendo políticamente al segundo municipio.

El municipio de Cuautitlán Izcalli, se localiza en la parte noroeste de la cuenca de México. Tiene una extensión territorial de 109.9 km² que representa el 0.5 % de la superficie del Estado de México, con una altitud de 2,256 msnm, 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 2).

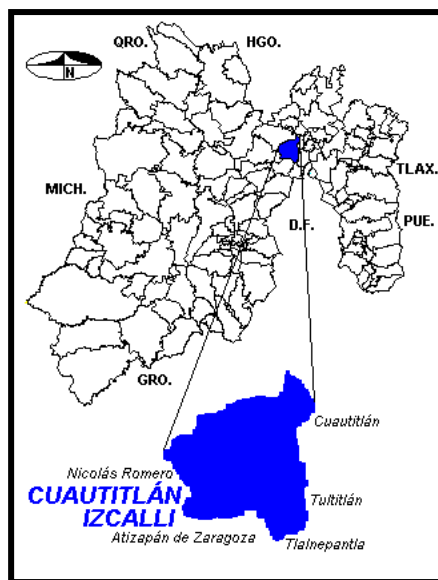


Figura 2. Localización geográfica del municipio de Cuautitlán Izcalli. México.

3.1.2. Características climáticas.

El municipio de Cuautitlán Izcalli cuenta con un clima según Köppen y modificado por Enriqueta García (1973), C(wo) (w) b (i'): 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 en la FES-C quedan definidos como vertisol pélico, 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. Asimismo, De la Teja (1982) señaló que estos suelos presentan dificultad al laboreo por su adhesividad y plasticidad cuando se humedecen y por su dureza cuando permanecen secos.

3.1.4. Localización y descripción de la estación meteorológica Almaraz.

La estación meteorológica Almaraz se encuentra ubicada en la parcela No 14, en la FES-C, en una superficie de 152 m² (Figura 3); en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se localiza en la Longitud Oeste de 99°11'42" y en la Latitud Norte de 19°41'35"; a una altura de 2,256 msnm.



Figura 3. Estación meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli. México.

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, sistematizada en una base de datos, que permiten el acceso a un concentrado de datos diarios.

La instalación de la estación se basó en los lineamientos que la Organización Meteorológica Mundial que establece, entre otros aspectos: contar con abrigos meteorológicos orientados al Norte y a 1.5 m 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; el suelo cubierto de pasto; y con personal capacitado para la toma de datos.

En la estación 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 e instrumental con que cuenta la estación meteorológica es:

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 y digitales 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 m, 4.0 m, y 6.0 m de altura.
- b) Anemómetro totalizador a nivel del Tanque de evaporación.
- 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 Robiszth.

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 2013 en la estación meteorológica Almaraz, y se consideraron los datos de promedios mensuales y totales anuales de: marcha de la temperatura; temperatura mínima a la intemperie a 20, 40, 60, 80 y 100 cm, del suelo; evaporación; precipitación; humedad atmosférica; viento; radiación solar; insolación; temperatura del suelo a 10, 20 y 50 cm; presión atmosférica; 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 Penman Monteith, Método de Thornthwaite y el Tanque de evaporación “Tipo A”.
- b) Unidades Térmicas (U.T): Método residual.
- c) Horas Frío: Método F.S Da Mota y el de Dr. Weinberger.
- d) Probabilidad de lluvia: Distribución acumulada y Distribución 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. Marcha de 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 registrados a 20, 40, 60, 80 y 100 cm de altura del suelo, obteniendo su promedio mensual y expresado en grados centígrados.

3.3.3. Evaporación.

Los datos se procesaron para obtener el promedio mensual, expresado en mm.

3.3.4. Precipitación (pp).

Se realizaron las sumatorias para obtener el total y a su vez los promedios mensuales, expresados en mm.

3.3.5. Humedad atmosférica.

Los datos considerados fueron: la humedad relativa máxima, mínima y media, promedio mensual, expresada en porcentaje.

3.3.6. Viento.

Los valores se calcularon con base al recorrido del viento promedio mensual a 0.3, 2.0, 4.0 y 6.0 m del suelo, expresados en m día⁻¹.

3.3.7. Radiación solar.

Se calculó con base al método de Angström–Prescott (1940) (Rietveld, 1978), utilizando los datos de Insolación a nivel diario para obtener los valores promedio mensual, expresados en cal cm día⁻¹.

3.3.8. Insolación.

Se cuantificaron las horas de insolación diarias para obtener el promedio mensual.

3.3.9. Temperatura del suelo.

Se consideraron los valores registrados a diversas profundidades del suelo: 10, 20 y 50 cm; y se obtuvieron los valores promedio mensuales, expresados en grados centígrados.

3.3.10. Presión atmosférica.

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

3.3.11. Nubosidad.

Se consideraron los valores promedio mensuales medidos en octas¹.

3.3.12. Número de días con nubosidad.

Se cuantificaron los meses, de la serie de 26 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 0.1 mm.

3.3.14. Número de días con lluvia inapreciable.

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

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 26 años.

3.3.16. Número de días con tormenta eléctrica.

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

¹ Octa: Octa u octavos de la bóveda celeste, es la unidad que expresa la fracción de cielo cubierto con nubes en un lugar en particular.

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 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 realizó un ejemplo para establecer las fechas de siembra y cosecha para el cultivo de calabacita.

3.4.2. Evapotranspiración potencial.

Para su estimación se utilizaron los métodos de Penman Monteith, 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 tres 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 se emplearon los métodos de F. S. Da Mota y el del Dr. Weinberger.

3.4.5. Probabilidad de lluvia.

Para estimar este índice se emplearon los métodos de distribución acumulada y 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.

3.4.7. Fórmula climática.

Se estableció con base sistema de clasificación climática de Köppen, modificado por García (1973).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Anexo 1 se presentan los valores promedio mensuales de los elementos del clima analizados en el presente trabajo. A continuación se describe y analiza cada uno de ellos.

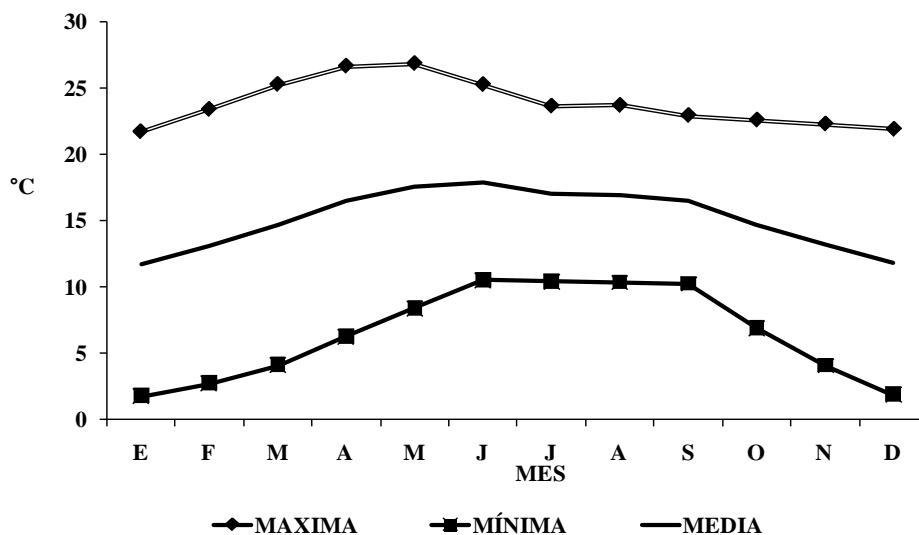
4.1. Marcha de la temperatura.

La Gráfica 1 muestra un incremento de temperatura durante todo el ciclo de primavera-verano a partir del mes de Marzo, siendo junio el mes más caliente con una temperatura media de 17.9 °C, posteriormente se presenta un leve descenso a partir de Julio y se mantiene en un estado constante hasta Septiembre, período en el cual se presenta un incremento de días nublados que originan la temporada de lluvias.

Al finalizar el período de lluvias en Septiembre las temperaturas comienzan a descender y vuelven a ascender hasta el mes de Marzo, que significa el inicio del otoño y el final del invierno. Es en invierno cuando se registra la temperatura promedio mensual más baja. Enero es el mes mas frío con 11.7 °C de temperatura media y 1.8 °C de temperatura mínima promedio mensual.

Durante el período de estudio de 1987 al 2013 se obtuvo una temperatura promedio mensual mínima de 6.5 °C, la media de 15.2 °C y la máxima con 23.9 °C. Los valores extremos de temperatura registrados en la estación meteorológica son:

- a) Temperatura máxima extrema: 34.0 °C el día 8 de mayo de 1998.
- b) Temperatura mínima extrema: -7.9 °C el día 24 de enero de 1999.



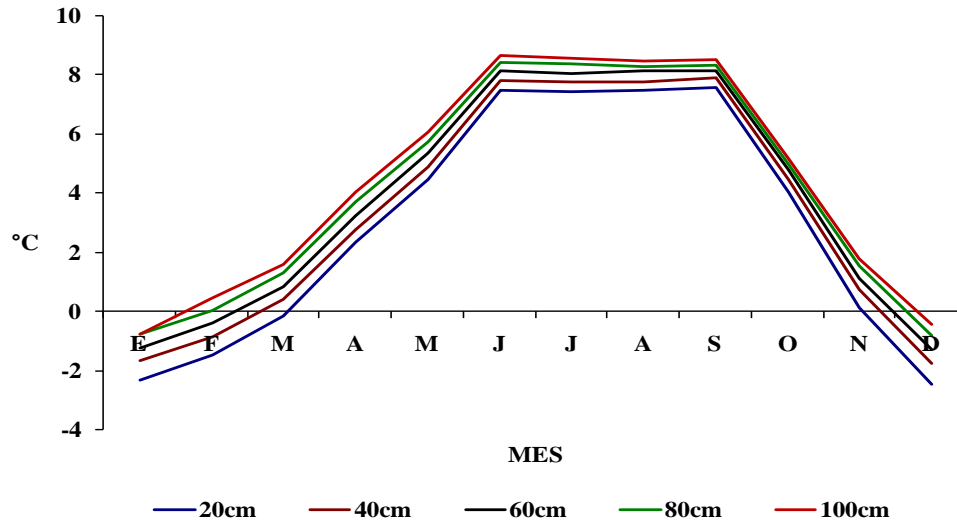
Gráfica 1. Marcha de la temperatura promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

La temperatura mínima promedio mensual más baja ha sido $-2.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de Diciembre de 2010, y la temperatura máxima promedio mensual más alta fue en el mes de Mayo de 1998 con $30.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.2. Temperatura mínima a la intemperie.

La Gráfica 2 muestra la tendencia de la temperatura mínima a la intemperie registrada durante los años de 1987 al 2013 a diferentes alturas: 20, 40, 60, 80 y 100 cm 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, estabilizándose la temperatura en la época de verano. En condiciones naturales se registra 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 20 cm del suelo, generalmente son valores negativos, llegando en ocasiones a observar diferencias con la temperatura mínima al abrigo de hasta $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 del periodo de bajo riesgo de helada desde esta perspectiva.



Gráfica 2. Temperatura mínima a la intemperie promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

Los valores extremos de temperatura mínima a la intemperie, registrados en el periodo de 1987 a 2013, fueron el día 24 de Enero de 1999, el mismo día en que se presentó la temperatura mínima extrema al abrigo:

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

4.3. Tendencia de la evaporación.

En la Gráfica 3 se observa 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, para después 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 el mes de Mayo con 170.67 mm, mientras que la menor evaporación se registra en Noviembre con 89.86 mm de promedio mensual, dentro del período otoñal. Mediante los registros de los 26 años de datos tomados de la estación, indica que en total se tienen 1,484.97 mm anuales de evaporación.

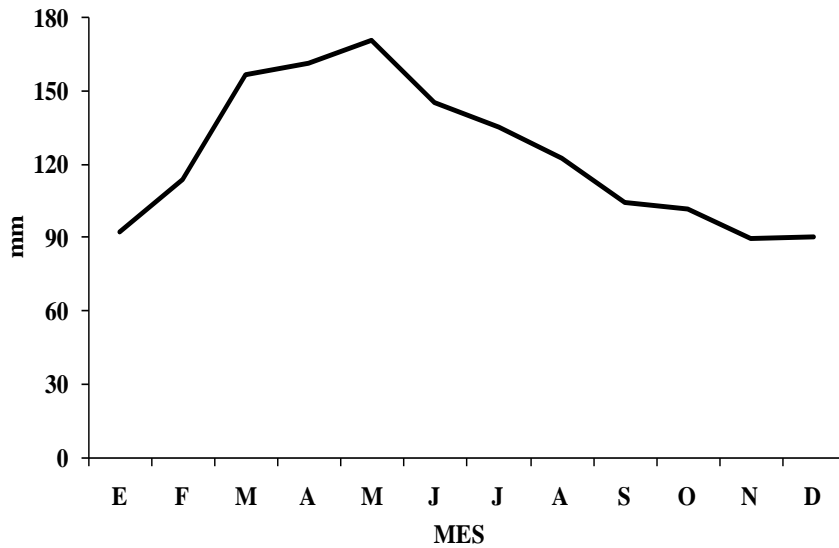


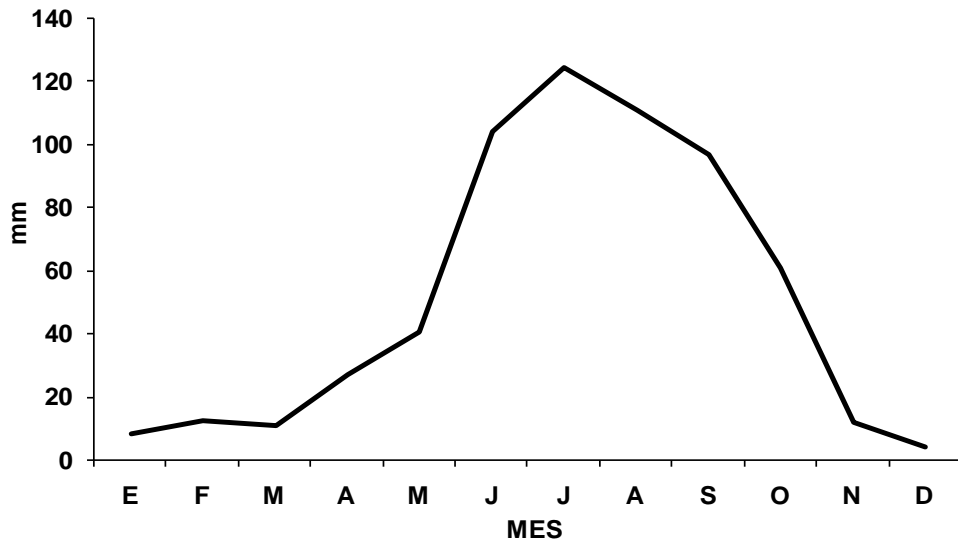
Gráfico 3. Tendencia de la evaporación promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

4.4. Tendencia de la precipitación.

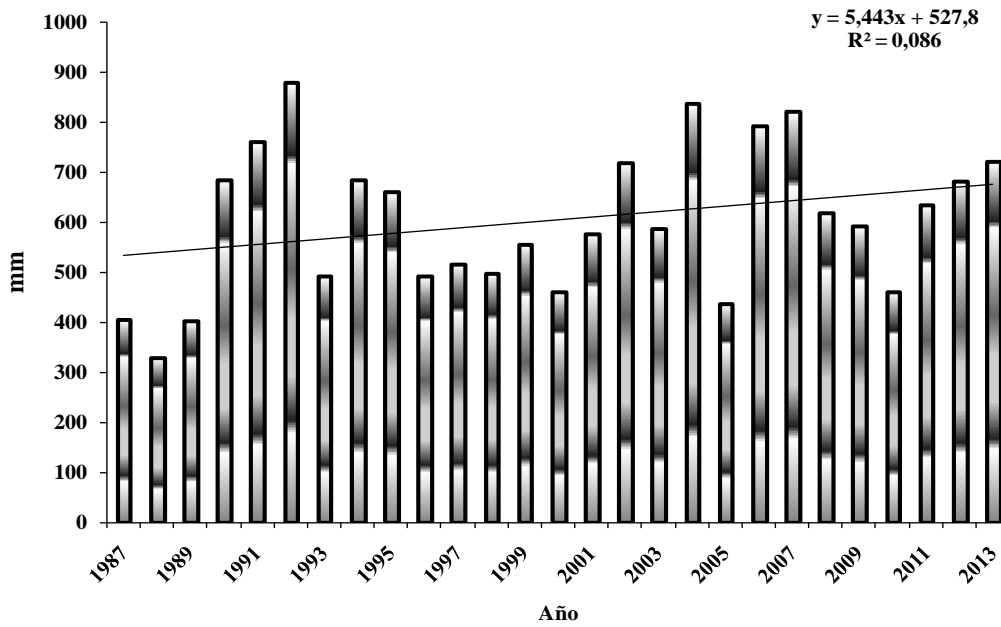
La Gráfica 4 muestra la tendencia de la precipitación (pp) en el transcurso del año, donde se observa que esta se concentra en la mitad caliente del año, época que caracteriza la temporada de lluvias en la zona de estudio.

La temporada de lluvias en la zona se concentra del mes de Junio hasta Septiembre. Julio es el mes más húmedo con 124.3 mm de pp y Diciembre el mes más seco con 4.1 mm. No se observa la presencia de sequía intraestival (Gráfica 4), sin embargo, se ha presentado en algunos años de este estudio, como sucedió en 1994, 1995, 1996, 2000, 2009 y 2013, lo cual debe ser considerado para la planeación de actividades agrícolas en campo.

El promedio anual de precipitación es de 612.1 mm. El año más lluvioso (Gráfica 5) fue en 1992 con 880.2 mm, mientras que 1988 fue el año más seco con 326.9 mm. La máxima pp registrada en 24 horas fue de 90.1 mm el día 10 de octubre de 1992. Asimismo, se observa en todo el periodo de análisis, un incremento en la tendencia de la precipitación, aunque no es significativo este valor.



**Gráfica 4. Tendencia de la precipitación promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**



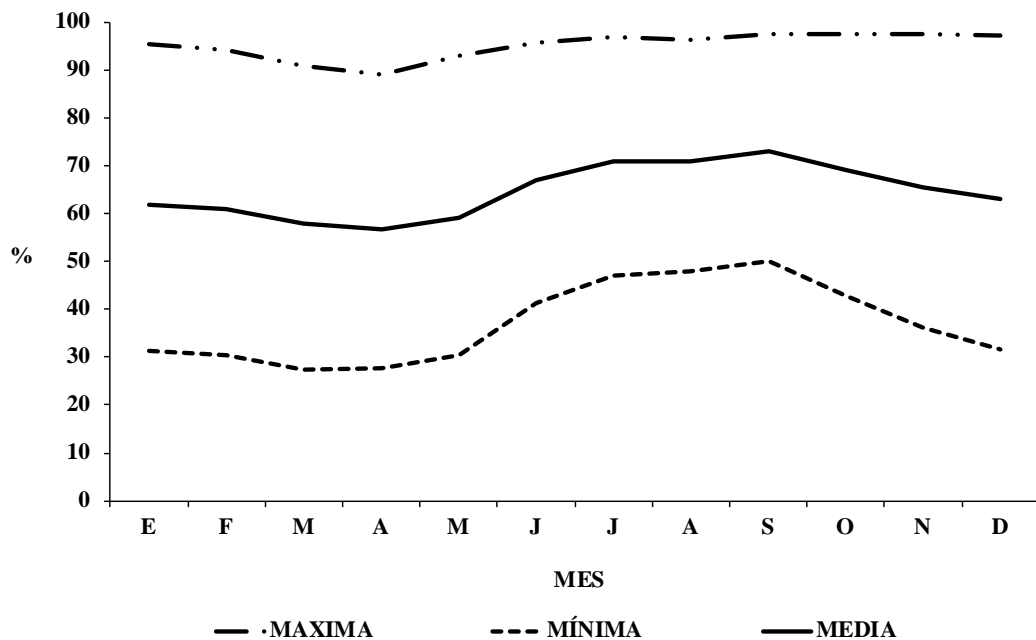
**Gráfica 5. Tendencia de la precipitación total anual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.5. Tendencia de la humedad atmosférica.

La humedad atmosférica presenta una tendencia inversa a la evaporación (Gráfica 6) ya que la atmósfera no puede contener una cantidad ilimitada de vapor de agua, esto es, cuando esta saturada la atmósfera limita la evaporación. Caso contrario sucede cuando las altas temperaturas generan incremento en la evaporación y la humedad atmosférica disminuye.

Septiembre es el mes con mayor porcentaje de humedad atmosférica con 72.9 % y el mes con menor humedad fue Abril con una humedad de 56.8 % promedio mensual.

En resumen, en estos 26 años de información, el valor promedio de humedad atmosférica mínima anual es de 37.0 %, la humedad media de 64.7 % y la humedad máxima promedio de 95.1 %.

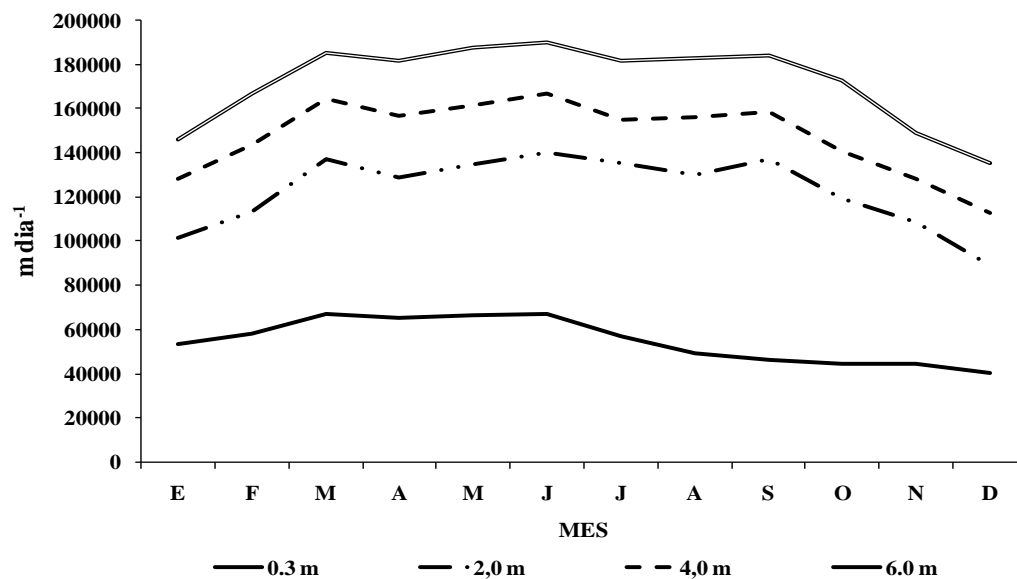


**Gráfica 6. Tendencia de la humedad atmosférica promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.6. Tendencia del viento.

El viento definido como el movimiento horizontal del aire, se evaluó en sus dos componentes. Primero se analizó el recorrido promedio del viento (Gráfica 7) con datos a diferentes alturas del suelo; 0.3, 2.0, 4.0 y 6.0 m. Se observa que el recorrido del viento es menor conforme disminuye la altura de observación, esto se debe al efecto de fricción con los objetos superficiales, mientras que a mayor altura el 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 infieren directamente la tendencia de su velocidad.

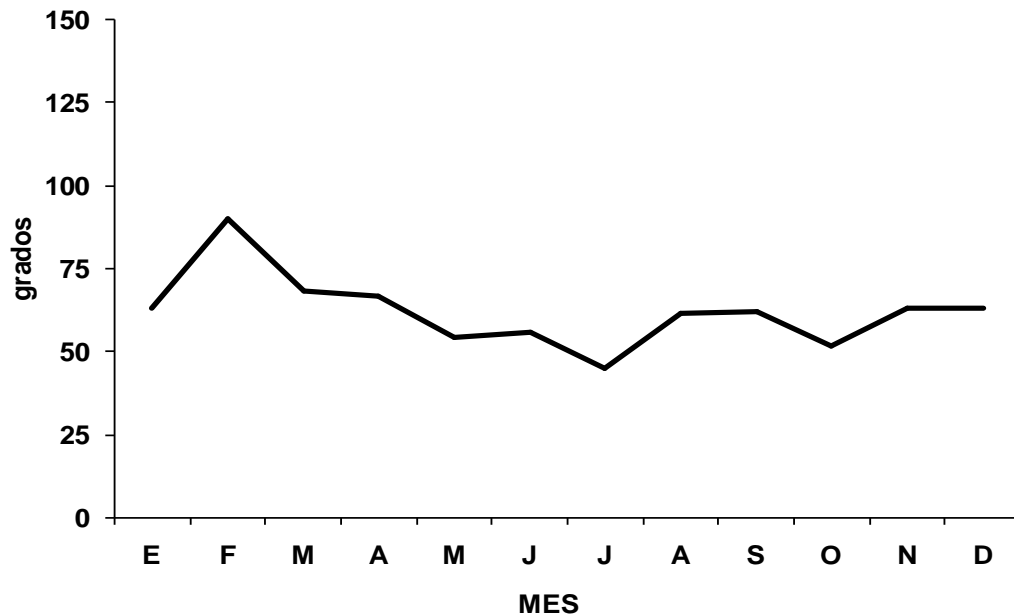


Gráfica 7. Recorrido del viento promedio mensual a diferentes alturas. Estación Almaraz, 1987-2013.

Los valores promedio diario del recorrido del viento que se obtuvieron, con base a las observaciones de 26 años, son las siguientes:

- 0.3 m: 55,112.0 m día⁻¹.
- 2.0 m: 123,081.4 m día⁻¹.
- 4.0 m: 147,639.7 m día⁻¹.
- 6.0 m: 171,713.3 m día⁻¹.

La dirección del viento definida como el lugar de donde proviene, está referida a los cuatro puntos cardinales y se expresa en grados: N= 0°; NE= 45°; E= 90°; SE= 135°; S= 180°; SW= 225°; W= 270°; NW= 315° (Gráfica 8). Se observa que la dirección promedio es ENE con un valor promedio de 62°.

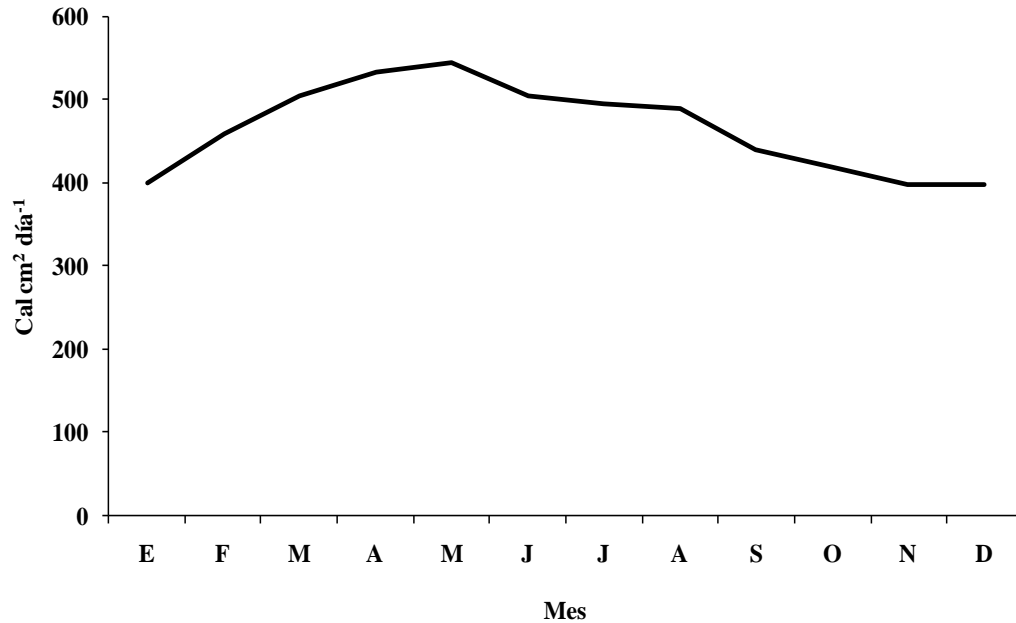


**Gráfica 8. Dirección del viento promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

De manera general, la velocidad del viento es menor en todos los niveles durante el invierno (Gráfica 7) debido al aumento en la presión atmosférica durante esta época en la zona, 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 pudiera ser la invasión de masas de aire frío en la zona central de México, que provocan cambios en el estado del tiempo.

4.7. Tendencia de la radiación solar.

La Gráfica 9 muestra la tendencia de la radiación solar global promedio mensual del período 1987-2013, donde se observa una mayor intensidad durante la primavera y una menor intensidad durante el período invernal.



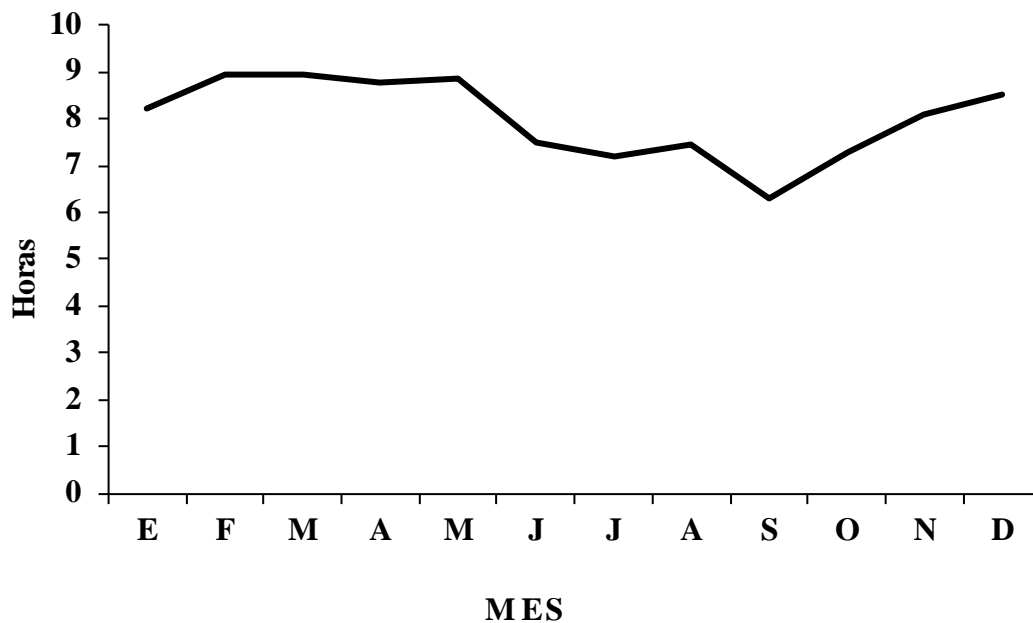
Gráfica 9. Tendencia de la radiación solar promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

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 $543.4 \text{ cal cm}^2 \text{ día}^{-1}$, para posteriormente ir disminuyendo gradualmente desde Junio a Septiembre, período 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 período invernal, siendo Noviembre y Diciembre el valor más bajo con un promedio mensual de $397.9 \text{ cal cm}^2 \text{ día}^{-1}$, debido a que en este período los días son más cortos y las noches más largas. El valor promedio anual obtenido fue de $464.9 \text{ cal cm}^2 \text{ día}^{-1}$.

4.8. Tendencia de la insolación.

La Gráfica 10 muestra la tendencia de la insolación promedio mensual, donde se observa una mayor duración de la insolación en los meses de Febrero a Mayo siendo, Febrero, Marzo y Mayo los meses con más horas de insolación con 8.9 horas, debido a la baja presencia de nubes, característico de la estación de primavera, y disminuye gradualmente durante el verano por la alta concentración de

nubosidad durante esta estación, siendo Septiembre el mes con menor insolación al presentar 6.3 horas promedio mensual.



**Gráfica 10. Tendencia de la insolación promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

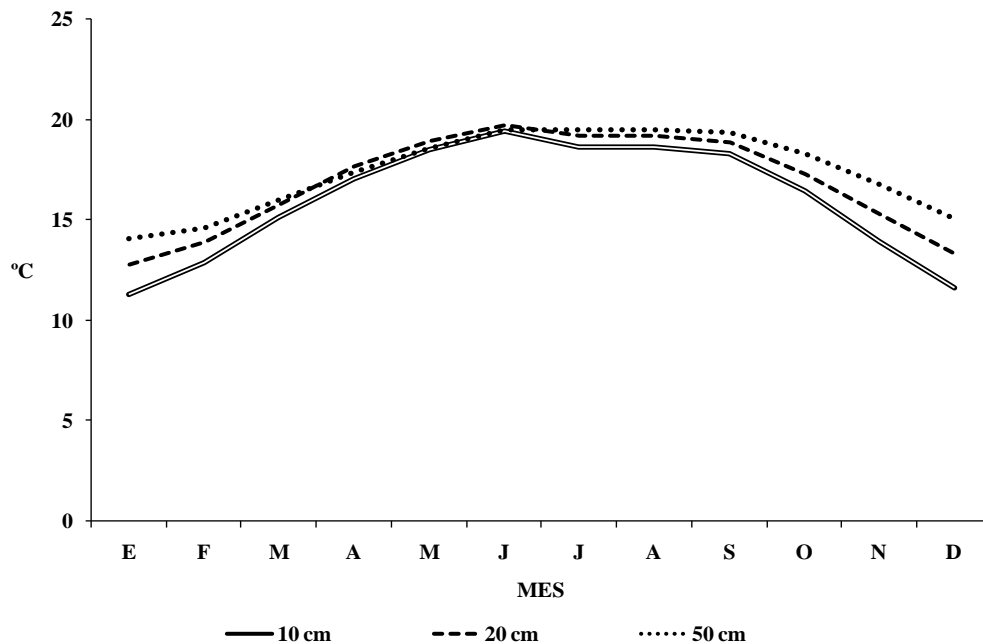
La duración de la insolación difiere debido al grado de nubosidad durante el ciclo primavera-verano con menos horas de insolación a pesar de que la duración del día es más largo, al contrario se puede observar en la Gráfica 10 que durante el ciclo otoño-invierno las horas de insolación van en aumento, aún si se considera que en este período los días son más cortos pero con más horas de insolación al presentarse con mayor frecuencia días despejados. El promedio de insolación anual fue de 8.00 horas.

4.9. Temperatura del suelo.

La Gráfica 11 ilustra la tendencia de la temperatura del suelo evaluada a tres profundidades: 10, 20 y 50 cm, donde se observa la influencia de diversos factores climáticos sobre la tendencia de esta.

La temperatura de las tres profundidades fluctúa de forma semejante a partir del mes de Marzo hasta Junio que es cuando existe un mayor calentamiento sobre el suelo ocasionado por el ascenso de la

temperatura del aire, posteriormente se percibe un menor descenso en la temperatura a 10 cm de profundidad, la cual se presenta durante Julio a Septiembre que es cuando se hace presente 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 frecuente la presencia de heladas durante este, lo que ocasiona una disminución de la temperatura del suelo en las capas mas superficiales.



Gráfica 11. Tendencia de la temperatura del suelo promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

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, puesto 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.

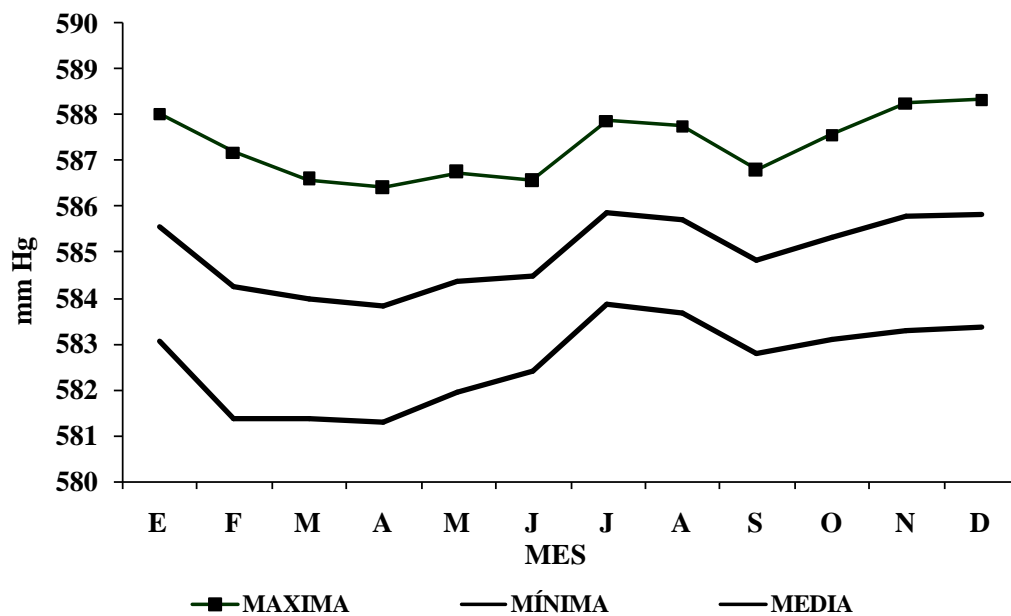
4.10. Tendencia de la presión atmosférica.

En la Gráfica 12 se muestra la tendencia de la presión atmosférica promedio mensual durante el periodo de estudio, donde se observa su variación durante el año, la relación de la temperatura, la nubosidad y la humedad atmosférica que dan origen a la presión atmosférica.

La presión atmosférica media aumenta cuando existe una disminución de la temperatura y un incremento de la humedad atmosférica, condiciones imperantes de la zona de estudio durante el verano, y la presión atmosférica baja a medida que se presenta una disminución de humedad pero incrementa la insolación, característico ello durante el período invernal y el transcurso de la primavera.

El promedio anual de la presión atmosférica mínima es de 582.6 mmHg, el valor medio de 585.0 mmHg y el máximo promedio de 587.3 mmHg. La máxima promedio es en Julio con 587.9 mmHg y la mínima promedio es en Abril con 581.3 mmHg.

La presión atmosférica en la zona de estudio varía durante el día con dos valores máximos: uno entre las 08:00 a 10:00 horas y el segundo entre las 20:00 a las 22:00 horas. Asimismo se presentan dos valores mínimos: de 04:00-06:00 y 16:00-18:00 horas.

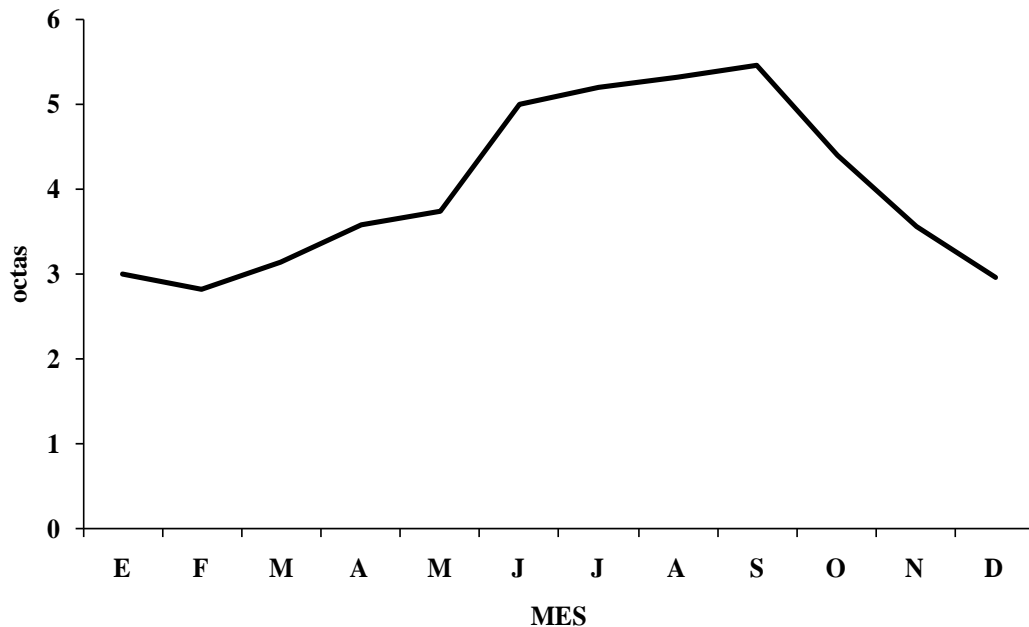


Gráfica 12. Tendencia de la presión atmosférica promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

4.11. Tendencia de la nubosidad.

En la Gráfica 13 se observa la tendencia de la nubosidad promedio mensual que permite distinguir la mayor nubosidad y que coincide con el periodo de lluvias en la zona, de Junio a Septiembre, con un

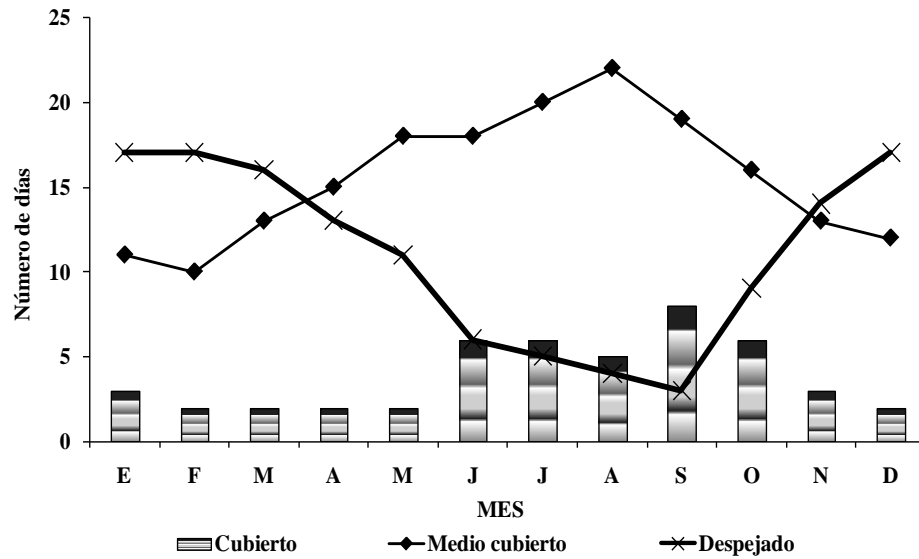
promedio de 5 octas (cielo medio cubierto de nubes). Mientras que la menor nubosidad promedio (3 octas) se presenta de Diciembre a Marzo, que corresponde a la época invernal. Cabe señalar que existen días con 0 octas y días con 8 octas de nubosidad.



**Gráfica 13. Tendencia de la nubosidad promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.12. Número de días con nubosidad.

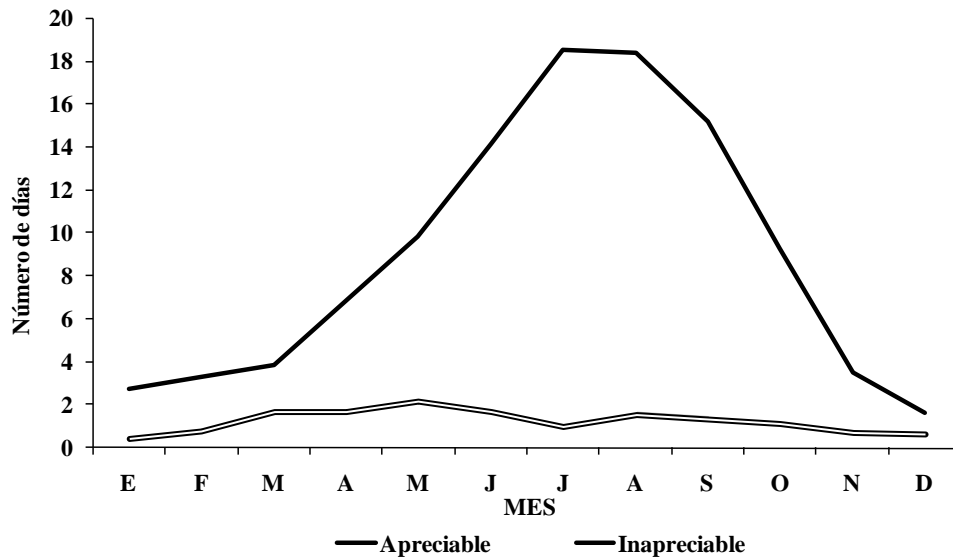
La Gráfica 14 corresponde a la tendencia de la nubosidad durante los 26 años de análisis, donde se observa que la mayor presencia de días cubiertos es durante el mes de Septiembre en promedio y los días con menor nubosidad ocurren durante el periodo invernal (de Diciembre a Marzo). El promedio anual fue 11, 16 y 4 días con cielo despejado, medio cubierto y cubierto, respectivamente.



**Gráfica 14. Días con nubosidad promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.13. Número de días con lluvia apreciable e inapreciable.

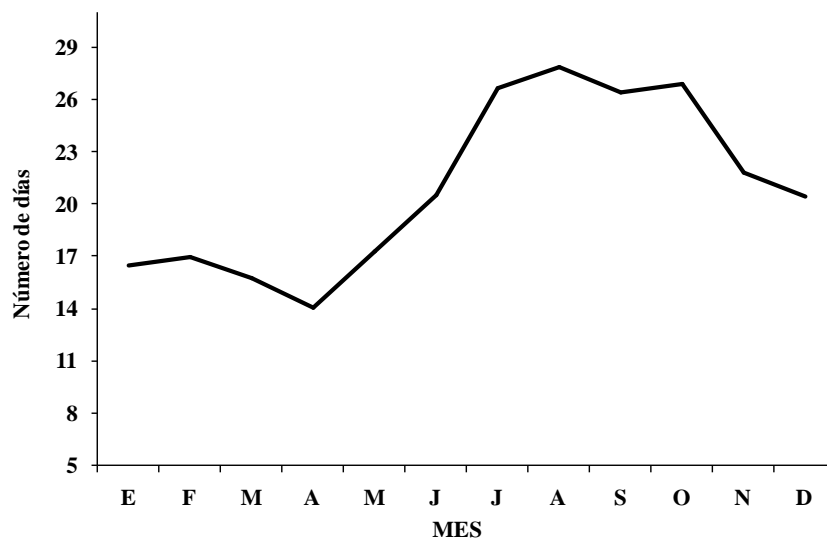
Se determina día con lluvia apreciable cuando la precipitación es mayor o igual a 0.1 mm, e inapreciable cuando es menor a 0.1 mm. El punto máximo de días con lluvia apreciable se presenta durante Julio y Agosto con 19 y 18 días, respectivamente (Gráfica 15), meses en que ocurre la temporada de lluvias en la zona de estudio. El mes con menor número de días con lluvia apreciable es Diciembre, con 2 días en promedio. El valor anual de días con lluvia apreciable es de 107 días al año. Mientras que el número de días con lluvia inapreciable promedio anual es de 15 días, siendo pocos los días promedio mensual durante el año.



Gráfica 15. Días con lluvia apreciable e inapreciable promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

4.14. Número de días con rocío.

En el análisis realizado se obtuvo que los días con rocío aumentan en la época de lluvias, los meses con mayor y menor ocurrencia de este hidrometeoro son agosto con 28 días y abril con 14 días al mes en promedio (Gráfica 16). Esta tendencia se asocia a la presencia de la precipitación, el descenso de la evaporación y el incremento de la humedad atmosférica, quienes favorecen su formación. El total de días con rocío es de 251 días al año.

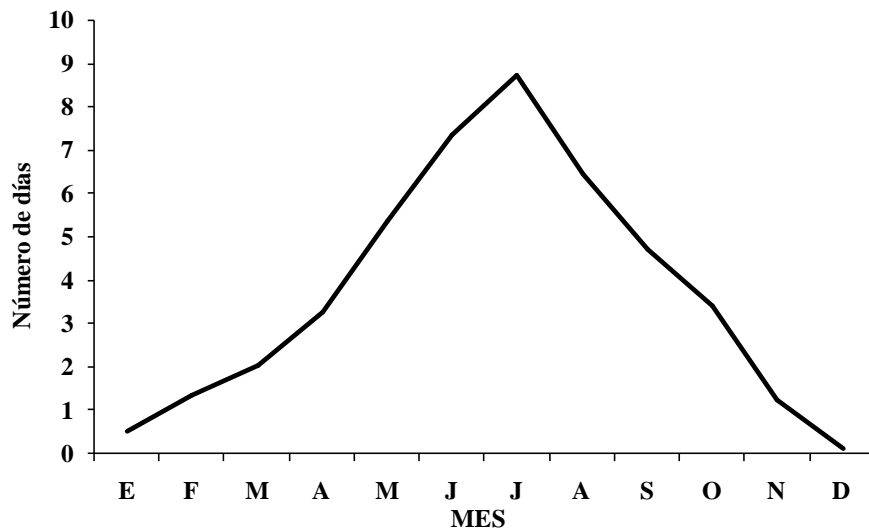


Gráfica 16. Días con rocío promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

4.15. 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 origina ese tipo de nubes.

Como se muestra en la Gráfica 17 durante el mes de Julio se presenta el mayor número de días con tormenta eléctrica con 9 días en promedio, cuando las lluvias están presentes y existen factores favorables para la formación de nubes cumulonimbos y por ende las tormentas. Durante el mes de Diciembre no hay presencia de tormenta eléctrica debido a la ausencia de lluvia y baja humedad ambiental. El total de días con este electrometeoro es de 44.5 días al año.



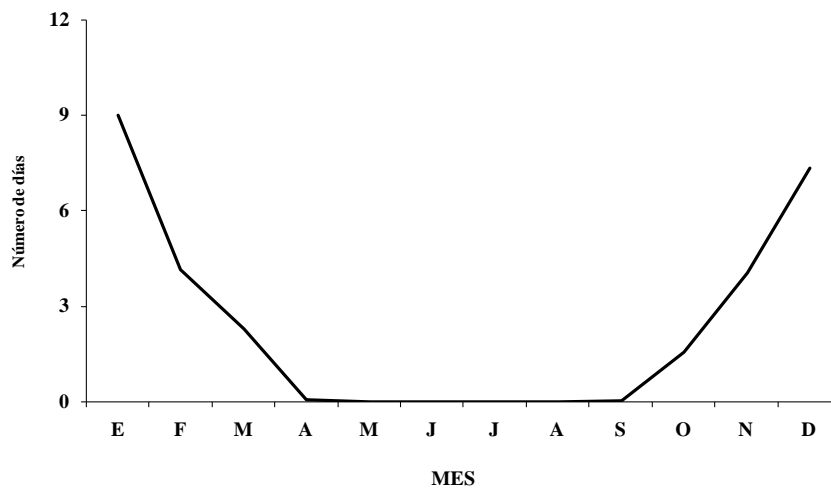
**Gráfica 17. Días con tormenta eléctrica promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.16. Número de días con helada.

La ocurrencia de helada es mas frecuente durante la época de invierno, aunque para fines agrícolas, las más perjudiciales son las heladas tempranas que ocurren en el mes de Octubre y las tardías que se presentan a finales de la primavera.

En la Gráfica 18 se observa que Enero es el mes con mayor ocurrencia de helada con un promedio de 9 días y Diciembre como el segundo más frío con un promedio de 7 días, teniendo por lo tanto un

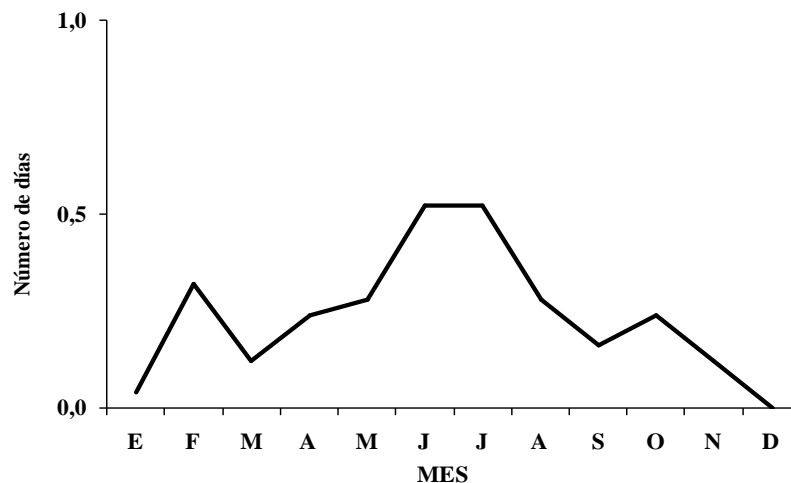
período libre de heladas aproximadamente de 6 meses de Abril a Septiembre. El total de días con helada es de 28 días al año.



**Gráfica 18. Días con helada promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.17. Número de días con granizo.

En la Gráfica 19 se muestran los datos del período en estudio, donde se observa que al comenzar la época de primavera inicia el ascenso de días con granizo por presentar factores favorables para la formación de nubes cumulonimbos, hasta llegar al punto máximo en Junio y Julio con 0.5 días en promedio, y posteriormente en el período invernal, sobre todo en Diciembre y Enero se tiene un valor de 0 días. El promedio anual de la ocurrencia de este hidrometeoro es de 28 días.



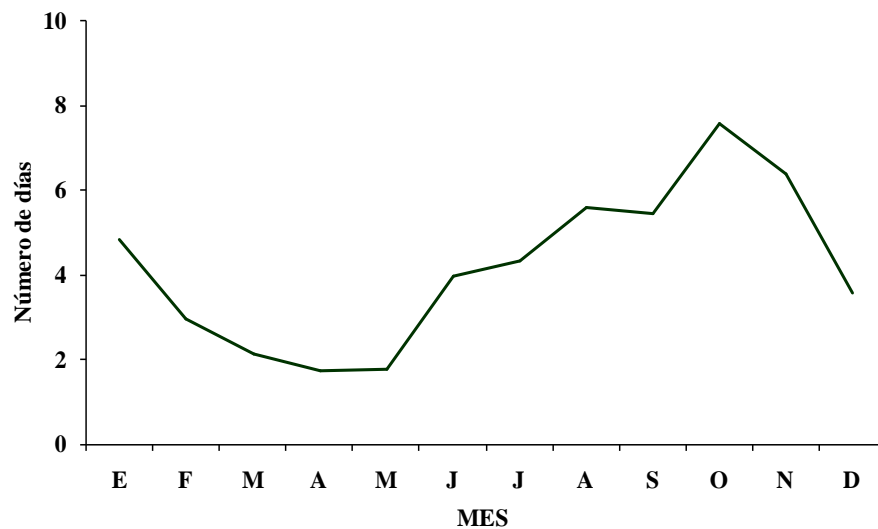
**Gráfica 19. Días con granizo promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

La baja presencia de granizo no genera daños en el desarrollo de los cultivos en la zona de estudio.

4.18. 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 la cual disminuye la visión horizontal de manera muy notable.

Como se muestra en la Gráfica 20 el punto más alto se presentó durante Octubre con 8 días al mes en promedio, sin embargo, la curva es muy clara en su ascenso, es decir a medida que existe mayor humedad atmosférica y nubosidad, se incrementa la ocurrencia de niebla. Su presencia disminuye a partir del descenso de la humedad atmosférica y del incremento en la evaporación. El total de días con niebla al año es de 50, como valor promedio en el periodo de estudio.



**Gráfica 20. Días con niebla promedio mensual.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.19. Unidades térmicas.

En la Tabla 2 se presenta los valores acumulados por mes de las unidades térmicas (UT) a partir de la temperatura media mensual y la consideración de cuatro valores de temperatura base: 4.5 °C, 6.0 °C, 8.0 °C y 10.0 °C, para el período de 1987-2013.

Tabla 2. Unidades Térmicas acumuladas por mes con diferentes temperaturas base.

| MES | 4,5 °C | 6.0 °C | 8.0 °C | 10.0 °C |
|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| E | 224.6 | 178.1 | 116.1 | 54.1 |
| F | 257.8 | 212.8 | 142.6 | 86.6 |
| M | 316.1 | 269.6 | 207.6 | 145.6 |
| A | 360.2 | 315.2 | 255.2 | 195.2 |
| M | 407.8 | 361.3 | 299.3 | 237.3 |
| J | 416.3 | 369.8 | 297.9 | 237.9 |
| J | 376.4 | 331.4 | 280.5 | 218.5 |
| A | 387.1 | 340.6 | 278.6 | 216.6 |
| S | 362.5 | 317.5 | 257.5 | 197.5 |
| O | 318.1 | 271.6 | 209.6 | 147.6 |
| N | 269.7 | 223.2 | 156.0 | 96.0 |
| D | 229.0 | 182.5 | 120.5 | 58.5 |
| Total | 3,925.7 | 2,968.0 | 2,621.5 | 1,891.5 |

El total anual de unidades térmicas acumuladas con una temperatura base de 4.5 °C es de 3,925.7 , con temperatura base de 6.0 °C es de 2,968.0, para 8.0 °C son 2,621.5 y para 10.0 °C se obtuvieron 1,891.5 U.T; lo que indica que a una temperatura base de 8.0 °C existe una acumulación de calor suficiente para los cultivos de la zona templada (Anexos 2, 3 y 4) que permite con base a estos resultados, la calendarización de las actividades agrícolas y el adecuado desarrollo fenológico de los cultivos anuales como el fríjol, maíz, hortalizas, forrajes y de cultivos perennes.

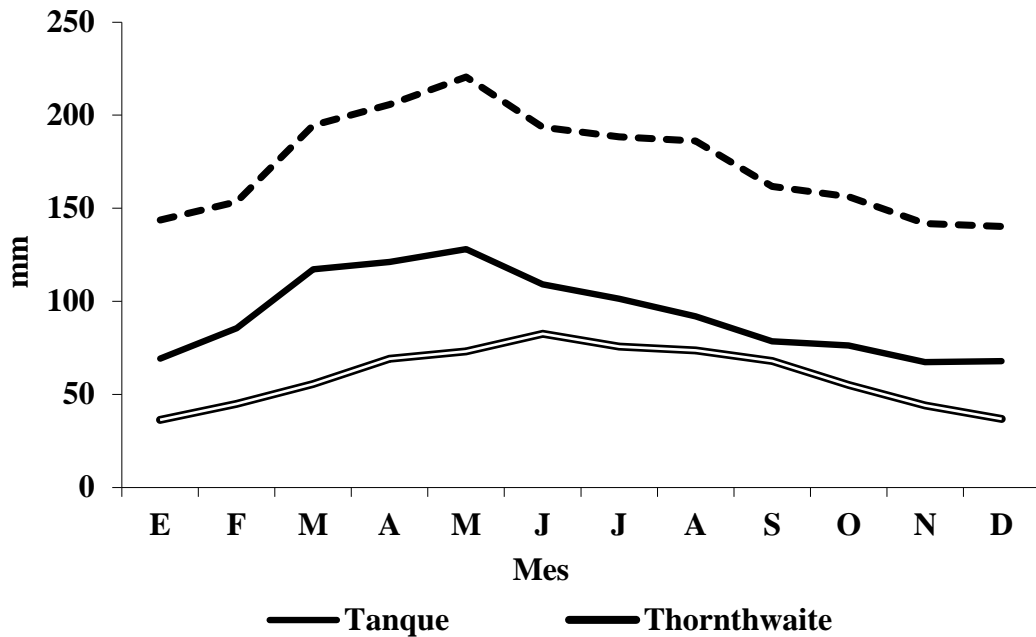
En los Anexos 2, 3 y 4, se presentan valores de UT para algunos cultivos en diversos Distritos de Desarrollo Rural en el Estado de México.

4.20. Evapotranspiración potencial.

La Gráfica 21, muestra la tendencia de la evapotranspiración potencial (ETP) durante el período de 26 años, obtenida mediante el método de Penman Monteith, Thornthwaite y el del Tanque de evaporación “Tipo A”.

En ella se aprecia una directriz similar al que muestra la evaporación (Gráfica 3), pero de forma inversa a la precipitación (Gráfica 4), 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 1,113.7 mm anuales; el mayor valor es en Mayo con 128.0 mm y Noviembre con el menor valor de 67.39 mm al mes; mientras que con el método de Thornthwaite se obtuvo un valor total de la ETP de 715.0 mm anuales, donde el valor mayor con este método es durante Junio con 82.50 mm y el valor menor en Enero con 36.4 mm al mes. Por el método de Penman Monteith se obtuvieron 2,085.8 mm anuales, el mayor valor en Mayo con 220.60 mm y el menor en Diciembre con 140.20 mm.

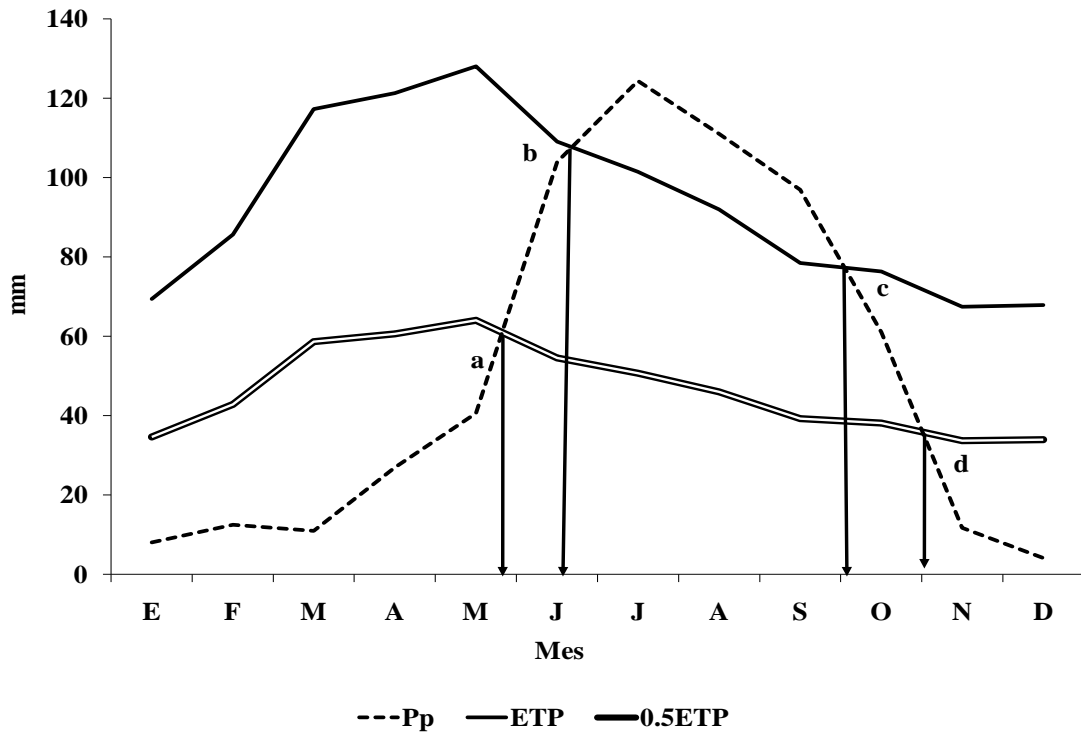
Se puede observar que el método de Thornthwaite subestima los valores de ETP y el de Penman Monteith sobreestima dichos datos con respecto al método del Tanque de evaporación. Se considera que los valores obtenidos por el método del Tanque de evaporación son más cercanos a la realidad, porque el proceso de evaporación es afectado por más de un elemento 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, la cual 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.



Gráfica 21. Evapotranspiración potencial promedio mensual. Estación Almaraz, 1987-2013.

4.21. Estación de crecimiento.

En la Gráfica 22 se muestran los datos obtenidos 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, y finaliza en la segunda quincena de Octubre. Asimismo el periodo húmedo comprende los meses de Julio a Septiembre, teniendo entonces 4 meses de humedad, período en el cual se abastecen las necesidades del cultivo y se recarga el perfil del suelo.



**Gráfica 22. Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

Donde:

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

Se observa 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 $C(w_0) (w) b (i')$ como fue reportado por Flores (1998).

Por otro lado, se determinó la estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura, a través del período libre de heladas, obtenida por tres métodos diferentes y que están consignados mas adelante en las Gráficas 25, 26 y 27.

4.22. Horas frío.

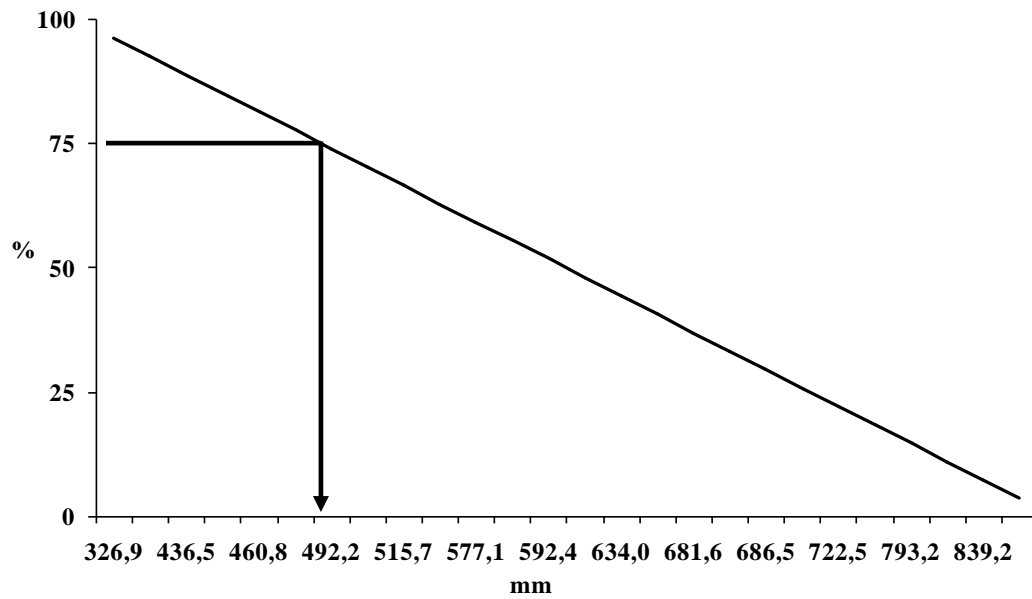
Los resultados que se obtuvieron al estimar las horas frío con los datos del período de 1987-2013, a través del empleo de dos métodos: El Método de Da Mota y el Método de Weinberger (Anexo 5), muestran lo siguiente: por el método de Da Mota fueron 517 horas frío y por el de Weinberger se obtuvieron 600 horas frío. Es importante considerar que una correcta acumulación de horas frío en los árboles caducifolios durante el período invernal, en el cual los órganos apicales se encuentran en dormancia, promoverán la brotación satisfactoria de las yemas vegetativas y reproductivas.

Al observar los resultados se detecta una baja acumulación de frío en la zona de influencia de la estación meteorológica, de acuerdo a las necesidades requeridas para el establecimiento de frutales caducifolios (Anexo 6), lo que obligaría a utilizar sustancias químicas (compensadores de frío) para compensar las necesidades de algunas variedades de frutales caducifolios en la zona. Por lo tanto, es importante considerar el establecimiento de especies 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.

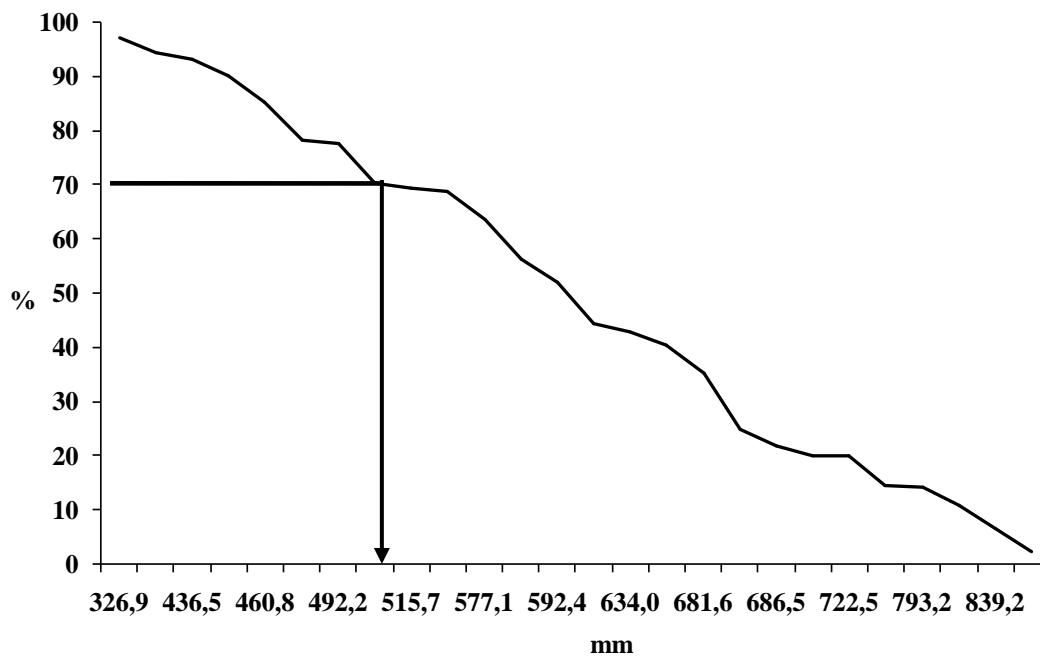
4.23. Probabilidad de lluvia.

En las Gráficas 23 y 24 se muestran las probabilidades de que ocurra un volumen anual de lluvia para la zona de estudio, para lo cual se emplearon los métodos de Frecuencia acumulada y Normal, utilizando un índice de probabilidad del 75 % de ocurrencia de lluvia para ambos métodos.

Se determinó por el método de la Frecuencia acumulada (Gráfica 23) un valor de 492.2 mm de precipitación anual; mientras que por el método Normal, (Gráfica 24) se obtuvo 494.0 mm al 75 % de probabilidad, por lo que la diferencia es tan sólo de 1.8 mm entre los dos métodos. Entonces, la probabilidad de tener un mayor volumen de precipitación, representa una menor probabilidad de ocurrencia.



Gráfica 23. Probabilidad de lluvia por el método de Frecuencia acumulada. Estación Almaraz, 1987-2013.



Gráfica 24. Probabilidad de lluvia por el método Normal. Estación Almaraz, 1987-2013.

El valor promedio de precipitación anual con los datos de 26 años de la estación meteorológica Almaraz es de 612.1 mm que representa sólo el 50 % 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 en la mayor parte del año.

4.24. Probabilidad de helada.

Las Gráficas 25, 26 y 27 presentan el período de bajo riesgo de heladas (PLH) por los métodos de Da Mota, Pájaro y Ortiz y Normal, respectivamente.

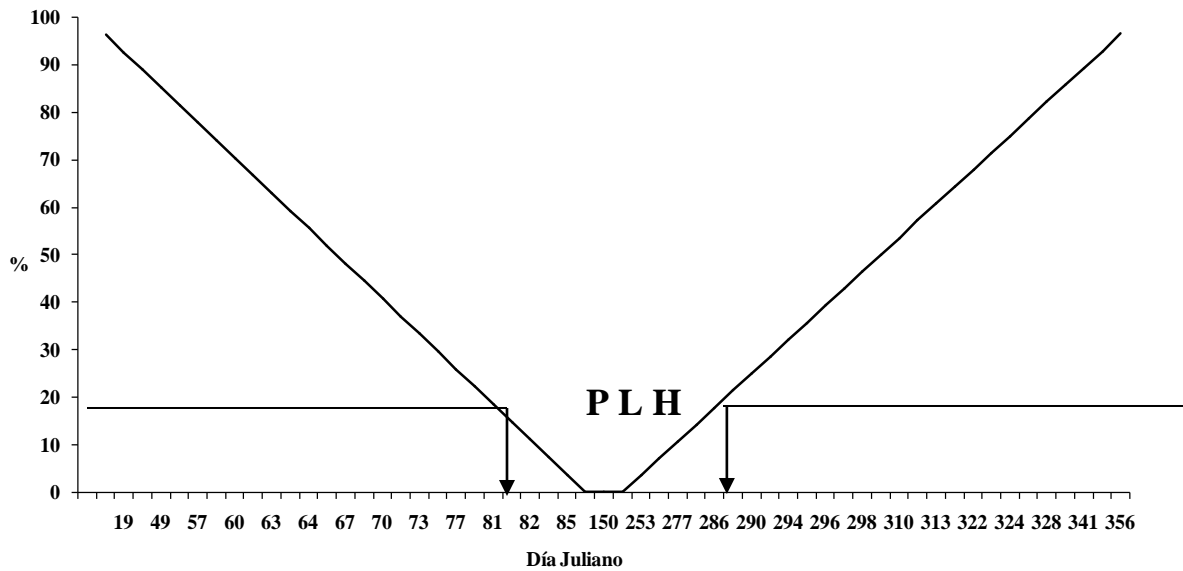
En el método de Da Mota (Gráfica 25) se obtuvo un PLH de 208 días, a partir del día 80 del calendario Juliano que corresponde al 21 de Marzo y termina el día 288 Juliano que corresponde al 15 de Octubre, con el 20 % de probabilidad de ocurrencia.

Por el método de Pájaro y Ortiz (Gráfica 26) el PLH comprende del mes de Marzo a Septiembre, es decir, 6 meses de bajo riesgo de heladas, esto se obtuvo al considerar la primera helada a partir de un índice de 0.8 días con helada promedio mensual durante Septiembre y la última helada obtenida de un índice de 2 días con helada promedio mensual, a partir de Marzo.

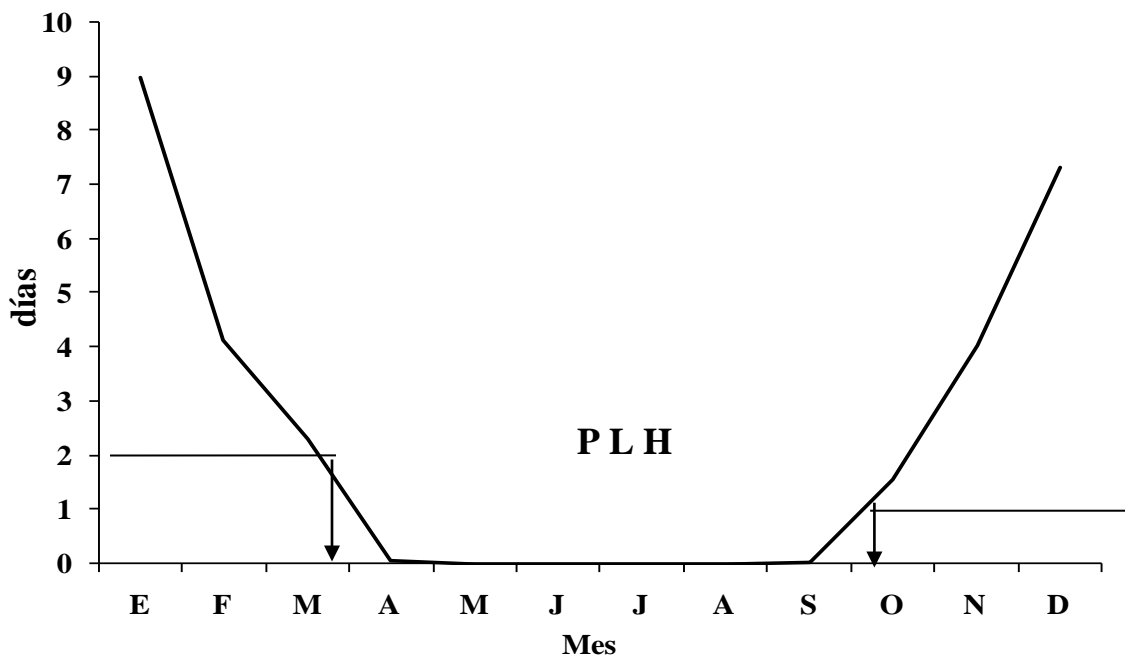
En el método Normal (Gráfica 27) el PLH inicia el día 77 del calendario Juliano que corresponde al 18 de Marzo y termina el día 286 del calendario Juliano que corresponde al 13 de Octubre, es decir, 209 días de bajo riesgo de helada con el 20 % de probabilidad de ocurrencia, o sea, 1 cada 5 años o 2 cada 10 años.

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 son 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 ocurren en épocas de intensa actividad vegetativa. Las tardías causan daños sobre la floración, foliación y fructificación en las plantas anuales (Anexo 7). Mientras que las heladas tempranas pueden interrumpir el proceso de maduración de los frutos y la formación de yemas de las cuales dependerá

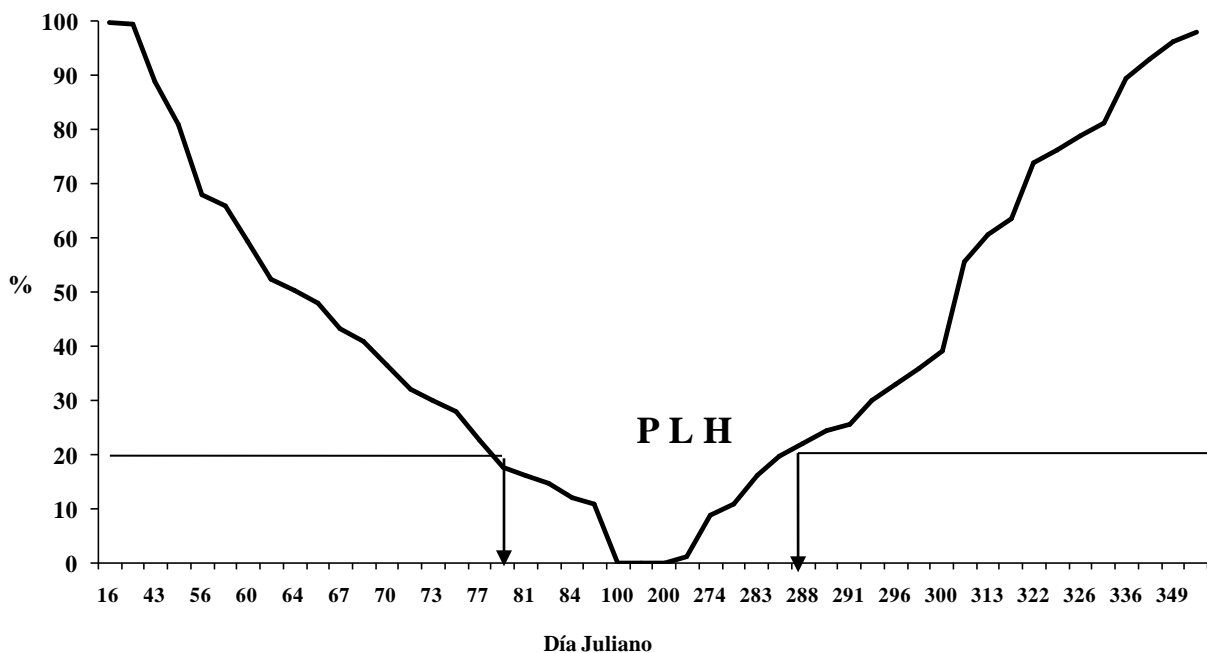
La producción del año siguiente (Romo 1989). En promedio se obtuvo por estos tres métodos 208 días de bajo riesgo de helada.



Gráfica 25. Probabilidad de ocurrencia de helada por el método de Da Mota. Estación Almaraz, 1987-2013.



Gráfica 26. Probabilidad de ocurrencia de helada por el método de Pájaro y Ortíz. Estación Almaraz, 1987-2013.



**Gráfica 27. Probabilidad de ocurrencia de helada de método Normal.
Estación Almaraz, 1987-2013.**

4.25. Fórmula climática.

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificado por García (1973) y de la información climática que en el presente trabajo se describió, la clasificación del clima de la zona es C(w₀) b (i'). Significa que es un clima templado subhúmedo con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, porcentaje de lluvia invernal de 5.14 %, poca oscilación de temperatura, el mes más caliente es Junio y sin sequía intraestival.

Los valores climáticos que derivaron en esta clasificación son los siguientes:

- Mes más frío:..... Enero con 11.7 °C de temperatura media.
- Mes más caliente:..... Junio con 17.9 °C de temperatura media.
- Temperatura media:..... 15.2 °C.
- Oscilación de temperatura:..... 6.2 °C.
- Precipitación anual:..... 612.1 mm.
- Porcentaje de lluvia invernal:..... 5.14 %.
- Índice P/T:..... 40.27
- Mes más lluvioso:..... Julio con 124.3 mm.
- Mes más seco:..... Diciembre con 4.1 mm.

4.26. Programa de manejo del cultivo de calabacita.

A manera de ejemplo se consideró calcular la Constante Térmica (que es la acumulación de unidades térmicas desde la siembra hasta la madurez, que para el cultivo de calabacita se establece hasta el último corte) que ha sido cultivada en la zona aledaña a la estación meteorológica Almaraz; se consignó una temperatura base de 8.0 °C.

Asimismo, se ubicó la fecha de siembra el 10 de Junio, fecha en la cual el temporal ya se ha establecido. Los datos corresponden a la variedad *Zuchinni grey* L, que se obtuvo en el ciclo P-V 2013 (Tabla 3).

Tabla 3. Programa de actividades en campo del cultivo de calabacita.

| Fecha | Fase Fenológica | Actividad |
|-----------------|--|---|
| 20 de Mayo | | Preparación del terreno: barbecho, cruza y surcado a 0.8 m. |
| 10 de Junio | Siembra | Siembra: distancia entre plantas 40 cm. |
| 20 de Junio | Emergencia | Control manual de malas hierbas. |
| 18 de Julio | Floración masculina y Floración femenina, | Control manual de malas hierbas. Primer corte de flor masculina. Aplicación de abono orgánico a razón de 1 kg planta ⁻¹ . Monitoreo de presencia de plagas insectos y/o enfermedades. |
| 30 de Julio | Primer corte de fruto | Cosecha de frutos con las medidas de 10-11 cm de largo y 4-5 cm de diámetro ecuatorial. A partir de esta fecha, los cortes se realizarán cada tercer día. |
| 8 de Septiembre | Último corte de fruto | Se cosechan los frutos del tamaño determinado. |

Este programa de actividades toma en cuenta la disponibilidad de humedad que en la zona esta presente y que las Gráfica 21 y 22 permiten visualizar el establecimiento del cultivo bajo condiciones de temporal con las mínimas restricciones de disponibilidad de agua. Es importante mencionar que esta disponibilidad esta también sujeta a la variación en la distribución de la lluvia que como se ha señalado, han existido algunos años durante el periodo de 1987 al 2013, en que la presencia de sequía intraestival disminuye el crecimiento y desarrollo de los cultivos, lo cual afecta el rendimiento final de estos.

La UT acumuladas durante el ciclo P-V 2013 se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. UT acumuladas por etapa fenológica del cultivo de calabacita, ciclo P-V 2013.

| Etapa | Días | UT acumuladas |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| Días a emergencia | 10 | 111.0 |
| Días a flor masculina | 38 | 379.2 |
| Días a flor femenina | 38 | 379.2 |
| Días a primer corte | 50 | 492.3 |
| Días a último corte | 98 | 918.8 |
| Primer-último corte | 48 | 426.6 |

Los datos obtenidos reportaron que el cultivo de calabacita acumuló 918.8 UT desde la siembra hasta el último corte; para el ensayo del año 2013 se efectuaron 22 cortes durante 98 días que duró el cultivo en campo.

V. CONCLUSIONES

1. El presente estudio, muestra la tendencia de los elementos del clima así como algunos parámetros agroclimáticos, con base al análisis de 26 años de información de la estación meteorológica Almaraz.
2. Con base a dicha información y al procesamiento estadístico de los datos, se puede realizar una calendarización de actividades agrícolas adecuada para prevenir daños en los cultivos.
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 15.2 °C.
4. La relación calentamiento-enfriamiento de la superficie del suelo indica que la oscilación de temperatura varia 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. La tendencia de la evaporación es inversa a 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 1,484.97 mm y el de precipitación de 612.1 mm anuales.
6. El número de días con lluvia apreciable coincide con la temporada de lluvias de la zona, haciéndose más perceptible durante los meses de Julio y Agosto con 19 y 18 días, respectivamente. Mientras que los días con lluvia inapreciable se hacen más notable de Marzo a Junio con 2 días promedio 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.
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 464.28 cal cm² día⁻¹.

10. La tendencia de la insolación durante el año, está determinada en gran medida por el grado de nubosidad, puesto que durante el verano existe una mayor concentración de nubes y un menor número de horas de insolación, mientras que en invierno la insolación aumenta al incrementarse los cielos despejados, a pesar de que los días son más cortos en esta época del año. La duración promedio de la insolación es de 8.00 horas.

11. La variación de la presión atmosférica está íntimamente ligada a la marcha de la temperatura y humedad, pues al aumentar la temperatura la presión disminuye y viceversa, al disminuir la temperatura la presión aumenta. Sus tendencias son inversas aunque no son proporcionales.

12. Para el caso de la relación humedad y presión atmosférica, se observó 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 585.0 mmHg y el de la humedad atmosférica fue de 64.7 %.

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 251 y con niebla es de 50 días.

14. Los días con tormentas eléctricas son en total 45 días al año, presentándose más en el mes de Julio.

15. Los días con granizo se presentan con un bajo rango en la zona con un día promedio en Junio y Julio, y tres días al año, sin mayor efecto en la zona de estudio.

16. El número de días con helada al mes aumentan en la época de invierno; el total al año es de 29 días con helada. Este dato sirve para determinar el período de bajo riesgo de helada, el cual está señalado por el método de Pájaro y Ortiz que abarca del mes de Marzo a Septiembre en la zona de estudio.

17. La probabilidad de ocurrencia de la última helada es el día 21 de Marzo y la fecha de primera helada el día 15 de Octubre, al 20 % de probabilidad. El total del período de bajo riesgo de helada es de 208 días.

18. La determinación de horas frío indicó 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 en la zona de estudio.

19. La probabilidad de ocurrencia de lluvia anual al 70 % es de 492.2 mm, muy por debajo del valor promedio de precipitación que es de 612.1 mm, 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 1,113.7 mm 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 indicó.

21. La estación de crecimiento por disponibilidad de humedad tiene una duración que abarca de la segunda quincena de Mayo a la segunda quincena de Octubre, con un total de 168 días aproximadamente. La duración del período húmedo es de tres meses, de Julio a Septiembre.

22. Por disponibilidad de temperatura, la estación de crecimiento tiene una duración de 208 días. Por disponibilidad de humedad se tuvieron 168 días, lo que resulta en una diferencia de 40 días, período 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 a una temperatura base de 4.5 °C se acumulan al año 3,925.7 UT; con temperatura base de 6 °C se acumulan 2,968.0 UT; con temperatura base de 8 °C se acumulan 2,621.5 UT y empleando la temperatura base de 10 °C se acumulan 1,891.5 UT al año.

24. Los datos aquí obtenidos tienen gran utilidad, por ejemplo, para la planeación agrícola, así como su empleo para la toma de decisiones y medidas de protección civil, puesto que en la zona se tienen registros de eventos extraordinarios que han generado pérdidas económicas importantes.

25. Finalmente, se concluye que la tendencia de los elementos del clima aquí evaluados, caracterizan a la zona como un Clima Templado subhúmedo, con lluvias de verano, el más seco de los subhúmedos, con poca oscilación térmica, sin sequía intraestival y un porcentaje de lluvia invernal de 5.14 %.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilera, C.M. y Martínez, E.R. 1990. Relaciones Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. 2ª edición. Universidad Autónoma Chapingo. Depto. Irrigación. Chapingo, Méx. 128 p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. En: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp56s.pdf>. Consultado el 10 de septiembre de 2013. 300 p.
- Almaguer, V.G. 1997. Fruticultura General. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. 2a Edición. México. 366 p.
- Ayllón, T. 1996. Elementos de Meteorología y Climatología. Editorial Trillas. México. 195 pp.
- Barrios, G.E.J. y López, C.C. 2009. Temperatura base y tasa de extensión foliar en frijol. *Agrociencia* 43: 29-35.
- Chang, J. 1968. Climate and Agriculture. An Ecological Survey. Ed. Aldine Publishing. Chicago. U.S.A. 334 p.
- Corzo, S.J.C. 1992. Estación de Crecimiento y Potencial Térmico para Cultivos Básicos en el Estado de México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México.
- De Fina, A.L y Ravelo, A.C. 1975. Climatología y Fenología Agrícola. 2ª Edición. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Argentina. 351 p.
- 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. 15 p.
- Ebookbrowse. 2010. Curso Agrometeorología Tema I. en:<http://ebookbrowse.net/curso-agrometeorologia-tema-1-pdf-d44121402>. Consultado 15 de noviembre de 2013. 11 p.
- Elias, C.F y Castellvi, S.F. 2001. Agrometeorología. 2ª edición. Edit. Mundi Prensa. México. 517 p.
- FAO. 1978. Agro-Ecological Zones Project. Volumen 1. Reporte 48, Roma. Italia. 158 p.
- FAO. 2006. Evapotranspiración del cultivo, guías para la determinación de los requerimientos de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje 56. Roma, Italia. 323 p.
- Ferreras, F.C. 2002. Agroclimatología. Serie Técnica y de Estudios 22. Consejería de Agricultura, Agua y Medio Ambiente. Murcia, España. 58 p.
- Flores, F.F.G. 1998. Caracterización agroclimática de la zona de influencia de la estación meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 99 p.
- Flores, F.L. 1990. Metodología de la Investigación y Diagnóstico en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. INIFAP. México. 229 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 2ª Edición. UNAM. México. 246 p.

Gastiazoro, B.J. s/f. Influencia del Clima sobre las Plantas. En: <http://www.cicytpp.org.ar/climatologiafca/docencia/apuntes/tema4.pdf>. Consultado el 10 de septiembre de 2013. 18 p.

Gobierno de Aragón. 2010. Necesidades de frío invernal de los frutales caducifolios. Informaciones Técnicas. Núm. 224. Dirección General de Desarrollo Rural. Centro de Transferencia Agroalimentaria. España. 8 p.

Goyal, R.M., Ramírez, B.V.H. 2003. Elementos de Climatología. En: http://www.ece.uprm.edu/~m_goyal/agroclimatologia.pdf. Fecha de Consulta el 12 de noviembre de 2013. 260 p.

Grassi, C.B.A., Muñoz, O.A., Castillo, M.A., Camarillo, C.E. 1986. Riesgo de primeras y últimas heladas en Puebla y Tlaxcala respecto a los cultivos básicos. *Agrociencia*. 65: 125-139.

Hernández J.G. y Medina, B.M.P. 2012. Índices y umbrales térmicos e índices fitoclimáticos. En: http://ru.ffyl.unam.mx:8080/jspui/bitstream/10391/3719/1/04_Hernandez_Medina_Indices_Guia_Metodos_Estadisticos_2012.pdf Consultado el 11 de septiembre de 2013. 30-36 p.

INEGI. 2005. Guía para interpretación de cartografía. México 16 p.

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.

Machado, N.N.B., Regina, P.M., Gatti, A.B. and Mendes, V.J.C. 2006. Temperature effects on seed germination in races of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Acta Sci. Agron*. 28:155-164.

Masle, J., Doussinault, G.G., Farquhar, D. and Sun, B. 1989. Foliar stage in wheat correlates better to photothermal time than to thermal time. *Plant Cell and Environ*. 12: 235-247.

Medina, G.G, Ruiz, C.J.A., Díaz, P.G., Serrano, A.V. 2008. Probabilidad de ocurrencia de heladas en el estado de Zacatecas. Libro Técnico No. 8. INIFAP-CIRNC-CEZ. SAGARPA. México. 260 p.

Medina, G.G., Grageda, G.J., Ruiz, C.J.A., Baez, G.A.D. 2008. Uso de Estaciones en la Agricultura. Folleto Informativo Núm. 50. INIFAP-CIR NORTE-CENTRO. México. 14 p.

MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). 2013. Normales decales de temperatura y precipitación y calentamiento de siembras y cosechas, Lima Perú. 435 p.

Moran, M.J., Morgan, D.M. 1991. *Meteorology: The Atmosphere and the Science of Weather*. Third Edition. MacMillan Publishing Company. 586 p.

Mormoneo, I. y Díaz, R. 2003. Método para clasificar la anomalía de las lluvias. *Rev. Brasileira de Agrometeorología*, Santa María. 11(1):159-167.

Nájera, M. N. L. y Arteaga, R. R. 1998. *Agroclimatología antología*. Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. México 227 p.

OCW. s/f. Acción de la temperatura sobre la vegetación. En: <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-5/ACCION-DE-LA-TEMPERATURA-SOBRE-LA-VEGETACION.pdf>. Consultado el 11 de septiembre de 2013.

- OMM. 1999. Informe final abreviado con resoluciones y recomendaciones. Comisión de meteorología agrícola. Duodécima reunión. Accra, Ghana. 49 p.
- Ortiz, S.C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativamente con Aplicaciones en la República Mexicana. Ed. Departamento de Suelos. Chapingo. México. 327 p.
- Pájaro, H.D. y Ortiz, S.C.A. 1988. Curso Taller Sobre Zonificación Agroecológica de Cultivos. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Chapingo. México.
- Ponce, V.M. 1989. Engineering Hydrology, Principles and Practices, Edit. Prentice Hall. USA. 51 p.
- Rietveld, M.R. 1978. A new method for estimating the regression coefficients in the formula relating solar radiation to sunshine. *Agricultural Meteorology*. 19: 243-252.
- Romo, G.J. y Arteaga, R.R. 1989. Meteorología Agrícola. 2ª Edición. UACH. México. 442 p.
- Snyder, L.R. y Melo-Abreu, P. 2010. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Capítulo 1: La probabilidad de helada y el riesgo de daño. FAO. Roma. 1-16 p.
- Torres, R.E. 1995. Agrometeorología. Editorial Trillas. México. 154 p.
- Trejo, V.R. 2004. Determinación de la normal climática de la Estación Meteorológica Almaraz, Cuautitlán Izcalli, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. México. 86 pp.
- Thorntwaite, C.W. 1948. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*. 38: 55-94.
- Villalpando, I.F. y Ruiz, C.A. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su Uso en la Agricultura. Editorial Limusa. México. 133 p.

ANEXOS

Anexo 1. Resumen de los datos promedio mensual, de la estación meteorológica Almaraz de 1987 al 2013.

| Mes | Temperatura media (°C) | Precipitación mensual (mm) | Evaporación (mm) | ETP (mm) | Horas de insolación | Radiación solar (cal cm ² día ⁻¹) | Presión atmosférica (mmHg) |
|-----|------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------|------------------------|--|----------------------------------|
| E | 11.7 | 8.1 | 92.44 | 69.33 | 8.23 | 398.9 | 585.6 |
| F | 13.1 | 12.5 | 114.16 | 85.62 | 8.94 | 459.1 | 584.3 |
| M | 14.7 | 11.0 | 156.36 | 117.27 | 8.93 | 504.2 | 584.0 |
| A | 16.5 | 26.9 | 161.65 | 121.24 | 8.75 | 531.4 | 583.8 |
| M | 17.7 | 40.6 | 170.67 | 128.00 | 8.85 | 543.4 | 584.4 |
| J | 17.9 | 103.9 | 145.40 | 109.05 | 7.47 | 502.8 | 584.5 |
| J | 17.0 | 124.3 | 135.18 | 101.38 | 7.18 | 494.8 | 585.9 |
| A | 17.0 | 111.0 | 122.53 | 91.90 | 7.46 | 489.1 | 585.7 |
| S | 16.6 | 96.9 | 104.60 | 78.45 | 6.28 | 440.4 | 584.8 |
| O | 14.8 | 61.0 | 101.66 | 76.25 | 7.28 | 418.8 | 585.3 |
| N | 13.2 | 11.8 | 89.86 | 67.39 | 8.08 | 397.9 | 585.8 |
| D | 11.9 | 4.1 | 90.47 | 67.85 | 8.51 | 390.5 | 585.8 |

Continuación Anexo 1.

| Mes | Humedad atmosférica (%) | Días con niebla | Días con lluvia apreciable | Días con lluvia inapreciable | Días con nubosidad | | |
|-----|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------|----------|
| | | | | | Despejado | Nublado | Medio N. |
| E | 62.0 | 4.8 | 3 | 0 | 17 | 3 | 11 |
| F | 60.8 | 3.0 | 3 | 1 | 17 | 2 | 10 |
| M | 57.8 | 2.1 | 4 | 2 | 16 | 2 | 13 |
| A | 56.8 | 1.7 | 7 | 2 | 13 | 2 | 15 |
| M | 59.0 | 1.8 | 10 | 2 | 11 | 2 | 18 |
| J | 67.1 | 4.0 | 14 | 2 | 6 | 6 | 18 |
| J | 70.8 | 4.3 | 19 | 1 | 4 | 6 | 21 |
| A | 71.0 | 5.6 | 18 | 2 | 4 | 5 | 22 |
| S | 72.9 | 5.4 | 15 | 1 | 3 | 8 | 19 |
| O | 69.2 | 7.6 | 9 | 1 | 9 | 6 | 16 |
| N | 65.4 | 6.4 | 4 | 1 | 14 | 3 | 13 |
| D | 63.0 | 3.6 | 2 | 1 | 17 | 2 | 12 |

Continúa Anexo 1.

| Mes | Recorrido del viento (m día ⁻¹) | | | | Temperatura mínima a la intemperie (°C) | | | | |
|-----|---|-----------|-----------|-----------|---|-------|-------|-------|--------|
| | 0.30 m | 2.0 m | 4.0 m | 6.0 m | 20 cm | 40 cm | 60 cm | 80 cm | 100 cm |
| E | 53,509.6 | 101,669.9 | 128,420.9 | 145,708.2 | -2.3 | -1.7 | -1.2 | -0.8 | -0.8 |
| F | 58,154.3 | 113,311.8 | 143,864.6 | 166,575.3 | -1.5 | -0.9 | -0.4 | 0.0 | 0.4 |
| M | 67,100.4 | 137,127.7 | 164,442.4 | 184,846.6 | -0.2 | 0.4 | 0.8 | 1.3 | 1.6 |
| A | 65,721.7 | 129,205.1 | 156,711.8 | 181,394.1 | 2.3 | 2.8 | 3.2 | 3.7 | 4.0 |
| M | 66,636.9 | 134,845.4 | 161,355.9 | 187,156.0 | 4.5 | 4.9 | 5.3 | 5.7 | 6.0 |
| J | 67,315.8 | 140,323.7 | 166,716.4 | 189,790.0 | 7.5 | 7.8 | 8.1 | 8.4 | 8.6 |
| J | 57,463.4 | 135,478.9 | 154,936.1 | 181,743.5 | 7.4 | 7.7 | 8.0 | 8.4 | 8.5 |
| A | 49,192.9 | 130,243.3 | 156,047.7 | 182,505.4 | 7.5 | 7.8 | 8.1 | 8.3 | 8.5 |
| S | 46,382.8 | 137,093.2 | 158,175.6 | 183,877.7 | 7.6 | 7.9 | 8.1 | 8.3 | 8.5 |
| O | 44,552.0 | 119,656.8 | 140,372.1 | 172,651.2 | 4.0 | 4.4 | 4.8 | 5.0 | 5.2 |
| N | 44,787.5 | 108,763.6 | 127,884.2 | 148,989.4 | 0.1 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 1.8 |
| D | 40,526.7 | 89,256.8 | 112,748.2 | 135,322.0 | -2.5 | -1.8 | -1.3 | -0.8 | -0.5 |

Continuación Anexo 1.

| Mes | Temperatura de suelo (°C) | | | | Días con | | | Nubosidad (octas) |
|-----|---------------------------|-------|-------|-------|----------|---------|--------------------|-------------------|
| | 10 cm | 20 cm | 50 cm | Rocío | Helada | Granizo | Tormenta eléctrica | |
| E | 11.3 | 12.8 | 14.0 | 17 | 9 | 0 | 1 | 3 |
| F | 12.9 | 13.9 | 14.6 | 17 | 4 | 0 | 1 | 3 |
| M | 15.2 | 15.7 | 16.0 | 16 | 2 | 0 | 2 | 3 |
| A | 17.0 | 17.6 | 17.4 | 14 | 0 | 0 | 3 | 4 |
| M | 18.5 | 18.9 | 18.6 | 17 | 0 | 0 | 5 | 4 |
| J | 19.5 | 19.7 | 19.5 | 21 | 0 | 1 | 7 | 5 |
| J | 18.7 | 19.2 | 19.5 | 27 | 0 | 1 | 9 | 5 |
| A | 18.6 | 19.2 | 19.5 | 28 | 0 | 0 | 6 | 5 |
| S | 18.3 | 18.8 | 19.4 | 26 | 0 | 0 | 5 | 5 |
| O | 16.5 | 17.2 | 18.3 | 27 | 2 | 0 | 3 | 4 |
| N | 14.0 | 15.3 | 16.8 | 22 | 4 | 0 | 1 | 4 |
| D | 11.6 | 13.3 | 15.1 | 20 | 7 | 0 | 0 | 3 |

Anexo 2. Régimen de unidades térmicas (UT) para maíz en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

| <i>Distritos de Desarrollo Rural</i> | UT Anual | | UT Mensual | |
|--|-----------------|-------------|-------------------|-------------|
| | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. |
| Toluca | 1,242.9 | 2,400.4 | 0.0 | 200.0 |
| Zumpango | 1,948.7 | 3,310.1 | 162.4 | 275.8 |
| Texcoco | 1,350.7 | 4,076.9 | 112.5 | 339.7 |
| Tejupilco | 4,191.6 | 4,739.1 | 349.3 | 394.9 |
| Atlacomulco | 1,568.5 | 2,848.0 | 130.7 | 237.3 |
| C. Harinas | 2,915.8 | 4,098.2 | 243.0 | 341.5 |
| V. Bravo | 1,586.9 | 4,899.3 | 132.2 | 408.3 |
| Jilotepec | 2,081.4 | 3,380.6 | 173.5 | 281.7 |

Fuente: Corzo (1992).

Anexo 3. Régimen de unidades térmicas (UT) para frijol en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

| Distritos de Desarrollo Rural | UT Anual | | UT Mensual | |
|--|-----------------|-------------|-------------------|-------------|
| | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. |
| <i>Toluca</i> | 0.0 | 2,039.8 | 0.0 | 170.0 |
| Zumpango | 1,591.1 | 3,063.2 | 132.6 | 255.3 |
| Texcoco | 1,011.1 | 3,801.8 | 84.3 | 316.8 |
| Tejupilco | 1,856.4 | 7,204.9 | 154.7 | 600.4 |
| Atlacomulco | 1,231.8 | 2,534.8 | 102.6 | 211.2 |
| C. Harinas | 2,559.7 | 3,890.3 | 213.3 | 324.2 |
| V. Bravo | 1,244.7 | 5,822.3 | 103.7 | 485.2 |
| Jilotepec | 1,722.3 | 3,061.5 | 143.5 | 255.1 |

Fuente: Corzo (1992).

Anexo 4. Régimen de unidades térmicas (UT) para trigo en los Distritos de Desarrollo Rural del Estado de México.

| Distritos de Desarrollo Rural | UT Anual | | UT Mensual | |
|----------------------------------|----------|----------|------------|-------|
| | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. |
| <i>Toluca</i> | 1,385.4 | 4,959.8 | 115.4 | 413.3 |
| Zumpango | 4,511.1 | 5,980.2 | 375.9 | 498.3 |
| Texcoco | 3,931.1 | 6,001.7 | 327.6 | 500.1 |
| Tejupilco | 4,776.4 | 10,125.5 | 398.0 | 843.7 |
| Atlacomulco | 4,146.4 | 5,412.0 | 345.5 | 451.0 |
| C. Harinas | 5,479.7 | 6,810.3 | 456.6 | 567.5 |
| V. Bravo | 4,152.3 | 8,742.3 | 346.0 | 728.5 |
| Jilotepec | 4,641.8 | 5,981.0 | 386.8 | 498.4 |

Fuente: Corzo (1992).

Anexo 5. Tabla para el cálculo de horas frío calculadas por el Método de Weinberger.

| Temperatura Promedio (°C) Dic - Ene | Horas Frío | Temperatura Promedio (°C) Dic - Ene | Horas Frío | Temperatura Promedio (°C) Dic - Ene | Horas Frío | Temperatura Promedio (°C) Dic - Ene | Horas Frío |
|--|------------|--|------------|--|------------|--|------------|
| 17.1 | 50 | 13.9 | 370 | 11.1 | 690 | 8.6 | 1,010 |
| 17.0 | 60 | 13.8 | 380 | 11.0 | 700 | 8.5 | 1,020 |
| 16.9 | 70 | 13.7 | 390 | 10.9 | 710 | 8.4 | 1,030 |
| 16.8 | 80 | 13.6 | 400 | 10.9 | 720 | 8.4 | 1,040 |
| 16.7 | 90 | 13.5 | 410 | 10.8 | 730 | 8.3 | 1,050 |
| 16.6 | 100 | 13.4 | 420 | 10.7 | 740 | 8.2 | 1,060 |
| 16.5 | 110 | 13.3 | 430 | 10.6 | 750 | 8.2 | 1,070 |
| 16.4 | 120 | 13.2 | 440 | 10.5 | 760 | 8.1 | 1,080 |
| 16.3 | 130 | 13.1 | 450 | 10.4 | 770 | 8.0 | 1,090 |
| 16.2 | 140 | 13.0 | 460 | 10.4 | 780 | 8.0 | 1,100 |
| 16.1 | 150 | 12.9 | 470 | 10.3 | 790 | 7.9 | 1,110 |
| 16.0 | 160 | 12.9 | 480 | 10.2 | 800 | 7.8 | 1,120 |
| 15.9 | 170 | 12.8 | 490 | 10.1 | 810 | 7.7 | 1,130 |
| 15.8 | 180 | 12.7 | 500 | 10.0 | 820 | 7.7 | 1,140 |
| 15.7 | 190 | 12.6 | 510 | 10.0 | 830 | 7.6 | 1,150 |
| 15.6 | 200 | 12.6 | 520 | 9.9 | 840 | 7.5 | 1,160 |
| 15.5 | 210 | 12.4 | 530 | 9.8 | 850 | 7.5 | 1,170 |
| 15.4 | 220 | 12.3 | 540 | 9.7 | 860 | 7.4 | 1,180 |
| 15.3 | 230 | 12.2 | 550 | 9.6 | 870 | 7.3 | 1,190 |
| 15.2 | 240 | 12.1 | 560 | 9.6 | 880 | 7.2 | 1,200 |
| 15.1 | 250 | 12.0 | 570 | 9.5 | 890 | 7.2 | 1,210 |
| 15.0 | 260 | 12.0 | 580 | 9.4 | 900 | 7.1 | 1,220 |
| 14.9 | 270 | 11.9 | 590 | 9.3 | 910 | 7.0 | 1,230 |
| 14.8 | 280 | 11.8 | 600 | 9.2 | 920 | 7.0 | 1,240 |
| 14.7 | 290 | 11.7 | 610 | 9.2 | 930 | 6.9 | 1,250 |
| 14.6 | 300 | 11.6 | 620 | 9.1 | 940 | 6.8 | 1,260 |
| 14.5 | 310 | 11.6 | 630 | 9.0 | 950 | 6.8 | 1,270 |
| 14.4 | 320 | 11.4 | 640 | 8.9 | 960 | 6.7 | 1,280 |
| 14.3 | 330 | 11.4 | 650 | 8.9 | 970 | 6.7 | 1,290 |
| 14.2 | 340 | 11.3 | 660 | 8.8 | 980 | 6.6 | 1,300 |
| 14.1 | 350 | 11.2 | 670 | 8.7 | 990 | 6.5 | 1,310 |
| 14.0 | 360 | 11.2 | 680 | 8.6 | 1000 | 6.5 | 1,320 |
| | | | | | | 6.4 | 1,330 |
| | | | | | | 6.4 | 1,340 |
| | | | | | | 6.3 | 1,350 |

Fuente: Villalpando (1993).

Anexo 6. Requerimiento de horas frío de algunas variedades de frutales.

| Especie | Variedad | Requerimientos Horas Frío | Clasificación |
|----------------|-----------------|--------------------------------------|----------------------|
| Manzano | Rome Beauty | 1,000 – 1,300 | Muy Alto |
| | Golden | 800 – 1,000 | Alto |
| | Delicious | 700 - 800 | Medio |
| | Red Delicious | 600 - 700 | Bajo |
| | Rayada | 500 - 500 | Muy Bajo |
| | Winter Banana | | |
| Durazno | May Flower | 1,000 – 1,300 | Muy Alto |
| | Fortuna | 800 - 850 | Alto |
| | Witehale | 700 - 800 | Medio |
| | May Gold | 650 - 750 | Bajo |
| | Floradahome | 400 - 500 | Muy Bajo |
| | Nancy | 1,000 – 1,050 | Muy Alto |
| Chabacano | Royal | 700 - 850 | Alto |
| | Real Fino | 650 750 | Medio |
| | Klabi | 600 - 700 | Bajo |
| | Valencianos | 500 - 600 | Muy Bajo |
| | Williams | 1,000 – 1,300 | Muy Alto |
| | Beurré Hardy | 950 1,050 | Alto |
| Peral | Winter Nelis | 650 - 750 | Medio |
| | Orient | 500 - 600 | Bajo |
| | Paraíso | 400 - 500 | Muy Bajo |
| | RedHeart | 850 - 950 | Muy Alto |
| | Ozak Premier | 800 - 900 | Alto |
| | Purple King | 700 - 800 | Medio |
| Ciruelo | Mariposa | 650 - 750 | Bajo |
| | Gota de Oro | 600 - 700 | Muy Bajo |
| | Lambert | 900 – 1,100 | Muy Alto |
| | Chapman | 850 - 950 | Alto |
| | Tixerain | 750 - 850 | Medio |
| | Precoz de Bále | 750 - 850 | Bajo |
| Cerezo | Cristobalina | 600 – 700 | Muy Bajo |
| | | | |
| Nogal | | 400-1,500 | Alto |
| Vid | | 100-1,400 | Medio |

Fuente: Calderón (1977) y Gobierno de Aragón (2010).

Anexo 7. Temperaturas letales congelantes en diferentes especies y etapas fenológicas.

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

Fuente: Da Mota (1979).