

# **UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**TOPICOS SELECTOS DE  
LA PRODUCCION AGRICOLA ACTUAL.  
"INDICES AGROCLIMATICOS LIMITANTES  
PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO  
DE PAPA (*Solanum tuberosum* Lin.)  
EN LA VEGA DE METZTITLAN, HIDALGO"**

**TRABAJO DE SEMINARIO  
que para obtener el titulo de  
INGENIERO AGRICOLA**

presenta:

**JOSE LUIS MONTERROSO RUIZ**

**Asesor de Tesis:  
M. EN C. ADELINA ALBANIL ENCARNACION**

CUAUTITLAN, ESTADO DE MEXICO

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

199

**7**



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 LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

TELÉFONO 57 11 21  
DIRECCIÓN 100 100 100

DR. JAIME KELLER TORRES  
DIRECTOR DE LA FES-CUAUTITLÁN  
PRESENTE.

ATN: ING. RAFAEL RODRIGUEZ CEBALLOS

Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES-C.

Con base en el art. 51 del Reglamento de Exámenes Profesionales de la FES-Cuautitlán, me permito comunicar a usted que revisé el Trabajo de Seminario:

Tópicos Selectos de la Producción Agrícola Actual  
\* Índices Agroclimáticos Limitantes para el  
Establecimiento del Cultivo de Papa (Solanum tuberosum L.)  
en la Vega de Metztitlán, Hidalgo.

que presenta el alumno: José Luis Monterroso Ruiz  
con número de cuenta: B137516-1 para obtener el Título de:  
Ingeniero Agrícola.

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VISTO BUENO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 26 de Agosto de 1996

MODULO:	PROFESOR:	Firma:
Segundo W. en C. Adelina Albanil Encarnación		<i>[Firma]</i>
Segundo Ing. Gustavo Herrera Mancera.		<i>[Firma]</i>
Segundo Ing. Francisco Cruz Pizarro.		<i>[Firma]</i>

REP/V080508

---

**¡Cuán innumerables son tus obras, oh Dios!  
Hiciste todas ellas con sabiduría;  
La tierra está llena de tus beneficios.**

**Salmo 104:24**

---

## **DEDICATORIA**

**A Dios, por crearnos a su imagen y semejanza y por reconciliarnos por medio de su Hijo.**

**A mis padres Adolfo y Josefina, por darme vida, amor y sembrar en mí el interés, cariño y respeto a la naturaleza.**

**A mi esposa amada, por ser ejemplo de superación, nobleza y alegría; por ser mi apoyo e inspiración y por aceptarme como soy, gracias Emelina.**

**A mis hermanos Adolfo, Elizabeth, Laura y Claudia (a quien recuerdo con cariño), por su apoyo en mi superación personal.**

**A mis sobrinos Claudia, Elizabeth, Luis César, Jimena, Laura Alejandra y Fernando, por la inocencia, ternura y alegría que añaden a los momentos de mi vida.**

**A mis cuñados Manuel, César y Bertha, por ser ejemplo de trabajo, constancia y honestidad.**

**A mis suegros Fernando y Bertha, a mi cuñado Julio César y su esposa Edith, por su vocación al servicio docente, el amor al conocimiento y por aceptarme como miembro de su familia.**

**A la Vega de Metztlán, tierra fértil y abundante.**

---

## **RECONOCIMIENTOS**

**A la UNAM, por darme la oportunidad de alcanzar mi formación profesional.**

**A la M. en C. Adelina Albanil Encarnación, por aceptar asesorar este trabajo y por todo el apoyo recibido.**

**Al Ing. Gustavo Mercado Mancera y al Ing. Francisco Cruz Pizarro, por los acertados comentarios en la revisión de esta tesis.**

**Al Dr. Rafael Torres Hernández, al Profr. M. en E. Saúl Torres Mercado y al Profr. M. en E. Javier Torres Mercado, por su valiosa cooperación al compartir sus conocimientos de la Vega de Metztlán y del cultivo de papa.**

**Al Dr. Edvino Josafat Vega Rojas, por su interés en nuestra titulación a través del seminario.**

**Al Lic. Vicente Mosqueda Reyna, por la transcripción de la información.**

**A la Unidad de Servicios Académicos de Televisa, por la corrección de estilo e impresión de esta tesis.**

---

# CONTENIDO

<b>Indice de Figuras</b>	1
<b>Indice de Cuadros</b>	1
<b>Anexos</b>	1
<b>Resumen</b>	2
<b>1. Introducción</b>	6
1.1 <b>Objetivos</b>	7
<b>2. Revisión de literatura</b>	8
2.1 <b>Importancia de la agrometeorología</b>	8
2.2 <b>Los índices agroclimáticos y su importancia en la agricultura</b>	10
2.3 <b>Fenología del cultivo de la papa</b>	10
2.4 <b>Generalidades del cultivo</b>	11
2.4.1 <b>Antecedentes</b>	11
2.4.2 <b>Origen</b>	12

---

2.4.3	Clasificación taxonómica	13
2.4.4	Descripción botánica	13
2.4.5	Propagación	15
2.4.6	Algunas variedades de papa que se cultivan en México	16
2.5	Requerimientos climáticos y edáficos del cultivo	17
2.5.1	Temperatura	17
2.5.2	Fotoperíodo	17
2.5.3	Humedad	18
2.5.4	Suelo	18
2.6	Proceso de producción de la papa en la Vega de Metztlán	20
3.	Metodología	23
3.1	Descripción general del área de estudio	24
3.1.1	Localización	24
3.1.2	Morfología y geología	26
3.1.3	Hidrología	26
3.1.4	Clima	27
3.1.5	Edafología y vegetación	29
3.2	Selección de la estación meteorológica	29
3.3	Obtención de la información climatológica	30
3.4	Transformación de los elementos climáticos a índices agroclimáticos	30
3.4.1	Unidades calor	30
3.4.2	Precipitación	32
3.4.3	Evapotranspiración potencial (ETP)	32
3.4.4	Estación de crecimiento	33
3.4.4.1	Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad	34
3.4.4.1.1	Componentes de la estación de crecimiento	34



---

3.4.4.1.2 Tipos de estación de crecimiento .....	35
3.4.4.2 Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura (período libre de heladas) .....	36
3.4.5 Fotoperíodo .....	36
4. Resultados y discusión .....	37
4.1 Fotoperíodo .....	37
4.2 Temperatura y unidades calor .....	39
4.3 Precipitación .....	40
4.4 Evaporación y evapotranspiración potencial (ETP) .....	41
4.5 Estación de crecimiento por humedad .....	43
4.6 Estación de crecimiento por temperatura .....	43
5. Conclusiones .....	46
6. Anexos .....	48
7. Bibliografía .....	58

### ***Indice de figuras***

1. División municipal, Edo. Hidalgo
2. Climas, Edo. Hidalgo
3. Temperaturas mínima, media y máxima
4. Equipo para la medición de la evaporación
5. Fotoperíodo (N) medio en horas para cada mes
6. Precipitación y evaporación
7. Estación de crecimiento
8. Período libre de heladas por el método de Arteaga.

### ***Indice de cuadros***

1. Etapas fenológicas, día juliano y unidades calor (UC) acumuladas para el cultivo de la papa en Metztlán, Hgo.

### ***Anexos***

- I. División municipal, 1990, Edo. Hgo.
- II. Datos climáticos, Estación Metztlán, Hgo.
- III. Duración del día en Metztlán, Hgo.
- IV. Temperaturas promedio diarias en Metztlán, Hgo.
- V. Temperaturas promedio máximas diarias en Metztlán, Hgo.
- VI. Precipitación acumulada diariamente en Metztlán, Hgo.
- VII. Grados día de desarrollo (GDD) acumulados diariamente en Metztlán, Hgo.
- VIII. Calendario juliano.

## RESUMEN

La producción de papa, así como la de cualquier producto agrícola, se ve limitada por el tipo de clima que prevalece en determinada región. Es por eso que el objetivo de este trabajo fue identificar y determinar los índices agroclimáticos que se obtuvieron a partir de los elementos del clima, como son: temperatura, precipitación, evaporación, etc., y una vez analizados y comparados con las necesidades del cultivo, se podrá determinar que influencia tienen durante las diferentes etapas fenológicas de la papa, para realizar una calendarización del proceso productivo buscando la época más adecuada para su establecimiento en la zona de estudio y así obtener altos rendimientos.

Las fases fenológicas de la papa son: emergencia, floración, formación del tubérculo y maduración. Su ciclo vegetativo es de 90 a 150 días, dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales.

Para la obtención de los índices agroclimáticos se utilizaron datos de la estación climatológica denominada Metztlán, con clave 13-077 perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional, ya que se encuentra ubicada dentro de la zona de estudio.

Estos datos fueron: temperaturas promedio mensual, máxima, mínima y media, precipitación y evaporación, las cuales se promediaron a nivel mensual en un lapso de 11 años (1974-1985).

Los valores de temperatura en forma de promedios se expresaron en términos de unidades calor a través del método residual, esto para obtener un significado más real sobre el desarrollo del cultivo. Estos cálculos se hicieron en forma diaria, gracias al programa "Agroclim", el cual transforma datos mensuales normales a datos diarios.

La evapotranspiración potencial (ETP) se obtuvo a través del método Tanque tipo A, el cual es un método indirecto que correlaciona la evapotranspiración en función de lecturas de evaporómetro. La evaporación se graficó durante todo el año contra la precipitación que resultó ser menor.

Para la obtención de la estación de crecimiento se utilizó la metodología propuesta por la FAO 1978 (en su proyecto de zonas agroecológicas), en donde se utiliza la ETP en la definición de los períodos de crecimiento.

Se obtuvo una estación de crecimiento de tipo intermedia, dado que la precipitación de la zona no excede a la ETP, pero si al 0.5 de ETP, aunque solamente durante el mes de septiembre.

El método que se utilizó para obtener el período libre de heladas (PLH) fue el de Arteaga (1988), ya que no se contaba con datos completos de fechas de ocurrencia de primera y última helada, ni con el número de días de ocurrencias de helada. Gracias a la información sobre la temperatura mínima promedio, se pudo determinar que es muy poco probable que se presenten heladas; dado que las temperaturas mínimas promedio no son inferiores a los 7.0°C, se tiene un período libre de heladas durante todo el año.

La duración del día que se tiene para la zona de estudio es de corto (< 12 horas) a neutro (12-14 horas), presentándose de enero a marzo y de octubre a diciembre. Es en estos períodos que se dan las mejores condiciones para el desarrollo de la papa, ya que requiere de días cortos para la formación temprana de tubérculos (aunque esto implique un rendimiento reducido, ya que los tallos y las hojas no están bien desarrollados para la asimilación adecuada), y también durante estos meses es favorable el promedio de temperaturas.

En el resto del año (de marzo a agosto) no es muy favorable el desarrollo del cultivo, en vista de que se tiene una duración del día mayor a 12 horas (fotoperiodo largo), provocando esto un retraso en la formación de tubérculos y en la cosecha, y porque las temperaturas alcanzan casi los 24°C sobrepasando el máximo óptimo para el cultivo.

De acuerdo a la duración del día, se deberá prever las variedades que cumplan con sus requerimientos de horas/luz. La preparación del terreno se llevará a cabo los últimos días de septiembre y la siembra se realizará el 1o. de octubre.

Se determinaron las etapas fenológicas y las fechas en las cuales ocurrirían, sembrando el 1o. de octubre, indicando también la acumulación de unidades calor para cada etapa fenológica, siendo esto factible de cumplirse siempre y cuando los demás factores ambientales se presentaran en condiciones óptimas para el cultivo.

Por la acumulación de unidades de calor en la Vega, el cultivo de papa cumple con sus requerimientos, por lo que esto no es una limitante para su establecimiento. Se determinó un período de producción que va de los meses de octubre a enero, ya que se dan las condiciones adecuadas con temperaturas de los 16 a 20°C y un fotoperíodo corto con duración del día menor a 12 horas.

De acuerdo a la estación de crecimiento, al período libre de heladas y a la disponibilidad de riego, se pueden establecer una gran variedad de cultivos durante los dos ciclos productivos (primavera-verano y otoño-invierno), como pueden ser: maíz, frijol, calabaza, chile, tomate, chícharo, etc.

# 1. INTRODUCCIÓN

En la actividad productiva agrícola de carácter comercial, el volumen de la producción final es uno de los parámetros que marcan decisivamente el interés de un cultivar determinado. El producto-producción por precio unitario indica el producto bruto del cultivo, que es uno de los principales parámetros, aunque no el único a considerar por el agricultor en la elección de una actividad productiva rentable que es, en definitiva, la razón última de cualquier orientación agraria de carácter profesional.

La producción agrícola depende primordialmente de los efectos de diferentes factores, los cuales ejercen una influencia decisiva sobre ésta, y sus limitaciones y excesos se reflejan en el rendimiento obtenido. Entre tales factores destacan los genéticos, climáticos,

edáficos, culturales, económicos y sociales. En el presente trabajo se estudiará el factor climático relacionado con la agricultura porque es de suma importancia el conocimiento de una zona desde este punto de vista, en la medida de que nos permite identificar si un cierto lugar tiene una capacidad agrícola para de esta forma determinar los cultivos que presentan las mejores perspectivas de desarrollo y la época más propicia para su establecimiento.

En este estudio se identifican y determinan los índices agroclimáticos que son limitantes para el establecimiento del cultivo de la papa (la cual es un vegetal excelente desde el punto de vista nutricional) en la muy interesante y singular Vega de Metztlán, lugar de alto potencial de investigación para muchas ramas profesionales como son: geología, antropología, arqueología, edafología, hidrología y, por supuesto, la agrometeorología. Esto es factible de realizarse, ya que actualmente en el país se tiene una extensa red de estaciones meteorológicas, muchas de las cuales cuentan con más de 10 años de información climática concentrada, ordenada, almacenada y disponible para su utilización. Sin embargo, dicha información es poco empleada como herramienta en el análisis y desarrollo de proyectos y programas agrícolas, debido al desconocimiento de la importancia que ésta tiene, así como al escaso uso que se le da como complemento para la producción agrícola.

### **1.1 Objetivos**

Los objetivos del presente trabajo son los siguientes:

- a) Determinar cuáles son los elementos climáticos limitantes, una vez que se han transformado a índices agroclimáticos para el establecimiento del cultivo de la papa.
- b) Determinar cuál es la época más adecuada para su establecimiento en la zona de estudio.



## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### ***2.1 Importancia de la agrometeorología***

La agrometeorología, de acuerdo con Smith (1975), citado por Ortiz (1987), intenta poner a la ciencia de la meteorología al servicio de la agricultura para mejorar el uso de las tierras, ayudando a producir la máxima cantidad de alimentos y evitando el abuso irreversible de los recursos terrestres.

Ampudia (1985) indica que los estudios fenológicos y agroclimatológicos pueden proporcionar la obtención de un margen de seguridad del 50 al 70% en los rendimientos óptimos.

La influencia del clima sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos en una región es tan amplia que esto se debe en gran parte

a la variación que muestran los rendimientos agrícolas año tras año. Por esto se recomienda utilizar al máximo la información de las estaciones climatológicas para eludir, hasta donde sea posible, los riesgos que ocasiona la influencia del clima sobre los cultivos.

El clima se define como el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado, mientras que el tiempo es el estado atmosférico predominante en un momento dado. Al conjunto de fenómenos meteorológicos que caracterizan el estado atmosférico de un lugar se le conoce como "elementos del tiempo y del clima", siendo los siguientes: temperatura, precipitación, evaporación, presión atmosférica, humedad atmosférica, vientos, nubosidad, radiación solar, etc. Romo y Arteaga (1989) indican que estos elementos van a determinar el tipo de cultivo a sembrar, caracterizando el tipo de agricultura predominante en una región. Asimismo, influyen en forma individual o combinada en los diferentes procesos fisiológicos que tienen lugar en los vegetales.

Dentro de los períodos fenológicos encontramos los llamados "períodos críticos", los cuales indican que un determinado fenómeno meteorológico puede ser benéfico cuando se presenta en el momento adecuado, pero perjudicial si se presenta fuera de tiempo.

Al tener información de los elementos del clima, pero sobre todo al saber aplicarlos e interpretarlos correctamente en las actividades agrícolas, es cuando practicamos la agrometeorología que, de acuerdo con Romo y Arteaga (1989), se define como "la ciencia que se encarga de estudiar las leyes y principios que relacionan los fenómenos meteorológicos con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas cultivadas". Su objetivo es el de aumentar la producción agrícola mediante la previsión precisa, conocimiento y control de las condiciones atmosféricas. Algunos ejemplos de aplicación de la agrometeorología en la planeación agrícola, según Ruiz (1986), son:

1. Determinación de fechas de siembra basada en fenología.

2. Balance de humedad y estimación de rendimientos.
3. Control integral de plagas y enfermedades.
4. Zonificación agroecológica con base en factores climáticos y edáficos.
5. Zonificación agroclimática con base en la lluvia, unidades calor y unidades frío.
6. Optimización en el uso de maquinaria.
7. Estimación y pronóstico de rendimiento, etc.

## **2.2 Los índices agroclimáticos y su importancia en la agricultura**

En la actualidad se ha observado que los datos climáticos registrados en las estaciones climatológicas deben ser usados en la agricultura en forma de índices agroclimáticos. Villalpando (1983) menciona que estos son estimados a partir de los elementos primarios del clima; sin embargo, hay algunos que se emplean directamente, tales como la radiación solar, el viento, la cantidad de lluvia, etc. En ambos casos se recomienda efectuar un análisis con el cual se puedan manejar estos elementos en términos de probabilidades de ocurrencia. Algunos ejemplos de índices agroclimáticos, además de los ya citados, son: evapotranspiración real y potencial, probabilidades de lluvia, unidades térmicas, etc.

## **2.3 Fenología del cultivo de la papa**

Las fases fenológicas de la papa, según Todorov (1985), son cuatro, y se mencionan a continuación:

- a) Emergencia. Se presenta cuando se tiene la aparición de los primeros retoños sobre la superficie del suelo.
- b) Botonamiento. Cuando aparece el primer grupo de pequeños botones en la parte superior del tallo.

c) Floración. Cuando se abren las primeras flores.

d) Marchitez. Las hojas adquieren un color amarillo grisáceo y se marchitan. Cesa el crecimiento de las plantas.

Villalpando y Ruiz (1993) consideran la fase de madurez, en lugar de la de marchitez. Esta se presenta cuando el follaje cae o se torna amarillento, y ocurre cuando dos tercios y tres cuartas partes de los tubérculos han completado la etapa de tuberización y son de primera categoría comercial.

Es conveniente hacer notar que las exigencias meteorológicas de los vegetales varían según la etapa o fase de desarrollo en que se encuentren, por lo que un fenómeno meteorológico útil en cierta etapa puede ser completamente perjudicial si se produce en otra, razón por la cual, cuando se analiza la influencia de los elementos climáticos sobre los cultivos, se tiene que hacer en forma individual para cada especie.

## **2.4 Generalidades del cultivo**

### **2.4.1 Antecedentes**

La papa recibe diferentes nombres comunes o vulgares en idiomas extranjeros de los países donde se produce. Dentro de éstos se pueden citar: en inglés, potato; en alemán, kartoffel; en flamenco, aardappel; en italiano, patata; en México recibió el nombre de pápotl por los náhoas, y actualmente se le conoce como papa (Ortiz, 1983).

Textos relativos a esta planta señalan que en 1565 se introdujo su cultivo en Irlanda por los españoles, y después su aparición gradual en varios países europeos durante los siglos XVII y XVIII a donde fue llevada desde el nuevo mundo. Por lo bajo de su precio y elevado poder alimenticio, diversas naciones del viejo mundo se interesaron en su cultivo con el fin de evitar los rigores del hambre entre sus pueblos.

La papa es uno de los vegetales hortícolas que puede ser consumido no solo como vegetal puro, sino también en forma de alimento procesado en una amplia gama de variedades; lo anterior obedece a su excelencia desde el punto de vista nutricional. Constituye una buena fuente de carbohidratos para el cuerpo humano, así como también de vitamina C, potasio, hierro, niacina, y otros minerales importantes para una dieta balanceada.

Adquiribles durante todo el año, se consume más en estado fresco que refrigerado; incluso, las papas almacenadas son vendidas a menor precio. En comparación con muchas frutas y hortalizas altamente perecederas, el tubérculo se caracteriza más bien como semiperecedero, sin embargo, bajo condiciones ideales de refrigeración, puede guardarse unos seis meses sin disminución significativa de su calidad.

### 2.4.2 Origen

De origen montaños, donde el clima registra entre los 12 y 16°C alcanza su punto óptimo de vegetación. Algunos tipos de *Solanum tuberosum*, como el *S. de missum*, se sitúa como espontáneo en México, según Ortiz (1983), y otras muchas especies silvestres tienen su origen en las regiones frías de Perú, Bolivia, Ecuador y en las Costas e Islas del sur de Chile. Se compone de un gran número de especies de las que se conocen más de 130 desde regiones agrícolas de los Estados Unidos Americanos, México y varios países centroamericanos. En el mundo se cuentan con más de un millar de variedades; clasificadas desde el doble punto de vista de su aprovechamiento y de la forma y color del tubérculo, se distinguen tres grupos principales de variedades, que son:

a) Industriales. Se caracterizan por su riqueza en féculas; de 19 al 20% son resistentes al frío y a las enfermedades, y son generalmente tardías. La pulpa está formada por células grandes y es de color blanco (Ortiz, 1983).

b) De gran consumo. Tienen la pulpa blanca, formada por células más pequeñas. Son utilizadas tanto en la alimentación humana como en la de los animales, especialmente los cerdos; también se emplean para la extracción de fécula.

c) Hortícolas. Están consideradas como más finas, tienen pulpa en general amarilla, y suelen ser tempranas y de rápido desarrollo. La pulpa está formada por células pequeñas apretadas.

### **2.4.3 Clasificación taxonómica**

Sánchez (1978) menciona la clasificación de la papa de la siguiente forma:

REINO	Vegetal
DIVISION	Embriophyta
SUB-DIVISION	Angiospermas
CLASE	Dicotiledónea
ORDEN	Tubeiflorae
FAMILIA	Solanaceae
SUB-FAMILIA	Solanaceae
GENERO	Solanum
ESPECIE	tuberosum

### **2.4.4 Descripción botánica**

La papa posee largos estolones subterráneos en cuyos extremos se desarrollan los tubérculos, los cuales constituyen la parte comestible de la planta.

La pulpa de los tubérculos está formada por la proliferación de las células parenquimatosas que almacenan almidón y las sustancias nitrogenadas como material de reserva para la vegetación sucesiva de la planta. La zona exterior es más rica en almidón que la parte inferior; en cambio, las sustancias nitrogenadas aumentan de la periferia al centro (Hudson *et al.*, 1988).

Los tubérculos tienen formas ovoides o cilíndricas con piel blanca, amarilla, rosa o violeta, y según la edad a que se cosechan, poseen un cierto número de yemas; las más vigorosas se encuentran en el extremo terminal opuesto al estolón

Los tallos son de dos tipos: aéreos y subterráneos; los primeros son angulosos, de color verde o púrpura verdoso, dependiendo de la variedad, y tienen hojas imparipinnadas compuestas en espiral. En condiciones húmedas, las hojas son anchas y aplanadas; en condiciones áridas son angostas y en forma de copa o taza. Los tallos subterráneos son estolones y tubérculos. Los estolones son aproximadamente del tamaño de un lápiz y crecen lateralmente a una distancia entre 2.5 y 10 cm. Los tubérculos nacen en la extremidad de los estolones; son cortos y carnosos.

Las flores nacen en racimos en la extremidad de los tallos. Las individuales son perfectas, pudiendo ser blancas, amarillas, púrpura o veteadas, de acuerdo con la variedad. La floración es comúnmente más profusa en regiones con bajas temperaturas en el verano, que en las regiones con temperaturas elevadas en dicha estación. El fruto o masa de semilla es redondo y pequeño, y contiene de 100 a 300 semillas; éstas son utilizadas en el desarrollo de nuevos tipos y variedades (DGETA, 1986).

El desarrollo y el crecimiento de la papa dependen principalmente de factores genéticos y de condiciones ambientales. El ciclo de vida total es de 3 a 5 meses.

### **2.4.5 Propagación**

Esta se puede realizar con semillas obtenidas de las flores, siendo la reproducción botánica, la cual se usa solo para el fitomejoramiento del cultivo. También se puede propagar o producir en forma normal, en donde se siembra a partir de la semilla del tubérculo y la cosecha se efectúa antes de que la planta haya formado frutos.

El tubérculo, como material de propagación, puede presentar dormancia. Esto, dependiendo de la variedad, oscila entre unas semanas hasta varios meses. La dormancia se evita mediante el uso de variedades que no presentan este problema, almacenando los tubérculos de semilla durante algún tiempo antes de sembrar y/o aplicando tratamientos con reguladores de crecimiento. Otro fenómeno que ocurre en el tubérculo de la papa es la dominancia apical o predominio del ápice. Otra técnica para obtener más plantas es la eliminación de la yema apical; de esta manera se provoca la brotación de más tallos (CAEVAMEX, 1981).

El número de tallos que puede producir un tubérculo depende de la variedad, la especie y la alteración del predominio apical. Existe una relación entre el número de tallos y el número de tubérculos; mientras más tallos tenga la planta, mayor será el número de tubérculos, pero su tamaño será menor.

La tuberización es un proceso de almacenaje de alimentos en un tallo subterráneo modificado para la reproducción vegetativa; éste empieza a engrosarse en el ápice por la acumulación de nutrientes, especialmente almidón. En este proceso influye el factor genético de la planta, y los cambios y condiciones climatológicas.

La temperatura de 15°C a 20°C, junto con los días cortos, favorecen también una tuberización temprana; esto implicará un rendimiento reducido porque los tallos y las hojas no están bien desarrollados para la asimilación adecuada. Por otro lado, la



tuberización demasiado tardía retrasa la cosecha, pero produce tubérculos más grandes (Hudson *et al.*, 1988).

Los tubérculos de papa desarrollan y acumulan un alcaloide venenoso llamado solamina cuando son expuestos al sol antes de la maduración. Además, la cáscara de los tubérculos se pone verde. Es importante evitar esto mediante el aporque durante el cultivo y la apropiada cobertura durante el primer lapso de almacenaje. El alcaloide se reduce mediante la cocción de la papa.

#### **2.4.6 Algunas variedades de papa que se cultivan en México**

Ortiz (1983) señala que, dependiendo de la variedad, el ciclo vegetativo de este cultivo se define como tardío cuando requiere de 120 a 180 días entre la siembra y la cosecha, intermedio de los 105 a 120 días, y precoz entre 90 y 105 días. Villarreal (1984) menciona características de algunas de las variedades de papa que se cultivan en nuestro país; éstas se indican a continuación:

a) **Alpha**. Variedad holandesa. Esta variedad es de piel blanca y pulpa crema, ojos superficiales, forma oblonga y ciclo vegetativo de 90 a 100 días. Es susceptible a heladas y granizo, y no se recomienda para alturas superiores a los 2,800 msnm. Requiere de riegos bien distribuidos y ligeros, y es susceptible a tizón tardío en general. Se cultiva desde los 0 hasta los 2,650 msnm.

b) **Tollocan**. Esta variedad es de forma redonda achatada por los polos. Tiene una piel blanca, pulpa amarillo ocre y ojos superficiales. Es adaptable a terrenos con buena humedad, altamente resistente al tizón tardío y tolerante a heladas y granizo. Su ciclo vegetativo es de 90 a 100 días (intermedio).

c) **Greta**. Es de forma oblonga, más pequeña que la Alpha, y de ojos semiprofundos. No se adapta a regiones altas, es resistente a tizón tardío, y es de piel blanca y pulpa crema. Su ciclo es de 90 a 150 días.

d) **Atzimba**. Es de forma parecida a la Greta, de ojos superficiales, resistente al tizón tardío, susceptible a virosis, de piel blanca y pulpa crema. No tolera heladas y su ciclo vegetativo de 90 a 100 días.

e) **Yema**. De forma redonda y ojos profundos. No se le considera como una variedad sino como un clon avanzado. Resiste granizo y heladas, y es susceptible a enfermedades virosas. Su ciclo vegetativo es de 90 a 140 días.

f) **White rose**. Tubérculo elíptico, de piel lisa y carne blanca, con ojos numerosos y semiprofundos. Es susceptible a las enfermedades virosas.

g) **Anita**. Tipo andígena de tallos pigmentados, flor blanca, forma larga, piel blanca, carne amarillo-blanca y ojos semi-profundos.

## **2.5 Requerimientos climáticos y edáficos del cultivo**

### **2.5.1 Temperatura**

Durante su crecimiento, el cultivo de papa requiere una variación en la temperatura ambiental. Después de la siembra, la temperatura debe subir hasta 20°C para que la planta se desarrolle bien y luego se necesita una temperatura más alta para un buen crecimiento del follaje, aunque no debe pasar de los 30°C. Durante el desarrollo de los tubérculos, es importante que la temperatura se encuentre entre 16 y 20°C. Especialmente en regiones más calientes, es esencial que las noches sean frescas para ayudar a la inducción de la tuberización de los tallos.

### **2.5.2 Fotoperíodo**

El tubérculo no requiere luz para brotar; sin embargo, cuando la planta ha emergido la necesita para su desarrollo. Un sol fuerte

durante mucho tiempo reduce la producción. Los días cortos favorecen la formación temprana de los tubérculos, sin embargo, provocan una reducción en su tamaño, mientras que los días largos retardan su formación.

Algunas variedades de la papa florecen temprano durante los días largos. Existen también variedades que no son afectadas por la duración del día.

### **2.5.3 Humedad**

La planta de la papa necesita una continua provisión de agua durante la etapa de crecimiento. La cantidad total es de aproximadamente 500 a 700 mm, según Ortiz (1987). Para poder sembrar se necesita un tiempo seco a través del cual se prepara la tierra y se efectúa la siembra. En la primera etapa de su desarrollo, la planta requiere solo poca agua; poco después y hasta la cosecha, su consumo de agua es alto. Asimismo, para facilitar la cosecha el campo debe estar seco.

Cuando existe deficiencia de agua durante la época de crecimiento de la planta, el productor debe regar porque su falta disminuye la producción y calidad del tubérculo (SRH, 1974).

Una precipitación pluvial muy elevada y una humedad relativamente alta provocan el rápido desarrollo de enfermedades. Una lluvia fuerte después de un período de sequía da como resultado que la planta empiece a crecer de nuevo; esto disminuye la calidad del tubérculo.

### **2.5.4 Suelo.**

La papa puede crecer en casi todos los tipos de suelo, excluyendo suelos muy húmedos porque la semilla se pudre. El suelo debe proveer de agua, nutrientes y oxígeno a las raíces. Además, la estructura del suelo debe facilitar las labores de preparación de la tierra, del manejo del cultivo y de la cosecha.

Las condiciones del suelo que se prefieren para el cultivo de la papa son las siguientes (CAEVAMEX, 1981):

a) La profundidad de la capa de tierra cultivable debe ser, por lo menos, de 35 cm para que las raíces y los tubérculos puedan desarrollarse adecuadamente.

b) La granulación debe ser relativamente fácil. La cama de siembra debe tener una estructura granulada para ayudar a la filtración del agua hacia las raíces; esto, además, facilita la cosecha mecánica de los tubérculos.

c) La humedad debe ser adecuada. La papa requiere un suelo húmedo y a la vez una buena aireación. Un ambiente muy húmedo hace que la papa se pudra y un ambiente seco detiene el crecimiento.

d) El pH debe estar entre 5.5 y 7.0.

e) La cantidad de sales debe ser baja y la cantidad de materia orgánica debe ser superior a 2% como mínimo, para que el suelo no forme costras.

Los suelos arcillosos se secan lentamente, lo cual puede retardar la siembra, ya que resulta una época de crecimiento corta; por consecuencia, la producción en suelos arcillosos no es siempre tan alta. Estos suelos son fríos en primavera, lo que afecta negativamente el desarrollo de los brotes. Además, la granulación de los suelos pesados es difícil. La cosecha se debe efectuar temprano (antes de las lluvias) porque este tipo de tierra se adhiere mucho a los tubérculos cuando está mojada.

Los suelos arenosos se secan más rápido, lo que permite sembrar temprano en la época. Además, la temperatura de estos suelos se eleva rápido, lo que provoca un fuerte crecimiento de la planta joven. Sin embargo, tiene una capacidad limitada de retención de agua, lo que puede afectar el desarrollo de la planta en tiempos secos. La granulación natural de suelos arenosos facilita la preparación de

la cama de semillas, pero puede resultar una estructura demasiado fina que afecte negativamente al posterior crecimiento de la planta (SARH, 1983).

## **2.6 Proceso de producción de la papa en la Vega de Metztlán**

El proceso de producción para consumo en fresco e industrial se inicia con la selección de la semilla y variedad, siendo las más sembradas: la Alpha, de color de piel blanco y pulpa crema, con forma de tubérculo oblonga y con una amplia adaptación; la Greta de color blanco-crema, redonda y resistente al tizón tardío, solo de consumo en fresco; la variedad Rosita, de color rosado-crema, redonda y también resistente al tizón tardío; y la variedad San José, la cual es de color rojo. Otras variedades son Tollocan, Atzimba, Murca, Patrones, Yema y López.

El ciclo productivo de estas variedades es de 100 a 120 días, y el tamaño de la semilla debe de ser aproximadamente de 3 cm de diámetro. La fecha de siembra abarca los meses de septiembre a noviembre; este rango depende de la presencia de lluvias. En tierras altas sin problemas de inundación, la siembra se puede realizar a principios de septiembre, mientras que en tierras bajas y con problemas de inundación, la siembra se realizará entre octubre y noviembre.

La preparación del terreno se inicia con el barbecho a una profundidad de 25 a 30 cm, con el fin de tener una capa de terreno fácilmente manejable donde se desarrollen normalmente los tubérculos. En seguida, se realizan los pasos de rastra necesarios para dejar el suelo lo más mullido posible, y posteriormente se hace una nivelación para facilitar el riego.

La siembra se realiza en surcos, con 1 m de separación y dejando una distancia entre plantas de 20 a 25 cm. Esta se realiza en terreno húmedo, depositando la semilla a una profundidad de 15 a 20 cm, procurando que los tubérculos no queden en contacto con el

fertilizante. Para la fertilización se aplica la triple 17, a razón de 700 kg/ha, la cual puede ser antes o durante la siembra; esta cantidad y proporción depende de situaciones como: la fertilidad del suelo (incluyendo la aplicación de abonos), el precio de los fertilizantes en relación con el valor que se espera obtener por la cosecha, etc., y posteriormente se aplican 400 kg/ha de urea o nitrato de amonio.

Durante el desarrollo del cultivo se realizan cuatro o cinco riegos cada 20 días, que dependerán de las lluvias y de la disponibilidad de agua de riego. La aportación de agua al comienzo de la tuberización influye sobre el número de tubérculos de tamaño comercial por planta en el momento de recolección; de ahí la conveniencia de mantener el suelo aceptablemente húmedo. Después del comienzo de la tuberización, un cierto número de tubérculos recién formados empieza a desarrollarse; éste es el llamado período de engrosamiento, durante el cual el cultivo necesita mayor aportación de agua. Para facilitar el desarrollo de los tubérculos es necesario levantar el surco y evitar la compactación; se deben realizar de dos a tres escardas antes de que el follaje cubra el surco, para no maltratar las plantas. Esta práctica también impide el desarrollo de malas hierbas. El control de las malezas también se puede hacer con productos químicos como Karmex, en dosis de 750 g/ha antes de la emergencia; en postemergencia se puede usar Sencor, en dosis de 300 a 400 g/ha (CAEVAMEX, 1981).

Las principales enfermedades que se tienen en este cultivo son: tizón tardío *Phitophthora Infestans* (mont) D.By; tizón temprano *Alternaria Solani* (E.P. y Martin) Jones y Grout; marchitez por *fusarium Fusarium spp.* y *rhizoctonia Rhizoctonia solani Kuehn*; la pierna negra *Erwinia caratouora var. Caratouora* y var. *Antroséptica* Jones, Holland; la vaquita *Pseudomonas solanacearum*, E.F. Smith; la punta morada causada por organismos de tipo micoplasma; y el mosaico y algunas deformaciones ocasionadas por virus.

Además de las enfermedades mencionadas, el cultivo también es dañado por otros patógenos, como son el nemátodo dorado *Globodera rostochiensis* y el nemátodo de nudo *Meloidogyne spp.*

Para facilitar la cosecha, el follaje se debe eliminar cuando muestre un color amarillo limón; ésto se hace a mano, mecánicamente o con defoliantes. Cuando el cultivo es para la producción de semilla, es conveniente usar desecantes como Reglone (Discuat) o Gramoxone (Transquat), a razón de 5 lt/ha aplicados en las mañanas, en ausencia de lluvia y vientos.

Cuando la producción de papa es para consumo, se puede usar defoliantes si la mano de obra es escasa, pero también puede hacerse a mano o mecánicamente. En cualquiera de los casos, la cosecha se debe hacer cuando el suelo no esté muy mojado y cuando los tubérculos no se pelen al tallarlos con las yemas de los dedos; esto ocurre aproximadamente a las dos o tres semanas después de que se seca o elimina el follaje, permitiendo que amacise. Si la papa es para semilla se debe almacenar en un lugar ventilado, fresco y con luz; si es para consumo, entonces debe almacenarse en un lugar ventilado fresco y oscuro para que los tubérculos no verdeen.

La comercialización del producto inicia entre los productores y los llamados "intermediarios", quienes trasladan la papa hacia los principales mercados nacionales (Central de Abastos en la Ciudad de México, Tampico, Guadalajara y Monterrey).

La producción por hectárea en la Vega es de 20 ton y el costo total del proceso de producción es de \$15,000.00/ha. Estos datos varían dependiendo de muchos factores como es la calidad de la semilla y de los suelos, la fecha de siembra y labores culturales, etc. El precio de venta es de \$2,000.00/ton, el cual va a depender principalmente de la calidad del producto y de la oferta y demanda que exista en el mercado. Estos datos se obtuvieron en la zona de estudio durante el ciclo otoño-invierno del año agrícola 1995-1996.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología que a continuación se propone es el primer paso a realizar a nivel gabinete cuando se quiere introducir o establecer un cultivo sin la necesidad de llevarlo al campo; es posible de efectuarlo en cualquier sitio y para cualquier cultivo, haciendo énfasis en la necesidad de que los demás factores del medio deben de encontrarse en condiciones óptimas como son, por ejemplo, el suelo, el manejo de plagas y enfermedades y las características genéticas de las plantas, entre otras, para que sea factible que los resultados se cumplan.



### 3.1 Descripción general del área de estudio

#### 3.1.1 Localización

El estado de Hidalgo limita al norte con el estado de San Luis Potosí, al noroeste y este con Veracruz, al este y sureste con Puebla, al sur con Tlaxcala y Estado de México y al oeste con Querétaro, tal como se muestra en la figura 1. En el Anexo I se presentan los nombres de los municipios que corresponden a cada clave.

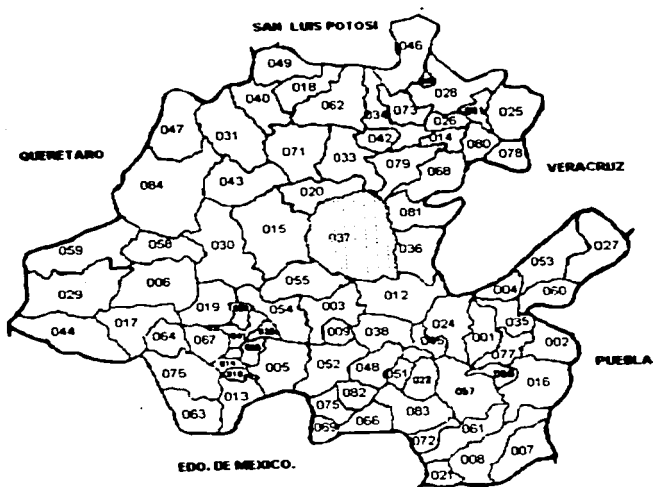


Figura 1.- División municipal, 1990.

La Vega de Metztlán forma parte del municipio del mismo nombre; inicia en el punto denominado Venados, con una latitud de 20°28' y longitud norte de 98°42'; y como término, La Laguna de Metztlán, con 20°42' de longitud oeste a 1,264 msnm (Cantú, 1953). Se encuentra en la parte central del estado, a 60 km al norte de Pachuca. El municipio se encuentra limitado al norte con los municipios de Molango, Eloxochitlán y Xochicatlán, al sur por los municipios de Atotonilco el Grande, Actopan y Santiago de Anaya, al este por los municipios de San Agustín Metzquitlán, Zacualtipán de Angeles y Atotonilco el Grande, y al oeste con Santiago de Anaya, Cardonal y Eloxochitlán. Metztlán representa el 4.62% de la superficie del estado, es decir, 961.56 km<sup>2</sup>, mientras que la Vega de Metztlán tiene una superficie de 11,000 has aproximadamente, de acuerdo con INEGI (1980). Su máxima longitud es de 32.5 Km; su ancho es variable, ya que va de los 300 a 400 m en su parte más angosta, hasta unos 3.5 a 4 km en su mayor anchura, frente al pueblo de San Cristóbal.

Por sus características fisiográficas peculiares, y muy especialmente por la naturaleza de los límites que la separan de las zonas vecinas, la Vega de Metztlán viene a constituir una bien definida comarca geográfica que, a su vez, forma parte de una amplia región natural: la altiplanicie meridional limitada al sur por el Eje Volcánico Transversal, al este por la Sierra Madre Occidental y al norte por la línea parteaguas que corresponde a los sistemas pluviales Moctezuma-Pánuco y Lerma-Santiago. Esta zona es el camino natural que une la porción alta y fría del altiplano con la región caliente y húmeda de la huasteca; por esta vía natural se efectuaron las invasiones, las emigraciones y el comercio.

La principal población situada en la Vega es la Villa de Metztlán, cabecera del municipio del mismo nombre, situada a 20°35' de latitud norte y a los 98°46' de longitud oeste, a una altitud de 1,353 msnm (INEGI, 1994).

### **3.1.2 Morfología y geología**

Según Rocha (1973), la Vega de Metztitlán es resultado de una serie de acontecimientos geológicos originados por el fracturamiento y la erosión vertical de sedimentos cretácicos, dando origen a una profunda barranca y a los arroyos secundarios laterales en ambas márgenes que la ampliaron posteriormente. La presencia de una serie de eminencias montañosas, mostrando cortes verticales sin que aparezcan al pie de los mismos materiales de derrumbe, hace pensar en fuertes movimientos que ocasionaron el desgajamiento de los cerros y, en el lugar denominado "El Tajo", el deslizamiento fue de tal magnitud sobre el cause del antiguo río que ahora forman una gran represa natural: la laguna de Metztitlán. En el transcurso de los tiempos, la altura de la presa fue bajando y con ello la curva de embalse, por lo que hoy se observan grandes inundaciones hasta un poco aguas arriba del poblado de San Cristóbal. La permeabilidad que existe, originando manantiales aguas abajo, y las obras de irrigación actuales son factores que establecen una laguna de área variable sin control en el nivel lacustre, ya que, al efectuarse grandes precipitaciones, se provocan grandes inundaciones en las áreas de cultivo.

### **3.1.3 Hidrología**

La cuenca del Río Grande, o de Metztitlán, forma parte de la cuenca del río Pánuco y tiene una longitud de 110 km y una anchura media de 26 m. El río nace en los montes de Ahuaztepec, en los límites con el estado de Puebla, cruzando los municipios de Tulancingo, Acatlán y Metepec. El desnivel existente de la Vega no es de mucha consideración, aunque sí suficiente para imprimir cierta velocidad al río que, no obstante, forma meandros y deposita gran cantidad de sustancias de arrastre a lo largo de su trayecto. Hay tramos en que corre casi en la superficie, como sucede frente a la población de Metztitlán. Las tierras de cultivo son muy húmedas debido a que el nivel freático está a corta distancia de la superficie.

En la actualidad, las inundaciones se provocan en virtud de la falta de control para regular el nivel de la laguna, debido a que es necesario manejar enormes volúmenes de agua cuando se verifican los ciclones, los cuales no pueden desaguar debido a la insuficiencia de obras a lo inadecuado de las mismas.

Para el control de las aguas en el sistema hidrológico de Metztlán, se han proyectado vasos reguladores en la cuenca alta. Actualmente, el riego se hace por medio de presas de derivación y por obras hidráulicas de mampostería, aprovechando la abundancia de piedra de buena calidad en la región.

### **3.1.4 Clima**

De acuerdo con la carta de climas del INEGI (1994), el municipio de Metztlán cuenta con varios tipos de climas, siendo el de mayor presencia el Bsh, el cual se define como seco, semicálido y cubre el 50% de la superficie total (figura 2); y en segundo lugar el Bsk, que es un clima semiseco templado, con el 15% de la superficie. La temperatura promedio anual es de 20.3°C, los valores máximos se presentan en el mes de mayo y estos oscilan alrededor de los 23.4°C. En cuanto a los valores más bajos, se obtienen en diciembre y enero, siendo de 16.9 y 16.3°C, respectivamente. La precipitación total es de 471 mm. Esta información se obtuvo de la Estación Metztlán del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

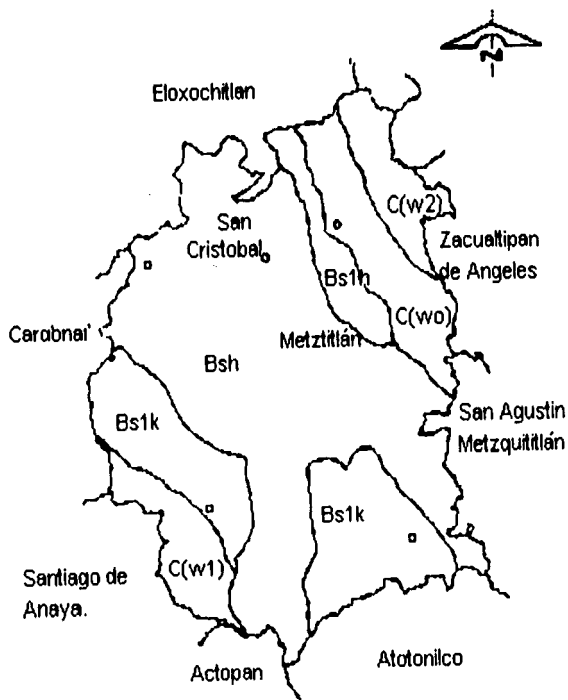


Figura 2.- Climas. Fuente: INEGI, 1994.

### **3.1.5 Edafología y vegetación**

El derrumbe de la gran mole montañosa que ocasionó el embalse del cuerpo lacustre permitió el azolvamiento del cause, dando lugar a las formaciones que originaron los suelos de la región. La laguna está sobre terrenos calcáreos, lo que da lugar a grandes filtraciones o resumideros naturales. Los suelos de la Vega de Metztlán son migajones en su mayor parte, predominando el migajón arcilloso. Se encuentran algunas variaciones, principalmente en la región que se localiza al noroeste del pueblo de Metztlán, donde existen suelos con algunas diferencias, como por ejemplo el migajón arcilloso, que se localiza a todo lo largo del Río de Metztlán, pero en una gran zona alrededor del pueblo de San Cristóbal se encuentran suelos arenosos y hacia el norte del brazo del río se tienen suelos con un alto porcentaje de arcilla. Por otra parte, hacia el sureste del pueblo de la Paila y la confluencia de los ríos de Metztlán y Metzquitlán, el suelo es migajón limoso. Por su textura, los suelos de la Vega se clasifican en: migajón-arenoso (37%), migajón limoso (33%) y suelos francos (30%).

En las zonas antes mencionadas es donde se encuentran las diferencias de suelo más marcadas de la Vega, y aún así se tiene una gran fertilidad que contrasta con la vegetación incipiente y raquítica que se localiza en las laderas donde predominan las yerbas, algunos matorrales, espinas de diferentes familias y una gran variedad de cactáceas, incluyendo a los llamados "viejitos", especie originaria de esta zona y que está en peligro de extinción.

### **3.2 Selección de la estación meteorológica**

La estación climatológica que se utilizó en el presente estudio fue la de Metztlán, con clave 13-077, perteneciente al SMN, la cual se encuentra ubicada de acuerdo con las siguientes coordenadas: Latitud Norte de 20°36', Longitud Oeste de 98°46", a una altura de 1,353 m sobre el nivel del mar. Se escogió esta estación porque se encuentra ubicada dentro de la zona de estudio y por ser la que tenía información en forma más reciente (los últimos 11 años). Se

pretendía utilizar las Normales Climatológicas que edita el SMN, sin embargo, se encontró el inconveniente de la falta de registros para esta estación, así como el rezago que se tiene en dicha información. Es importante destacar que, para este tipo de estudios, es conveniente analizar más de 20 años de información; sin embargo, esto no fue posible por las razones anteriormente expuestas.

### ***3.3 Obtención de la información climatológica***

Para obtener los índices agroclimáticos, se utilizaron datos de temperatura promedio mensual máxima, mínima y media, precipitación y evaporación; estos se promediaron a nivel mensual en un lapso de 11 años (1974-1985) y se concentran en el anexo II. En la figura 3 se grafican las temperaturas mínima, media y máxima.

### ***3.4 Transformación de los elementos climáticos a índices agroclimáticos***

#### ***3.4.1 Unidades calor***

Los valores de temperatura se han manejado, en general, en forma de promedios, ya sean anuales o mensuales; sin embargo, para fines agrícolas, esto no refleja la variación que se presenta a través del año o durante el ciclo de vida de los cultivos. Para que estos datos tengan un significado más real sobre el desarrollo de los cultivos, se deben de expresar en términos de "unidades calor". El método que se utilizó para obtenerlas fue el "residual", con una temperatura base de 6.5°C debido a que Romo y Arteaga (1989), así como Ruiz (1987) plantean los valores de 6 y 7°C, por lo que se optó por el valor medio. La fórmula que se empleó fue la siguiente:

$$UC = \text{temperatura media diaria} - \text{temperatura base}$$

Cabe hacer la aclaración que estos cálculos se hicieron en forma diaria; esto fue posible gracias al avance de los nuevos programas que existen en el área de la agroclimatología. En este caso se utilizó

Estación Metziltlián Edo. Hidalgo. Lat. 20-36, Long. 98-46, 1353msnm.

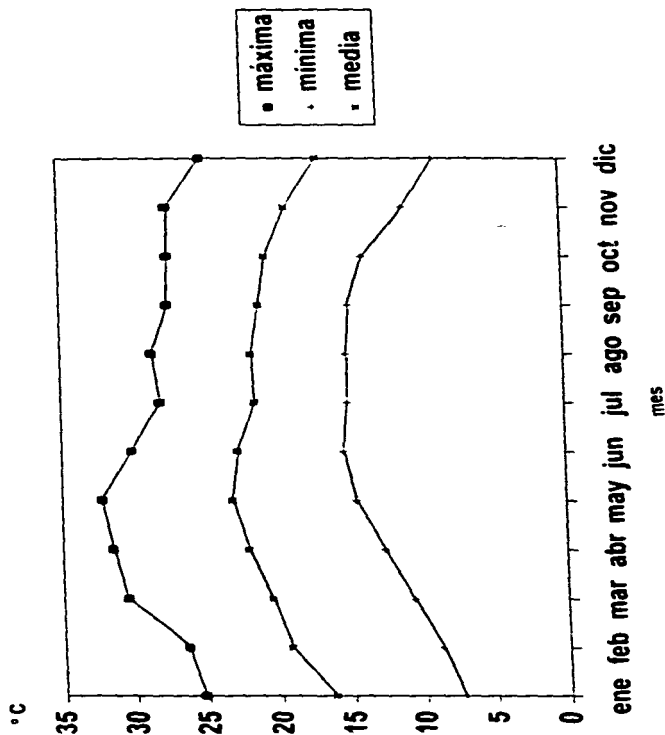


Figura 3.- Temperatura mínima, media y máxima. Fuente: SMN.



el programa Agroclim escrito por Lorenzo A. Aceves Navarro, el cual genera estimaciones diarias de temperatura, duración del día, precipitación y evapotranspiración potencial (ETP) acumulada, todo a partir de resúmenes mensuales. El programa también genera valores diarios de índices tales como grados días de desarrollo (GDD) o unidades calor (UC), así como diferencias entre la precipitación y la ETP.

Una mejor idea del valor agrometeorológico de la suma de temperaturas para una región puede obtenerse por comparación de ésta con la suma de temperatura que requiere algún cultivo agrícola. Arteaga (1985) indica que, en el caso de la papa, ésta requiere de 2,400 a 3,200 sumas de temperaturas activas durante todo el ciclo del cultivo, resaltando que el valor para un cultivo dado varía dentro de ciertos intervalos según las demás condiciones ambientales y edáficas, igual que con las diferentes variedades. Se tomó en cuenta las temperaturas máximas y mínimas para ubicar el cultivo en aquella época en la que no le fueran adversas.

### **3.4.2 Precipitación**

Se determinó la precipitación media mensual, la cual se encuentra concentrada en el anexo II. Una manera de considerar al elemento precipitación es analizarlo en forma probabilística, sin embargo, se tiene el inconveniente de la cantidad de datos que se requiere para su obtención y, asimismo, se necesita de cuando menos 20 años de información en forma continua.

### **3.4.3 Evapotranspiración potencial (ETP)**

Se obtuvo a través del método Tanque tipo A, que es un método indirecto que correlaciona la evapotranspiración en función de lecturas de evaporímetros. Para obtener este índice agroclimático, primeramente se obtuvieron los promedios mensuales de la evaporación de la estación Metztlán, y posteriormente se ajustó con el coeficiente 0.75. Dicho coeficiente varía y depende de factores como son el tamaño, la forma, el color y el estado de conservación del

tanque, así como su ubicación y el medio que lo rodea. Es factible utilizar este método porque se ha observado, según Chávez, citado por Aguilera y Martínez (1980), que existe una estrecha probabilidad entre la evaporación medida, por ejemplo, en un evaporímetro estándar como el que se observa en la figura 4 y la evaporación de un cultivo bien provisto de agua.

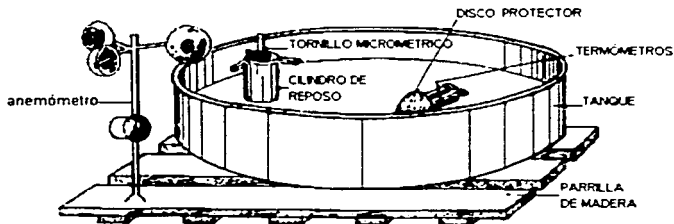


Figura 4.- Equipo para la medición de la evaporación.  
Fuente: Gómez y Arteaga (1987).

### 3.4.4 Estación de crecimiento

La estación de crecimiento se puede definir como el período de tiempo durante el año en el que existe disponibilidad de agua y de temperaturas favorables para el desarrollo de los cultivos. Para favorecer el desarrollo de una especie vegetal en una localidad específica, se deben cumplir dos condiciones esenciales:

a) La existencia de un intervalo suficientemente amplio para que la planta pueda completar su desarrollo desde el nacimiento o el brote, hasta la plena madurez de los frutos y semillas.

b) Que, durante dicho intervalo, las condiciones atmosféricas adversas no lleguen a alcanzar una intensidad tal que pueda disminuir el rendimiento más allá de los límites convenientes.

La estación de crecimiento está determinada por elementos ambientales como la humedad del suelo y del aire, la precipitación pluvial, las heladas, el fotoperíodo, el viento, el granizo y otros, llegando a limitar el rendimiento potencial del cultivo.

#### ***3.4.4.1 Estación de crecimiento por disponibilidad de humedad***

Según la FAO (1981), la determinación de la estación de crecimiento se basa en un modelo sencillo de balance hídrico en el que se comparan las precipitaciones con la evapotranspiración potencial.

##### ***3.4.4.1.1 Componentes de la estación de crecimiento***

Los componentes de la estación de crecimiento son los siguientes:

a) Inicio del período del crecimiento. Se da con el establecimiento de la época de lluvias y es el momento en el cual las precipitaciones son iguales o superiores a la mitad de la evapotranspiración potencial ( $pp = 0.5$  ETP), siendo las lluvias suficientes para satisfacer las exigencias hídricas de los cultivos en su fase inicial.

b) Inicio del período húmedo. Tiene su inicio cuando las precipitaciones son superiores a la evapotranspiración potencial.

Este período es incluido dentro de un período normal de crecimiento. Durante este lapso, no solo es posible satisfacer plenamente la demanda de evapotranspiración de las plantas con su

parte desarrollada completamente o al máximo, sino además, reponer el déficit de humedad del perfil del suelo.

c) Final del período húmedo. Se considera como el momento, después del período húmedo, en el que la precipitación es igual al 0.5 de la ETP.

d) Fin del período de crecimiento. Se da cuando el suelo pierde la humedad almacenada durante el período de lluvias. 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 las lluvias y, en mayor o menor grado, los cultivos maduran a menudo aprovechando las reservas de humedad acumuladas en el suelo.

#### *3.4.4.1.2 Tipos de estación de crecimiento*

Conforme a lo anterior, y con base en la precipitación pluvial, se tiene una clasificación de cuatro tipos de estación de crecimiento:

a) Estación de crecimiento normal. Es en la que se presentan las cuatro etapas. Es característica de las regiones templadas donde se practica la agricultura de temporal.

b) Estación de crecimiento intermedia. Se observa donde la precipitación pluvial es igual al 0.5 de la ETP; no presenta un período húmedo. Aquí, la estación de crecimiento inicia cuando se establece el período de lluvias y finaliza cuando el período de lluvias termina. No existe almacenamiento de agua en el suelo. Se observa en las regiones semiáridas del país.

c) Estación de crecimiento húmeda. Es donde la precipitación pluvial media mensual siempre es mayor a la ETP media mensual, por lo que se considera un período de crecimiento de 365 días. Es característica de las regiones del trópico húmedo.

d) Estación de crecimiento seca. Es donde la precipitación pluvial siempre es menor a 0.5 de la ETP, dando como resul-

tado que no exista humedad para el desarrollo de un cultivo, considerándose un período de 0 días. Es característico de las zonas áridas del país.

#### **3.4.4.2 Estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura (período libre de heladas)**

La estación de crecimiento por disponibilidad de temperatura es el período, en días, durante el cual nuestro cultivo se desarrolla sin ser afectado por bajas temperaturas, comúnmente llamadas "heladas". También se le denomina "período libre de heladas".

El método que se utilizó para obtener este período fue el de Arteaga (1988) a una probabilidad del 20%; es decir, que de cada 5 años, cuando menos en uno se acepta la presencia de helada. Este método requiere relativamente de pocos parámetros para su obtención, como es la temperatura promedio de mínima a nivel mensual; se considera que, en aquellos meses en los cuales ocurre una temperatura mínima menor de 7°C, es factible que ocurra, cuando menos, una helada.

#### **3.4.5 Fotoperíodo**

Se obtuvo el fotoperíodo a nivel mensual del lugar de estudio, de acuerdo con la tabla citada por Torres (1995), para lo cual únicamente se requiere conocer la latitud; además, con el programa Agroclim se obtienen estos valores a nivel diario (anexo III).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **4.1 Fotoperíodo**

La duración del día que se tiene para la zona de estudio es de corto (< 12 horas) a neutro (12-14 horas); en el anexo III se observa que el fotoperíodo corto se presenta de enero a marzo y de octubre a diciembre, tal como se puede observar en la figura 5. De acuerdo con la revisión de literatura, la papa requiere días cortos para que se favorezca la formación temprana del tubérculo, aunque esto implica un rendimiento reducido porque los tallos y las hojas no están bien desarrollados para la asimilación adecuada. En el resto del año (de marzo a agosto) se tiene una duración del día mayor de 12 horas, siendo fotoperíodo largo, provocando un retraso en la formación de tubérculos y en la cosecha pero produciendo tubérculos más grandes, por lo que se propone que la siembra se realice alrededor del 1o. de

Estación Metztlilán Edo. Hidalgo. Lat. 20-36. Long. 98-46. 1353msnm.

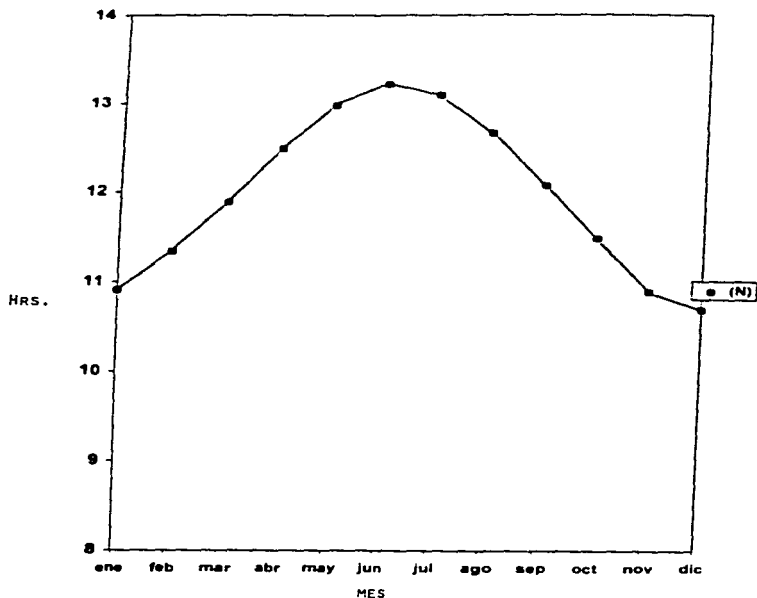


Figura 5.- Fotoperíodo (N) medio en horas para cada mes.  
Fuente: Torres (1995).

octubre. De acuerdo a la duración del día, se deberá prever las variedades que cumplan con sus requerimientos de horas/luz.

## **4.2 Temperatura y unidades calor**

El requerimiento de temperatura promedio diario para el período de crecimiento de la papa, según la FAO (1978) y Doorenbos (1979), citados por Ortiz (1984), tiene que ser alrededor de 20°C, sin llegar a ser inferior a los 10°C de acuerdo con la información generada por el programa Agroclim (ver Anexo IV), en el cual se indica que las temperaturas promedio diarias para Metztlán favorables para la siembra y período de crecimiento son del 1o. de octubre al 12 de marzo. Asimismo, en el Anexo V se observa que las temperaturas promedio máximas diarias para este tiempo no son limitantes para el desarrollo del cultivo, ya que estos valores no sobrepasan los 30°C. Cabe destacar que únicamente se están considerando los datos de una sola estación, por lo que no se puede hacer generalidades para toda la Vega y mucho menos para el Estado.

En el cuadro 1 se presentan las etapas fenológicas y las posibles fechas en que ocurrirían si la papa se siembra el día juliano 274 (ver anexo VIII). Esta fecha se consideró porque la disponibilidad de luz es favorable para el cultivo a partir de esta; se indica además la acumulación de unidades calor para cada etapa fenológica (ver anexo VI) y las posibles fechas de ocurrencia. Cabe recordar que es factible que esto se cumpla, como ya se ha mencionado, siempre y cuando los demás factores ambientales se presenten en condiciones óptimas para el cultivo.

Los valores de unidades calor que se obtuvieron en este caso son menores a los reportados por Arteaga (1985), sin embargo, no es posible aseverar que estos no sean los óptimos, puesto que este autor no indica bajo qué condiciones se obtuvieron los valores que él señala, ni las variedades que los requieren.



**Cuadro 1.- Etapas fenológicas, día juliano y unidades calor (UC) acumuladas para el cultivo de la papa en Metztitlán, Hgo.**

<b>Etapas fenológicas</b>	<b>Día juliano</b>	<b>U.C.</b>
- Germinación	274-293	272
- Desarrollo vegetativo	293-324	405
- Desarrollo reproductivo	324-364	433
- Madurez-tuberización	364-29	298
<b>T O T A L:</b>	<b>120</b>	<b>1,408</b>

La siembra se debe realizar los primeros días de octubre y, para facilitar el uso de maquinaria, es conveniente que la preparación del terreno se realice en septiembre, dependiendo del estado del mismo.

En cuanto a la temperatura, el cultivo de papa cumple con sus requerimientos por lo que esta no es una limitante para su establecimiento.

### **4.3 Precipitación**

El mes de septiembre es el que presenta una mayor disponibilidad de agua de lluvia, como puede observarse en la figura 6, la cual es necesaria para el período de emergencia del cultivo; en cuanto a la cantidad total que se tiene durante los meses de su establecimiento, no es suficiente para cubrir sus requerimientos. Según Ortiz (1987), estos deben de ser de 500 a 700 mm anuales y la cantidad total anual es incluso inferior a estos valores (471 mm), tal como se puede apreciar en el anexo VI, por lo que el riego es indispensable y este debe aplicarse en las etapas en donde el cultivo requiere mayor agua, como es en la floración y en formación de tubérculos.

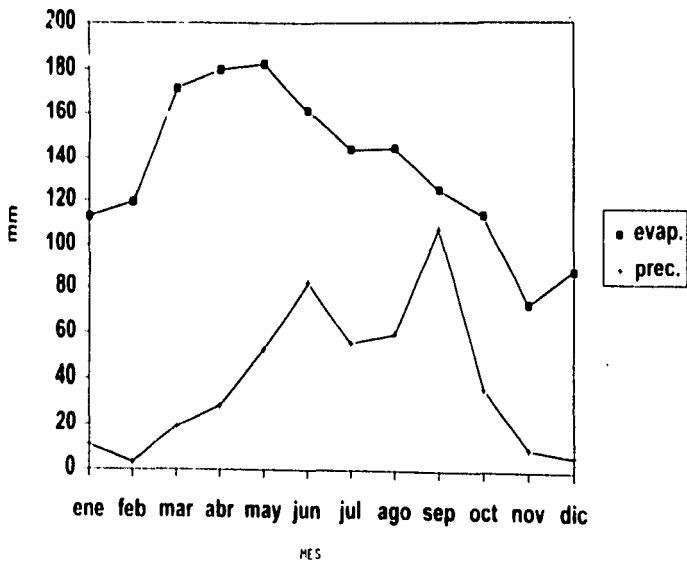
#### **4.4 Evaporación y evapotranspiración potencial (ETP).**

Los datos promedio mensual de la evaporación (mm) se graficaron, como puede apreciarse en la figura 6, contra la precipitación (mm). Se observa que ésta es menor durante todo el año, considerándose estos como "de sequía" a pesar de que septiembre, como se menciona en el punto anterior, es el mes que presenta los mayores volúmenes de agua; por tal motivo se procedió a transformar estos valores en ETP.

Cuando únicamente se cuenta con el agua de temporal, se pueden presentar tres casos:

- a) Cuando la precipitación supera a la ETP. En estos meses hay superávit de agua, por lo que es de esperarse que la planta no padezca en lo absoluto de sequía. El sobrante de agua quedará bien retenido en el suelo si este tiene suficiente capacidad para ello.
- b) Cuando la precipitación es inferior a la ETP. Son meses de sequía; si el suelo no tiene en ese momento agua retenida en cantidad suficiente, existirá una sequía fisiológica y las plantas habrán de reducir sus procesos bióticos con retraso o paralización de su crecimiento y desarrollo.
- c) Cuando la precipitación es igual a la ETP. En estos meses, la planta no padece sequía; no hay exceso ni déficit de agua.

En el caso de nuestra estación, podemos observar que el punto dos es el que más se acerca a nuestras condiciones, por lo que nuevamente señalamos que el riego es importante para este cultivo.



### **4.5 Estación de crecimiento por humedad**

Se obtuvo una estación de crecimiento que puede considerarse de tipo normal porque existe un período húmedo; sin embargo, este es tan breve que también pudiera ser del tipo intermedio (figura 7), y si la consideramos así, el comienzo del período de crecimiento iniciaría aproximadamente el día 145 y finalizaría el día 285. Pero también es importante considerar que, aún cuando se pueda pensar que este es el lapso de tiempo en el cual debería estar nuestro cultivo, esto no es posible por las condiciones de luminosidad desfavorables y altas temperaturas que se presentan en esta latitud, razón por la cual es más conveniente situar al cultivo fuera de la estación de crecimiento con el inconveniente de que la precipitación ya no es la favorable para el cultivo.

### **4.6 Estación de crecimiento por temperatura**

Por medio del método de Arteaga y gracias a la información de temperaturas mínimas promedio, se pudo determinar que es muy poco probable que se presenten heladas que afecten al cultivo, ya que las temperaturas mínimas promedio no son inferiores a los  $7.0^{\circ}\text{C}$  por lo que se tiene un período libre de heladas durante todo el año (figura 8).

De acuerdo a la estación de crecimiento, al período libre de heladas y a la disponibilidad de riego, se pueden establecer una gran variedad de cultivos durante los dos ciclos productivos (P-V y O-I), como pueden ser: maíz, frijol, calabaza, chile, tomate, chícharo, etc.

Estación Metztlilán Edo Hidalgo Lat. 20-36, Long. 98-46, 1353msnm

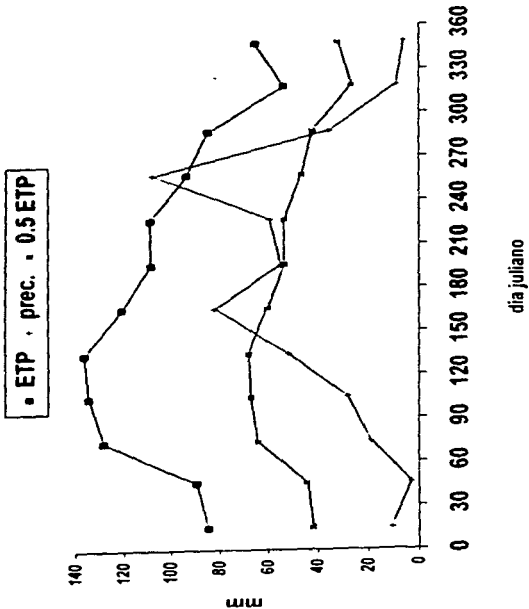


Figura 7.- Estación de crecimiento (FAO).

Estación Metztlán Edo. Hidalgo. Lat. 20-36, Long. 98-46, 1353msnm.

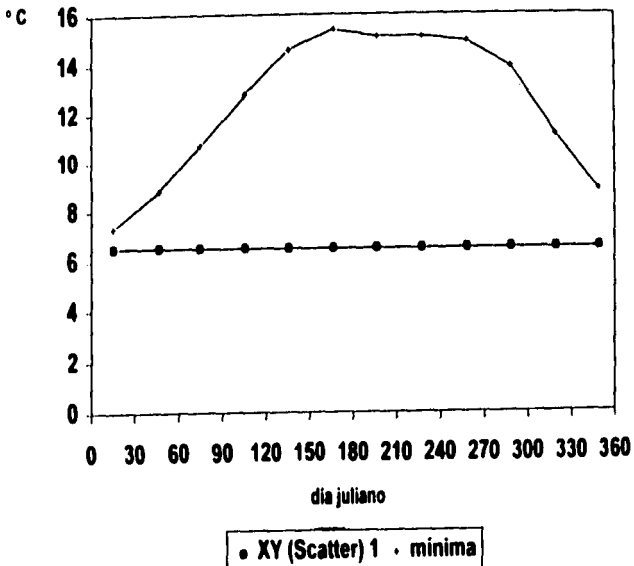


Figura 8.- Período libre de heladas por el método de Arzaga (1988).

## 5. CONCLUSIONES

1. Debido a que la papa necesita una continua provisión de agua durante la etapa de crecimiento y la precipitación es una limitante para su establecimiento, es indispensable la aplicación de riego, siendo esto viable en vista de que se cuenta con la infraestructura mínima necesaria gracias al Distrito de Riego Número 8 de Metztlán.
2. Las temperaturas máximas también son restrictivas para el cultivo a partir de los 30°C, por lo que se debe escoger una fecha de siembra que permita evadirlas durante todo el ciclo del cultivo.
3. El fotoperíodo que se presenta en la zona también es una limitante para la elección de la fecha de siembra, por lo que, si

se desea producir en otra fecha, se deberán buscar variedades que no sean sensibles al fotoperíodo. La fecha de siembra que se propone es el 10. de octubre porque a partir de ésta el fotoperíodo es corto (menor de 12 horas).

4. Se determinó una estación de crecimiento de tipo intermedio, dado que la precipitación pluvial es igual al 0.5 de la ETP. Cabe aclarar que el período de lluvias que sobrepasa al 0.5 de la ETP es muy corto y poco significativo, presentándose éste en el mes de septiembre.

5. Se destaca el factor clima como parte fundamental de este trabajo, pero es importante recalcar que para que cada especie pueda tener un desarrollo óptimo necesita paralelamente de condiciones edáficas específicas.

6. Las variedades que se proponen son la Alpha, la Greta, la Rosita y la San José, que son las que mejor se adaptan a las condiciones de fotoperíodo, precipitación y temperatura existentes en la zona de estudio y son resistentes al tizón tardío, excluyendo a la variedad Alpha que casi no resiste al ataque de esta enfermedad que es la que más se presenta. Otras variedades que también se pueden adaptar son la Tollocan, la Atzimba, la Murca, la Patrones, la Yema y la López.



## **6. ANEXOS**

**ANEXO I. DIVISION MUNICIPAL. 1990  
EDO. DE HIDALGO**

<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CLAVE</b>	<b>NOMBRE</b>
001	ACATLAN	020	ELOXOCHITLAN
002	ACAXOCHITLAN	021	EMILIANO ZAPATA
003	ACTOPAN	022	EPAZOYUCAN
004	AGUA BLANCA DE ITURBIDE	023	FRANCISCO I. MADERO
005	AJACUBA	024	HUASCA DE OCAMPO
006	ALFAJAYUCAN	025	HUAUTLA
007	ALMOLOYA	026	HUAZALINGO
008	APAN	027	HUEHUETLA
009	ARENAL EL	028	HUEJUTLA DE REYES
010	ATITALACUIA	029	HUICHAPAN
011	ATLAPEXCO	030	IXMIQUILPAN
012	ATOTONILCO EL GRANDE	031	JACALA DE LEDEZMA
013	ATOTONILCO DE TULAO	032	JALTOCAN
014	CALNALI	033	JUAREZ DE HIDALGO
015	CARDONAL	034	LOLOTLA
016	CUAUTEPEC DE HINOJOSA	035	METEPEC
017	CHÁPATONGO	036	SAN AGUSTIN METZQUITITLAN
018	CHAPULHUACAN	037	METZTITLAN
019	CHILCUAUTLA	038	MINERAL DEL CHICO

El orden de los municipios corresponde a su clave, el cual no coincide estrictamente con el orden alfabético.

Fuente: INEGI 1994.

Continuación...

CLAVE	NOMBRE	CLAVE	NOMBRE
039	MINERAL DEL MONTE	062	TEPEHUACAN DE GUERRERO
040	MISION LA	063	TEPEJI DEL RIO DE OCAMPO
041	MIXQUIAHUALA DE JUAREZ	064	TEPETITLAN
042	MOLANGO DE ESCAMILLA	065	TETEPANGO
043	NICOLAS FLORES	066	VILLA DE TEZONTEPEC
044	NOPALA DE VILLAGRAN	067	TEZONTEPEC DE ALDAMA
045	OMITLAN DE JUAREZ	068	TIANGUISTENGO
046	SAN FELIPE ORIZATLAN	069	TIZAYUCA
047	PACULA	070	TLAHUELILPAN
048	PACHUCA DE SOTO	071	TLAHUILTEPA
049	PISAFLORES	072	TLANALAPA
050	PROGRESO DE OBREGON	073	TLANCHINOL
051	MINERAL DE LA REFORMA	074	TLAXCOAPAN
052	SAN AGUSTIN TLAXIACA	075	TOLCAYUCA
053	SAN BARTOLO TUTOTEPEC	076	TULA DE ALLENDE
054	SAN SALVADOR	077	TULANCINGO DE BRAVO
055	SANTIAGO DE ANAYA	078	XOCHIATIPAN
056	S. TULANTEPEC DE LUGO	079	XOCHICOATLAN
057	SINGUILUCAN	080	YAHUALICA
058	TASQUILLO	081	ZACUALTIPAN DE ANGELES
059	TECOZAUTLA	082	ZAPOTLAN DE JUAREZ
060	TENANGO DE DORIA	083	ZEMPOALA
061	TEPEAPULCO	084	ZIMAPAN

## ANEXO II

### DATOS CLIMATOLÓGICOS DE LA ESTACIÓN METZTITLÁN 13-077 LAT. 20°36' N. LONG. 98°46' W. 1353 msnm

Parámetros	Años	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total
Temperaturas														
Promedio de máxima	11	25.3	26.4	30.5	31.5	32.2	30.1	28.1	28.6	27.5	27.4	27.4	25	340
Promedio de mínima	11	7.3	8.8	10.7	12.8	14.6	15.4	15.1	15.1	14.9	13.9	11.1	8.8	148.5
Media	11	16.3	17.6	20.6	22.15	23.4	22.75	21.6	21.85	21.2	20.65	19.25	16.9	244.27
Precipitación	11	10.8	3.1	19.1	28.4	52.3	82.2	55.4	59.8	107.7	36.3	9.42	6.5	471.02
Evaporación	11	113	119.4	171.5	179.8	182.3	161.2	144.2	144.8	125.2	113.8	73.1	87.5	1615.8

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

## ANEXO III

## DURACION DEL DIA PARA: METZTITLAN

UNIDADES: HORAS Y CENTESIMAS  
(MULTPLICAR LA FRACCION DECIMAL POR 60 PARA OBTENER MINUTOS)

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	11.0	11.3	11.8	12.4	13.0	13.4	13.5	13.2	12.7	12.1	11.5	11.1
2	11.0	11.4	11.8	12.5	13.0	13.4	13.5	13.2	12.6	12.1	11.5	11.1
3	11.0	11.4	11.9	12.5	13.0	13.4	13.5	13.1	12.6	12.0	11.4	11.1
4	11.0	11.4	11.9	12.5	13.0	13.4	13.5	13.1	12.6	12.0	11.4	11.1
5	11.0	11.4	11.9	12.5	13.1	13.4	13.5	13.1	12.6	12.0	11.4	11.1
6	11.0	11.4	11.9	12.5	13.1	13.4	13.5	13.1	12.5	12.0	11.4	11.0
7	11.0	11.4	11.9	12.5	13.1	13.4	13.4	13.1	12.5	12.0	11.4	11.0
8	11.1	11.4	12.0	12.6	13.1	13.5	13.4	13.1	12.5	11.9	11.4	11.0
9	11.1	11.5	12.0	12.6	13.1	13.5	13.4	13.1	12.5	11.9	11.4	11.0
10	11.1	11.5	12.0	12.6	13.1	13.5	13.4	13.0	12.5	11.9	11.4	11.0
11	11.1	11.5	12.0	12.6	13.2	13.5	13.4	13.0	12.5	11.9	11.4	11.0
12	11.1	11.5	12.0	12.7	13.2	13.5	13.4	13.0	12.4	11.8	11.3	11.0
13	11.1	11.5	12.1	12.7	13.2	13.5	13.4	13.0	12.4	11.8	11.3	11.0
14	11.1	11.6	12.1	12.7	13.2	13.5	13.4	13.0	12.4	11.8	11.3	11.0
15	11.1	11.6	12.1	12.7	13.2	13.5	13.4	12.9	12.4	11.8	11.3	11.0
16	11.1	11.6	12.1	12.7	13.2	13.5	13.4	12.9	12.3	11.8	11.3	11.0
17	11.1	11.6	12.1	12.7	13.2	13.5	13.4	12.9	12.3	11.8	11.3	11.0
18	12.2	11.6	12.2	12.8	13.3	13.5	13.4	12.9	12.3	11.7	11.2	11.0
19	11.2	11.6	12.2	12.8	13.3	13.5	13.3	12.9	12.3	11.7	11.2	11.0
20	11.2	11.7	12.2	12.8	13.3	13.5	13.3	12.9	12.3	11.7	11.2	11.0
21	11.2	11.7	12.2	12.8	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.7	11.2	11.0
22	11.2	11.7	12.2	12.8	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.7	11.2	11.0
23	11.2	11.7	12.3	12.9	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.7	11.2	11.0
24	11.2	11.7	12.3	12.9	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.6	11.2	11.0
25	11.2	11.8	12.3	12.9	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.6	11.2	11.0
26	11.3	11.8	12.3	12.9	13.3	13.5	13.3	12.8	12.2	11.6	11.2	11.0
27	11.3	11.8	12.3	12.9	13.3	13.5	13.2	12.7	12.1	11.6	11.1	11.0
28	11.3	11.8	12.4	12.9	13.4	13.5	13.2	12.7	12.1	11.5	11.1	11.0
29	11.3	***	12.4	13.0	13.4	13.5	13.2	12.7	12.1	11.5	11.1	11.0
30	11.3	***	12.4	13.0	13.4	13.5	13.2	12.7	12.1	11.5	11.1	11.0
31	11.3	***	12.4	13.0	13.4	13.5	13.2	12.7	***	11.5	***	11.0

LATITUD: 20 GRADOS, 36 MINUTOS

\*\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*\*

## ANEXO IV

## TEMPERATURAS PROMEDIO DIARIAS ESTIMADAS EN ( C ) PARA: METZTITLAN

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	16.4	16.9	18.9	21.6	23.1	23.0	22.2	21.5	21.5	21.2	19.8	17.8
2	16.4	16.9	19.0	21.7	23.1	23.0	22.1	21.5	21.5	21.1	19.8	17.8
3	16.4	17.0	19.1	21.7	23.1	23.0	22.1	21.5	21.5	21.1	19.7	17.7
4	16.4	17.0	19.2	21.8	23.2	23.0	22.1	21.5	21.5	21.1	19.6	17.6
5	16.3	17.1	19.3	21.9	23.2	22.9	22.0	21.5	21.5	21.1	19.6	17.6
6	16.3	17.2	19.4	21.9	23.2	22.9	22.0	21.5	21.5	21.0	19.5	17.5
7	16.3	17.2	12.4	22.0	23.2	22.9	22.0	21.5	21.5	21.0	19.5	17.5
8	16.3	17.3	19.5	22.1	23.2	22.9	22.0	21.5	21.5	21.0	19.4	17.4
9	16.3	17.3	19.6	22.1	23.2	22.8	21.9	21.5	21.5	20.9	19.3	17.3
10	16.3	17.4	19.7	22.2	23.2	22.8	21.9	21.5	21.5	20.9	19.3	17.3
11	16.3	17.5	19.8	22.3	23.2	22.8	21.9	21.5	21.4	20.9	19.2	17.2
12	16.3	17.5	19.9	22.3	23.2	22.7	21.9	21.5	21.4	20.8	19.1	17.2
13	16.3	17.6	20.0	22.4	23.2	22.7	21.8	21.5	21.4	20.8	19.1	17.1
14	16.3	17.7	20.1	22.4	23.2	22.7	21.8	21.5	21.4	20.7	19.0	17.1
15	16.3	17.8	20.2	22.5	23.2	22.6	21.8	21.5	21.4	20.7	18.9	17.0
16	16.4	17.8	20.3	22.5	23.2	22.6	21.8	21.5	21.4	20.7	18.8	17.0
17	16.4	17.9	20.3	22.6	23.2	22.6	21.8	21.5	21.4	20.6	18.8	16.9
18	16.4	18.0	20.4	22.6	23.2	22.6	21.7	21.5	21.4	20.6	18.7	16.9
19	16.4	18.1	20.5	22.7	23.2	22.5	21.7	21.5	21.4	20.5	18.6	16.8
20	16.4	18.1	20.6	22.7	23.2	22.5	21.7	21.5	21.4	20.5	18.6	16.8
21	16.5	18.2	20.7	22.8	23.2	22.5	21.7	21.5	21.4	20.4	18.5	16.7
22	16.5	18.3	20.8	22.8	23.2	22.4	21.7	21.5	21.3	20.4	18.4	16.7
23	16.5	18.4	20.9	22.9	23.2	22.4	21.7	21.5	21.3	20.3	18.4	16.7
24	16.5	18.5	21.0	22.9	23.2	22.4	21.6	21.5	21.3	20.3	18.3	16.6
25	16.6	18.6	21.0	22.9	23.2	22.3	21.6	21.5	21.3	20.2	18.2	16.6
26	16.6	18.6	21.1	23.0	23.1	22.3	21.6	21.5	21.3	20.2	18.2	16.6
27	16.7	18.7	21.2	23.0	23.1	22.3	21.6	21.5	21.3	20.1	18.1	16.5
28	16.7	18.8	21.3	23.0	23.1	22.2	21.6	21.5	21.2	20.1	18.0	16.5
29	16.7	***	21.4	23.0	23.1	22.2	21.6	21.5	21.2	20.0	18.0	16.5
30	16.8	***	21.4	23.1	23.1	22.2	21.6	21.5	21.2	19.9	17.9	16.4
31	16.8	***	21.5	***	23.1	***	21.6	21.5	***	19.9	***	16.4

R-CUADRADA - 98.85

\*\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*\*

## ANEXO V

## TEMPERATURAS PROMEDIO MAXIMAS DIARIAS ESTIMADAS EN ( C ) PARA: METZTITLAN 20 36

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	25.0	25.9	28.4	31.2	32.2	31.2	29.2	27.9	27.8	28.0	27.3	25.9
2	25.0	26.0	28.5	31.2	32.2	31.1	29.2	27.9	27.8	28.0	27.3	25.8
3	25.0	26.1	28.6	31.3	32.2	31.0	29.1	27.9	27.9	28.0	27.3	25.8
4	25.0	26.2	28.7	31.4	32.2	31.0	29.0	27.9	27.9	28.0	27.2	25.7
5	25.0	26.2	28.8	31.4	32.2	30.9	29.0	27.8	27.9	28.0	27.2	25.7
6	25.0	26.3	28.9	31.5	32.2	30.8	28.9	27.8	27.9	28.0	27.1	25.7
7	25.0	26.4	29.0	31.5	32.2	30.8	28.9	27.8	27.9	28.0	27.1	25.6
8	25.0	26.5	29.1	31.6	32.1	30.7	28.8	27.8	27.9	28.0	27.0	25.6
9	25.0	26.5	29.2	31.7	32.1	30.6	28.8	27.8	27.9	27.9	27.0	25.5
10	25.0	26.6	29.3	31.7	32.1	30.6	28.7	27.8	27.9	27.9	26.9	25.5
11	25.0	26.7	29.4	31.8	32.1	30.5	28.7	27.8	27.9	27.9	26.9	25.4
12	25.1	26.8	29.5	31.8	32.1	30.5	28.6	27.8	27.9	27.9	26.8	25.4
13	25.1	26.9	29.6	31.8	32.0	30.4	28.6	27.8	28.0	27.9	26.8	25.4
14	25.1	27.0	29.6	31.9	32.0	30.3	28.5	27.8	28.0	27.9	26.7	25.3
15	25.1	27.0	29.7	31.9	32.0	30.3	28.5	27.8	28.0	27.9	26.7	25.3
16	25.2	27.1	29.8	32.0	31.9	30.2	28.4	27.8	28.0	27.8	26.6	25.3
17	25.2	27.2	29.9	32.0	31.9	30.1	28.4	27.8	28.0	27.8	26.6	25.2
18	25.2	27.3	30.0	32.0	31.9	30.1	28.3	27.8	28.0	27.8	26.5	25.2
19	25.3	27.4	30.1	32.1	31.8	30.0	28.3	27.8	28.0	27.8	26.5	25.2
20	25.3	27.5	30.2	32.1	31.8	29.9	28.3	27.8	28.0	27.7	26.4	25.1
21	25.3	27.6	30.3	32.1	31.7	29.9	28.2	27.8	28.0	27.7	26.4	25.1
22	25.4	27.7	30.4	32.1	31.7	29.8	28.2	27.8	28.0	27.7	26.3	25.1
23	25.4	27.8	30.5	32.2	31.6	29.7	28.2	27.8	28.0	27.6	26.3	25.1
24	25.5	27.9	30.5	32.2	31.6	29.7	28.1	27.8	28.0	27.6	26.2	25.1
25	25.5	28.0	30.6	32.2	31.5	29.6	28.1	27.8	28.0	27.6	26.2	25.0
26	25.6	28.1	30.7	32.2	31.5	29.5	28.1	27.8	28.0	27.6	26.1	25.0
27	25.6	28.2	30.8	32.2	31.4	29.5	28.0	27.8	28.0	27.5	26.1	25.0
28	25.7	28.3	30.9	32.2	31.4	29.4	28.0	27.8	28.0	27.5	26.0	25.0
29	25.8	***	30.9	32.2	31.3	29.3	28.0	27.8	28.0	27.4	26.0	25.0
30	25.8	***	31.0	32.2	31.3	29.3	28.0	27.8	28.0	27.4	25.9	25.0
31	25.9	***	31.1	***	31.2	***	27.9	27.8	***	27.4	***	25.0

R-CUADRADA = 94.75

\*\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*\*

## ANEXO VI

## PRECIPITACION ACUMULADA DIARIAMENTE (MM) PARA: METZTITLAN

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	0	8	17	35	67	123	190	254	326	402	448	463
2	1	8	17	36	69	125	192	256	328	404	449	463
3	1	9	17	37	70	127	195	258	331	407	450	463
4	1	9	18	37	71	130	197	259	334	409	450	463
5	1	9	18	38	73	132	199	261	337	412	451	464
6	2	9	19	39	74	134	202	263	339	414	452	464
7	2	10	19	40	75	136	204	265	342	416	453	464
8	2	10	19	40	77	138	208	267	345	419	453	465
9	3	10	20	41	78	140	208	269	347	421	454	46
10	3	10	20	42	79	143	211	271	350	424	455	465
11	3	10	21	43	81	145	213	272	353	426	455	465
12	3	11	21	44	82	147	215	274	355	428	456	466
13	4	11	21	44	83	149	218	276	358	431	457	466
14	4	11	22	45	85	151	220	278	361	433	458	466
15	4	11	22	46	86	153	222	280	364	436	458	466
16	4	12	23	47	88	156	224	283	366	436	459	467
17	5	12	24	49	91	158	226	285	368	437	459	467
18	5	13	24	50	93	160	228	288	371	438	459	467
19	5	13	25	51	95	163	230	291	373	439	460	468
20	5	13	26	53	97	165	232	293	376	439	460	468
21	6	14	27	54	99	167	233	295	378	440	460	468
22	6	14	27	55	101	169	235	299	380	441	460	468
23	6	14	28	57	104	172	237	301	383	441	461	469
24	6	15	29	58	106	174	239	304	385	442	461	469
25	7	15	30	59	108	176	241	307	388	443	461	469
26	7	16	31	61	110	179	243	310	390	444	461	469
27	7	16	31	62	112	181	245	312	392	444	462	470
28	7	16	32	63	114	183	246	315	395	445	462	470
29	7	***	33	65	117	186	248	318	397	446	462	470
30	8	***	34	66	119	188	250	320	400	447	462	471
31	8	***	34	***	121	***	252	323	***	447	***	471

\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*



## ANEXO VII

GRADOS-DIA- (GDD) ACUMULADOS DIARIAMENTE (BASE 6.5 C) PARA: METZTITLAN

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	10	319	636	1065	1545	2062	2545	3019	3484	3930	4366	4735
2	20	329	649	1080	1562	2079	2561	3034	3499	3944	4379	4747
3	30	340	662	1095	1578	2095	2576	3049	3514	3959	4393	4758
4	39	350	674	1111	1595	2112	2592	3064	3528	3974	4406	4769
5	49	361	686	1126	1612	2128	2607	3079	3543	3988	4419	4780
6	59	372	700	1142	1628	2144	2623	3094	3558	4003	4432	4791
7	69	382	713	1157	1645	2161	2638	3109	3573	4017	4445	4802
8	79	393	726	1173	1662	2177	2654	3124	3588	4032	4458	4813
9	89	404	739	1188	1678	2194	2669	3139	3603	4046	4470	4824
10	98	415	752	1204	1695	2210	2685	3154	3618	4061	4483	4834
11	108	426	765	1220	1712	2226	2700	3169	3633	4075	4496	4845
12	118	437	779	1236	1729	2242	2716	3184	3648	4089	4508	4856
13	128	448	792	1251	1745	2259	2731	3199	3663	4104	4521	4866
14	138	459	806	1267	1762	2275	2746	3214	3678	4118	4534	4877
15	145	470	820	1283	1779	2291	2761	3229	3693	4132	4546	4887
16	157	482	833	1299	1796	2307	2777	3244	3708	4146	4558	4898
17	167	493	847	1315	1812	2323	2792	3259	3723	4160	4571	4908
18	177	505	861	1332	1829	2339	2807	3274	3738	4174	4538	4919
19	187	516	875	1348	1846	2355	2822	3289	3752	4188	4595	4939
20	197	528	889	1364	1863	2371	2838	3304	3767	4202	4607	4939
21	207	540	903	1380	1879	2387	2853	3319	3782	4216	4619	4950
22	217	551	918	1397	1896	2403	2868	3334	3797	4230	4631	4960
23	227	563	932	1413	1913	2419	2883	3349	3812	4244	4643	4970
24	237	575	947	1429	1929	2435	2898	3364	3827	4258	4655	4980
25	247	587	961	1446	1946	2451	2913	3379	3841	4272	4666	4990
26	257	599	976	1462	1963	2466	2929	3394	3856	4285	4678	5000
27	267	612	990	1479	1979	2482	2944	3409	3871	4299	4690	5010
28	278	624	1005	1495	1996	2498	2959	3424	3886	4312	4701	5020
29	288	***	1020	1512	2013	2514	2974	3439	3900	4326	4713	5030
30	298	***	1035	1528	2029	2529	2989	3454	3915	4339	4724	5040
31	308	***	1050	***	2046	***	3004	3469	***	4353	***	5050

R-CUADRADA = 98.85

\*\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*\*

## ANEXO VIII

CUADRO CON LOS DIAS DEL CALENDARIO (CALENDARIO JULIANO)

DIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343
10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	291	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	***	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	***	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	***	90	***	151	***	212	243	***	304	***	365

\*\*\*INTSORMIL-UNIVERSIDAD NEBRASKA-LINCOLN\*\*\*

## 7. BIBLIOGRAFÍA

*Aguilera, C. M. y Martínez E. R.* (1980). "Relaciones agua suelo planta atmósfera". UACH. Chapingo, México.

*Ampudia, F.J.M.* (1985). "La fenología y la agroclimatología óptimos en la producción agropecuaria y forestal de México", Memorias de la 1a. Reunión Nacional de Agroclimatología, UNAM, México.

Apuntes del módulo de Fonología Agrícola del Seminario de Titulación, FES-Cuautitlán, 1994.

*Arteaga, R.R.* (1985). "Caracterización agrometeorológica de las condiciones de temperatura", Memorias de la 1. Reunión Nacional de agroclimatología, UNAM, México.

Cantú T.S. (1953). "La Vega de Metztlán en el Edo. de Hidalgo", Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística.

"Campo Agrícola Experimental del Valle de México", (CAEVAMEX), (1981), Centro de Investigaciones Agrícolas de la Mesa Central, Chapingo, México.

DGETA, SEP. 1986. "Manuales para la educación agropecuaria". Area producción vegetal, Papa, Trillas, México.

Gómez Morales, S. B. y Arteaga Ramírez Ramón. (1987) "Elementos básicos para el manejo de instrumental meteorológico", CECSA.

Hartman H.T. et-al. (1988). "Plant Science", Prentice Hall, USA.

Instituto de Geología, UNAM (1938). "Memorias de la Comisión Geológica del Valle de Mezquital".

INEGI (1994). "Cuaderno Estadístico Municipal, Metztlán, Edo. de Hidalgo".

Ortiz, (1983). "Econotecnia agrícola; la papa (*Solanum tuberosum* L.), producción y comercialización", DGEA, SARH, Vol. VII, núm. 3, marzo 1983.

Ortiz, S.C.A. (1987). "Elementos de agrometeorología cuantitativa", Departamento de Suelos, UACH, México.

Romo, G.J. y Arteaga, R.R. (1989). "Meteorología agrícola", Departamento de Irrigación, UACH, México.

Rocha, A.J.L. (1973). "Formación de la Vega de Metztlán y origen de sus primeros habitantes", Boletín Número. 22 del Comité Directivo Agrícola del Distrito de Riego Número. 8, Metztlán, Hgo. México.

Rocha, A.J.L. (1973). "Breve historia de las obras hidráulicas en la Vega de Metztlán".

ESTA TESIS NO PUEDE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

**Romero, J.** (1931). "Obras de desecación de la Laguna de Metztlán". Irrigación en México, Revista Mensual, CNI, Vol. 1V. Número 1, México.

**Ruiz, V.J.** (1986). Reunión de Investigadores de Agroclimatología de la Zona Sur, CAERI, INIA, México.

Secretaría de Gobernación. (1988). "Los municipios de Hidalgo, México".

**Sánchez, S. O.** (1978). "La flora del Valle de México", Herrero, 2a. ed., México.

SRH. (1974). "Informe sobre la cuenca del Río Metztlán en el Edo. de Hidalgo, México".

SRH. (1974). "Respuesta de la papa a diferentes regímenes de humedad". Memorándum Técnico 332, México.

SEP. (1987) "Hidalgo, Monografía Estatal, México".

**Todorov, A. V.** (1985). "Compendio de apuntes de agrometeorología para el personal" clase 4 DGSMN, SARH, México.

**Torres, R. E.** (1995). "Agrometeorología", Trillas. México.

**Villalpando, I.J.F.** (1983). "Metodología de investigación en agrometeorología". Curso de Orientación para Aspirantes a Investigadores del INIFAP. SARH. México.

**Villalpando, I.J.F. et-al** (1991). Memorias del curso "Temperatura y fenología agrícola", Agroclimatología, Guadalajara, México.

**Villalpando, I.J.F. y Ruiz, C.R.A.** (1993). "Observaciones agrometeorológicas y su uso en la agricultura", UTEHA, México.

**Villarreal, G.** (1984) "La papa", INIA-CIDAGEM, México.