



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN

DETERMINACIÓN DE UNIDADES TÉRMICAS PARA  
COINCIDENCIA A FLORACIÓN Y MADUREZ FISIOLÓGICA  
DE HÍBRIDOS DE MAÍZ

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÍCOLA

PRESENTA:

ISAÍAS GONZÁLEZ ROJO

ASESORES: DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN  
M.C MARGARITA TADEO ROBLEDO

CUAUTILÁN IZCALLI, MÉXICO 2007



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.

## *DEDICATORIAS*

### *A mis padres*

*Mario González Salinas y Patricia Rojo Rubio, quienes me tuvieron la confianza, al dejar alcanzar mis sueños, por su apoyo incondicional, los consejos que me han dado a lo largo de toda mi vida al darme todo para terminar mi carrera, gracias.*

### *A mis hermanos*

*Diana y Moises por su apoyo y darme la fuerza necesaria para terminar mi carrera.*

### *A mis tíos*

*Leo, Bethy, Emma, Marce, Rolando, Mago, Martín, Telesforo y Goyo por sus consejos, por todo el cariño y apoyo que contribuyó a mi formación.*

### *A mi familia*

*Por motivarme en mi crecimiento personal y profesional.*

### *A mis amigos*

*Alejandro, Luís y Roberto por su valiosa amistad y grandes momentos a lo largo de estos años.*

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, por la enseñanza en sus aulas y la oportunidad de una presencia de vida.*

*A la FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN y a la carrera de INGENIERÍA AGRÍCOLA donde logré cosechar muchos sueños.*

*A la M.C Margarita Tadeo, Dr. Alejandro Espinosa Calderón, Ing. Rafael Martínez Mendoza y al equipo de semillas por darme la oportunidad de realizar esta tesis, por su apoyo, dirección y sugerencias que resultaron fundamentales en el desarrollo de este trabajo.*

*A la M.C Ana Martínez por su amistad y apoyo en todo este tiempo, gracias maestra.*

*Al Ing. Adolfo Ochoa por sus consejos y sugerencias.*

*A los profesores que intervinieron en mi formación profesional.*

*A los miembros del jurado por sus comentarios para mejorar este trabajo.*

*A mis compañeros de generación por las experiencias vividas a lo largo de la carrera.*

*A Odehit por sus consejos y a veces darme mis jalones de oreja, eres una verdadera dama y grandiosa amiga y por esos momentos tan divertidos que hemos pasado, gracias bonita.*

*A Lupe, Rosario, Dany, Noelia, Esther, Liliana, Ana, Cynthia, Daniela, Amalia, Cosme, Israel por su amistad y risas en este tiempo.*

*Gracias a todos*

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>Índice de figuras</b>	i
<b>Índice de cuadros</b>	i
<b>Resumen</b>	iii
<b>I. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivos	4
1.2 Hipótesis	4
<b>II. Revisión de literatura</b>	<b>5</b>
2.1 Dispersión y origen	5
2.1.2 Generalidades del maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	6
2.1.3 Requerimientos climáticos	7
2.1.4 Adaptación	8
2.1.5 Fenología	9
2.1.6 Fenología del Maíz	11
2.1.7 Influencia de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas	12
2.1.8 Constante térmica	15
2.2 Producción y Tecnología de Semillas	17
2.3 Tecnología para lograr coincidencia a floración entre progenitores	20
2.3.1 Podas	24
2.3.2 Flameo	25
2.3.3 Criss-Cross	26
2.3.4 Profundidad de siembra	27
2.3.5 Riegos	27
2.3.6 Siembras diferenciadas	28
2.3.7 Densidad de siembra	28
2.3.8 Unidades Térmicas	29

2.3.8.1	Ventajas y desventajas en el uso de unidades térmicas	32
2.3.8.2	Limitaciones de los sistemas de unidades térmicas	34
2.4	Métodos para determinar unidades térmicas	36
2.5	Madurez fisiológica	36
2.6	Descripción de los Valles Altos y Zonas de Transición de la República Mexicana	37
<b>III.</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>40</b>
3.1	Caracterización de la zona de estudio	40
3.2	Material genético	40
3.3	Siembra	41
3.4	Riego	41
3.5	Control de malezas	42
3.6	Diseño experimental	42
3.7	Cálculo de unidades térmicas	42
3.7.1	Método Directo	42
3.7.2	Método Residual	43
3.8	Caracteres a evaluar	43
3.8.1	Días a floración masculina	43
3.8.2	Días a floración femenina	44
3.8.3	Madurez fisiológica	44
<b>IV.</b>	<b>Resultados</b>	<b>45</b>
4.1	Resultados obtenidos en campo para el híbrido (241AE X 239) X HC74	45
4.2	Comparativo de Unidades Térmicas para el Híbrido (241AE X 239) X HC74	46
4.3	Unidades Térmicas para el Híbrido (241AE X 239) X HC74 a Madurez Fisiológica	47
4.4	Resultados obtenidos en campo para el híbrido (242AE X 243) X HC74	49
4.5	Comparativo de Unidades Térmicas para el Híbrido (242AE X 243) X HC74	50
4.6	Unidades Térmicas para el Híbrido (242AE X 243) X HC74 a Madurez Fisiológica	51
4.7	Resultados obtenidos en campo para el híbrido (242*246) * HC74	52
4.8	Comparativo de unidades térmicas para el híbrido (242*246) * HC74	53

4.9	Unidades térmicas para el híbrido (242*246) * HC74 a madurez fisiológica	54
4.10	Resultados líneas y Cruzas	55
<b>V.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>57</b>
<b>VI.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>60</b>

## Índice de figuras

<b>Figura</b>		<b>Pág.</b>
1	Probable Origen y Dispersión de las rutas del maíz	4
2	Principales fases fenológicas del maíz	9
3	Valles Altos y Zonas de Transición	35

## Índice de cuadros

<b>Cuadro</b>		<b>Pág.</b>
1	Macroambientes de Siembra con maíz en México	36
2	Datos de inicio, final y floración de los progenitores del híbrido (241AE * 239) X HC74	42
3	Propuesta de clasificación por nivel de coincidencia a floración entre progenitores de híbridos de maíz para los Valles Altos y Bajío	43
4	Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (241AE * 239) X HC74	44
5	Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (241AE * 239) X HC74	45
6	Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (241AE * 239) X HC74	46
7	Datos de inicio, final y floración de los progenitores del híbrido (242AE * 243) X HC74	46
8	Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (242AE * 243) X HC74	47
9	Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (242AE * 243) X HC74	48
10	Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (242AE * 243) X HC74	49



11	Datos de inicio, final y floración de los progenitores del híbrido (242*246) X HC74	49
12	Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (242*246) X HC74	50
13	Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (242 * 246) * HC74	51
14	Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (242 * 246) X HC74	51
15	Días a floración y acumulación de calor de líneas progenitoras	52
16	Días a floración y de acumulación de calor para cruza simples	52

## RESUMEN

Cuando se obtiene un nuevo híbrido de maíz, se requiere generar información en forma paralela a la determinación de su capacidad productiva en comparación con testigos comerciales, tal es el caso de información necesaria sobre la coincidencia a floración entre los progenitores, lo cual es fundamental para que haya una buena fecundación y obtención de semilla de cada uno de los híbridos, cuando ocurre asincronía, es decir falta de coincidencia a floración (split), se eleva la posibilidad de contaminaciones con polen extraño, pero además disminuye el rendimiento de semilla. Otro aspecto importante es la determinación de la madurez fisiológica de los híbridos desarrollados en proceso de liberación comercial, ya que esta información, permite ubicar con mejores elementos, la mejor época de siembra, de cada uno de los materiales

El presente estudio establece los requerimientos de calor, utilizando el Método Directo (MD) y el Método Residual (MR) a través del cálculo de unidades térmicas a floración, así como a madurez fisiológica de tres híbridos de maíz establecidos en la FESC-UNAM. Para ello se utilizó información fenológica y datos de temperatura de la Estación Meteorológica "Almaraz" de la Facultad a partir de la fecha de siembra, se determinaron las Unidades Térmicas Acumuladas (UTA) para las etapas de desarrollo siembra-madurez fisiológica (S-MF) de los híbridos de maíz; además de los días promedio transcurridos (DP) de la siembra a la madurez fisiológica (SMF).

Los resultados mostraron que las UTA S-MF obtenidas por el método residual para el progenitor hembra van desde 1644 UT hasta las 1704 UT, y para el progenitor macho la acumulación de calor es de 1745 UT; por el método directo para el progenitor hembra van desde las 2735 UT hasta las 2838 UC y para el progenitor macho es de 2881 UT; los DP transcurridos de la SMF es de 150-160 días.

## I. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el alimento básico y cultivo más importante en México; la historia del maíz, como la de ningún otro producto de esta tierra, está ligada a la del hombre, gracias a su intervención la planta ha encontrado las condiciones propicias para nacer, crecer y desarrollarse. Cada año se siembran de 7 a 8.4 millones de hectáreas con un rendimiento medio de 2.8 ton/ha, el consumo per cápita oscila entre 160-180 Kg. /año. (Tadeo *et al.*, 2005). A nivel nacional en el año 2006 se produjeron 22.5 millones de toneladas, importándose más de seis millones de toneladas de grano entero y más de tres millones de toneladas de grano quebrado, por lo cual se requiere que México produzca más de 32 millones de toneladas para lograr la suficiencia y soberanía alimentaria (Espinosa *et al.*, 2007).

Por su importancia en la alimentación y cultura del pueblo mexicano, dada su gran capacidad de adaptación a diversas condiciones ecológicas, el maíz se cultiva a todo lo largo y ancho del país, en diversos sistemas agrícolas de producción, desde agricultura tradicional hasta prácticas agronómicas modernas. Los Estados Unidos Mexicanos es uno de los más importantes países consumidores de maíz blanco, con una tradición en este cultivo y un fuerte arraigo del producto como base de la alimentación de la población, especialmente las clases populares.

En el mundo se siembra un total de 6.2 millones de hectáreas con maíz en áreas con altitudes superiores a los 1800 msnm, que caracterizan a los Valles Altos; sólo en México existen alrededor de 3 millones de hectáreas que se siembran en estas altitudes, principalmente con variedades de grano blanco semidentado.

A nivel mundial el maíz es ya el cultivo con mayor producción; el año 2005/2006 se produjeron 725.77 millones de toneladas de grano de maíz<sup>1</sup>, 80 millones más que la producción del año anterior y 100 millones más en comparación con la temporada 2002/2003.

Cuando se obtiene un nuevo híbrido de maíz, se requiere generar información sobre diferentes aspectos de tecnología de producción de semilla, en forma paralela a la determinación de su capacidad productiva en comparación con testigos comerciales, tal es el caso de información necesaria sobre la coincidencia a floración entre los progenitores, lo cual es fundamental para que haya una buena fecundación y obtención de semilla de cada uno de los híbridos.

Cuando ocurre asincronía, es decir falta de coincidencia a floración, entre los progenitores de un híbrido, se eleva la posibilidad de contaminaciones con polen extraño, pero además disminuye el rendimiento de semilla. Los materiales con sincronía son deseables, sin embargo, los diferenciales a floración son un elemento que otorga cierto nivel de aseguramiento de la heterosis, buscada en el proceso de hibridación por los fitomejoradores.

---

<sup>1</sup> [www.lajornada.unam.mx](http://www.lajornada.unam.mx)

Otro aspecto importante es la definición de la madurez fisiológica de los híbridos desarrollados en proceso de liberación comercial, ya que esta información, permite ubicar con mejores elementos, la mejor época de siembra, así como la cosecha de cada uno de los materiales.

La temperatura juega un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de cualquier especie, por esta razón se hace un estudio basado en la determinación de unidades térmicas, para la coincidencia a floración y madurez fisiológica de nuevos híbridos de maíz con dos diferentes métodos para buscar el nivel de la coincidencia a floración entre los progenitores de estos híbridos, en el proceso para incremento de la semilla de híbridos de maíz.

## **1.1 Objetivos**

- Determinar los requerimientos de calor a floración y a madurez fisiológica de híbridos de maíz, en la FESC-UNAM.
- Establecer los niveles de asincronía a floración y como se ubican cada uno de los híbridos de maíz en la coincidencia de sus respectivos progenitores.

## **1.2 Hipótesis**

- A través del cálculo de unidades calor es posible estimar la coincidencia/asincronía a floración, así como la madurez fisiológica en los híbridos de maíz.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Dispersión y origen del maíz

Aún cuando existe cierta polémica, una corriente importante de investigadores coincide por los restos antropológicos y evidencias, que el origen geográfico del maíz se ubica en México, si bien algunos estudiosos consideran que el maíz es nativo de Asia, otros piensan que es de América. Esto último es lo más aceptado, ya que existen los suficientes testimonios que avalan al Nuevo Mundo como su origen primario. (Reyes Castañeda, 1990).

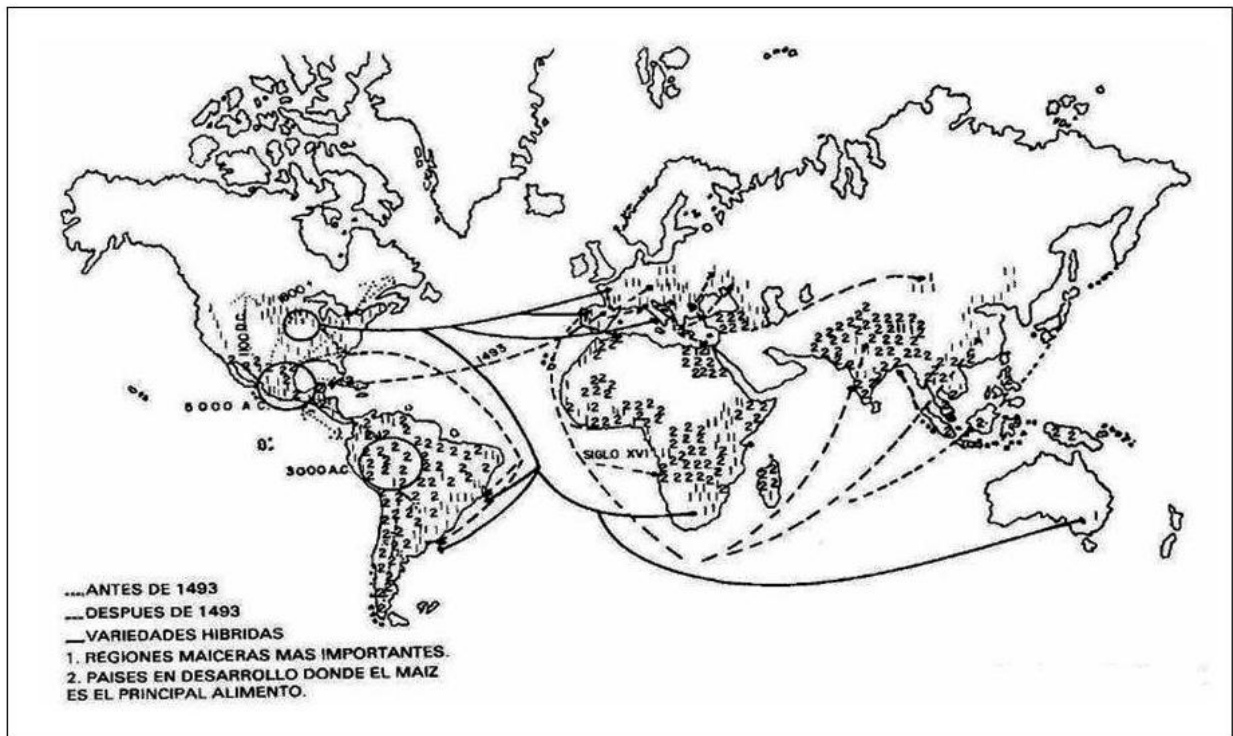


Figura 1. Probable Origen y Dispersión de las rutas del maíz, Reyes, 1990

Así pues, quedan muy pocas dudas acerca del origen americano del maíz, pero es discutible en que lugar. Se mencionan México, Guatemala, Colombia, región Andina (Perú, Ecuador, Bolivia) y las tierras bajas del Paraguay, Uruguay, Argentina, Bolivia y Brasil. (Figura 1). Hay suficiente evidencia indicando que México fue el centro primario de origen, domesticación y dispersión del maíz; que ocurrió hace más de 6 mil años y que las migraciones humanas lo llevaron a Sudamérica, en donde tuvo lugar el centro secundario, hace más de 5 mil años. (Reyes Castañeda, 1990).

El maíz es el tercer cereal más importante en el mundo después del trigo y el arroz. Es el principal grano que se utiliza como alimento en México, Centroamérica y la región de los Andes de Sudamérica, también es importante como grano alimenticio en el este y sur de África y China. (Milton-Allen, 2005).

### **2.1.2 Generalidades del maíz (*Zea mays* L.)**

Nombre científico: *Zea mays* L.

Familia: Poaceae.

Nombre Común: Maíz.

Origen: México.

Distribución geográfica: 50° LN a 40° LS.

Adaptación: Regiones templadas, tropicales y subtropicales.

Ciclo vegetativo: 90-180 días.



El maíz es un cultivo de polinización cruzada natural debido a su polinización no controlada, suele decirse que es de polinización libre. Las principales contribuciones para mejorar el maíz en el siglo XX han sido:

- Un método para mejorar genéticamente el maíz híbrido y la creación de la infraestructura necesaria para producir en gran escala semilla comercial, y
- Mejoras mediante métodos genotécnicos de la planta de maíz que contribuyen a que ésta presente mayor productividad, maduración más temprana, sistemas radicales más fuertes que junto con tallos más cortos y resistentes reducen el encamado y resistencia a patógenos y plagas de insectos. (Milton-Allen, 2005).

### **2.1.3 Requerimientos climáticos**

Precipitación: De 700 a 1100 mm. Periodos críticos germinación, primeras tres semanas de desarrollo y el periodo comprendido entre 15 días antes hasta 30 días después de la floración. Requerimiento promedio de agua por ciclo es de 650 mm. (Ramírez, 2004).

Temperatura: La temperatura óptima para la germinación esta entre 18 y 21°C; crecimiento y desarrollo entre 10 y 28° C; (Warrington y Kanemasu citados por Ramírez, 2004).

La temperatura base o umbral para genotipos que se adaptan a regiones templadas o Valles Altos, la temperatura base es de alrededor de 7°C, la temperatura máxima para desarrollo en genotipos adaptados a Valles Altos es de 27°C. (Hernández y Carballo citados por Ramírez 2004).

La temperatura óptima diaria de siembra a germinación es alrededor de 25.8°C, de la germinación a la aparición de la inflorescencia femenina entre 25 y 30°C y desde ese periodo a la madurez del grano se consideran óptimas una mínima de 21° C y una máxima de 32° C; (Benacchio citado por Ramírez, 2004).

#### **2.1.4 Adaptación**

Una de sus principales características es su gran adaptación, ya que se cultiva desde el Ecuador a diferentes latitudes Norte y Sur; desde el nivel del mar, hasta más de 3,200 msnm; en suelos muy variables y con una tecnología muy diversa.

Las principales regiones en el mundo con mejor productividad son:

- 1) El cinturón o faja maicera en Estados Unidos con localización principal en Iowa e Illinois
- 2) Cuenca del Danubio en Europa, extendiéndose desde el Sudoeste de Alemania hacia el Mar Negro.
- 3) Las llanuras del Río Po, en el norte de Italia

- 4) Las llanuras del norte de China
- 5) Noreste de Argentina
- 6) Sudeste de Brasil
- 7) América Central
- 8) Noroeste de América del sur
- 9) México

Se adapta mejor en suelos húmedos y fértiles, en regiones subtropicales, templadas y en regiones tropicales altas, con temperaturas altas durante el día y bajas durante la noche. (Reyes, 1990).

### **2.1.5 Fenología**

La palabra fenología es de origen griego. *Phaino* que significa mostrar, aparecer y *logos* significa ciencia. Es una rama de la ciencia agrometeorológica que trata de las relaciones entre las condiciones atmosféricas (o con el clima) y los fenómenos biológicos periódicos, tales como las fases de desarrollo de las plantas. Uno de los fenómenos naturales más evidentes es el que las plantas aumentan de tamaño en forma más o menos continua y desarrollen nuevos órganos en forma intermitente durante su vida. En la vida vegetal se distinguen dos grandes etapas, el crecimiento y desarrollo vegetativo y el reproductivo. (Azzi, citado por Corzo, 1991).

La primera etapa se refiere (en plantas vasculares) al desarrollo de las raíces, tallos y hojas; y la segunda a la formación de flores, frutos y semillas.

Por otro lado, es sabido que el desarrollo y las reacciones de una planta dependen de la interacción coordinada de los factores hereditarios y los ambientales (climáticos, edáficos, geográficos y bióticos) sobre los procesos fisiológicos internos de dicha planta. El crecimiento y desarrollo de los vegetales, considerado como una respuesta a los factores mencionados, está sujeto al fenómeno de periodicidad. (Arteaga, 1983).

Para llevar a cabo la medición o registro de la fenología, es necesario distinguir las fases y etapas fenológicas de un cultivo. Estos y otros conceptos importantes se definen a continuación:

- Fase fenológica: representa cada uno de los rasgos o fenómenos periódicos que presentan los vegetales.
  
- Etapa fenológica: es el intervalo comprendido entre dos fases sucesivas, como por ejemplo la etapa de siembra-emergencia. (Villalpando, 1991).

### 2.1.6 Fenología del maíz

El desarrollo de una planta de maíz se evidencia con los cambios fenológicos que se detectan desde que inicia la germinación hasta que la planta ha llegado a madurez fisiológica, mientras que el crecimiento se valora en términos de acumulación de materia seca en las diferentes partes de la planta, desde que el momento que es capaz de fotosintetizar, translocar y asimilar los fotoasimilados. (Mendoza, 2003).

En México, los diferentes estadios reciben las siguientes denominaciones (Figura 2):

1. Siembra: Fecha en que se realiza la siembra.
2. Emergencia: Fecha en que aparece la primera hoja sobre la superficie del suelo.
3. Ocho hojas: Fecha en que el maíz presenta ocho hojas liguladas.
4. Floración:
  - Masculina: fecha en que la mitad de la espiga presenta anteras al descubierto.
  - Femenina: Fecha en que aparece el jilote.
5. Estado lechoso: Momento en que el grano desprende líquido de apariencia lechosa al ser presionado por la uña.
6. Estado masoso: Fecha en que el grano presenta una consistencia masosa, ya no desprende líquido lechoso al ser presionado por la uña.
7. Madurez fisiológica: Fecha en que el grano está duro y presenta una capa negra en la zona embrional. (Villalpando, *et al.*, 1991).

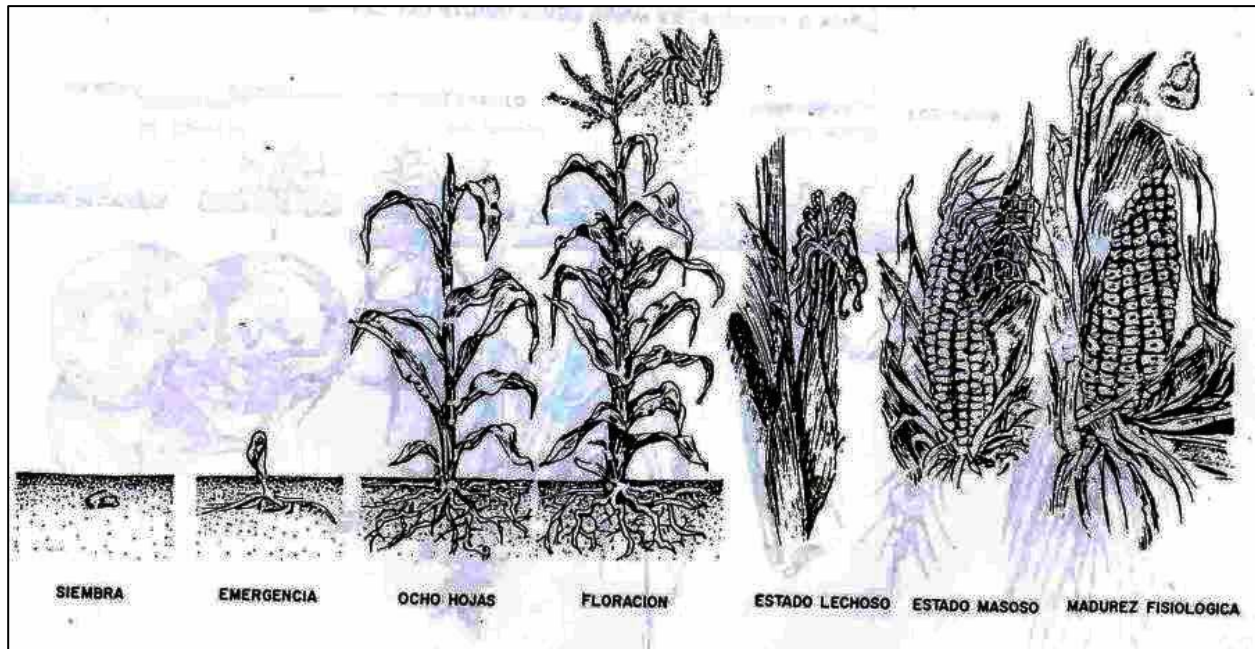


Figura 2. Principales fases fenológicas del maíz, Villalpando, 1993

### 2.1.7 Influencia de la temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas

En la agricultura el factor ecológico, específicamente el elemento temperatura, juega un papel significativo para la producción de alimentos, es un componente meteorológico importante para el ambiente vegetal. La temperatura reviste enorme significancia para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de todas las plantas.

La temperatura es el parámetro meteorológico que tiene mayor relación con la fenología de los cultivos. Aunque otros parámetros climatológicos como la insolación, la radiación solar y la humedad del suelo son también importantes, dependiendo de la especie y cultivar de que se trate.

La temperatura es el factor que mayor importancia tiene sobre la tasa de crecimiento y desarrollo de las plantas, pues determina la tasa de producción y extensión foliar que forman el dosel vegetal, a través del cual los cultivos interceptan la radiación solar y realizan la acumulación de materia seca.

La aparición de órganos individuales y el desarrollo de la planta desde la etapa de plántula hasta madurez fisiológica pueden describirse mediante la tasa de aparición de órganos y la producción de materia seca en las diferentes etapas fenológicas de las plantas. (García, 2002).

Una de las condiciones más importantes para obtener rendimientos altos y de calidad de una planta dada, es el conocimiento de sus requerimientos en cuanto a las condiciones ambientales. (Guenkov, 1974).

La temperatura es uno de los factores ecológicos más conocidos, por los efectos que ejerce sobre los organismos vivientes. Es un factor fácilmente medible; su influencia es universal y frecuentemente, limitante para el crecimiento y distribución de plantas y animales.

La temperatura condiciona la adaptabilidad de una especie o variedad, de tal forma que se pueden reconocer para cada genotipo, un umbral mínimo ( $T_b$ ) y un umbral máximo ( $T_u$ ) de temperatura, fuera de los cuales se tiene una tasa de desarrollo igual a cero, y una temperatura o rango de temperaturas óptimas ( $T_o$ ) en donde la tasa de desarrollo

es máxima. Dichas temperaturas usualmente son denominadas como temperaturas cardinales. (Villalpando, et al, 1991).

La temperatura afecta el desarrollo de las plantas a través de su influencia sobre la velocidad de los procesos metabólicos. Temperaturas bajas retardan el desarrollo mientras que temperaturas altas (hasta cierto límite) lo aceleran y acortan el ciclo vegetativo de las plantas.

Es por ello que es fundamental llevar a cabo la caracterización de los genotipos de maíz con base en requerimientos climáticos, situación que ayudaría al pronóstico de etapas fenológicas para el establecimiento de fechas de siembra escalonadas, que permitan la coincidencia de la floración para producir semilla en cantidad y calidad en diferentes épocas del año (Ortiz *et al.*, 2006).

Una forma de determinar los requerimientos calóricos de una especie en determinadas fases de desarrollo, es el cálculo de las unidades calor. Es preciso destacar los procesos fisiológicos que se verifican dentro de límites definidos, a este punto se le conoce como temperaturas cardinales, dichos puntos varían con la edad o el estado de desarrollo de la planta por esto es necesario conocer las temperaturas máximas y mínimas de cada especie. (Ramírez, 2004).



El conocimiento de algunas etapas de desarrollo de los cultivos es de suma importancia para la planeación operación de varias actividades agrícolas. Entre estas actividades se incluye las fechas de siembra, hasta las fechas de corte o cosecha de los cultivos anuales. (Villalpando, et al, 1991).

### **2.1.8 Constante térmica**

Una planta, para completar su ciclo vegetativo, debe acumular calor cierto número de unidades térmicas. El método más sencillo para calcular es el de suma de temperaturas diarias, que consiste en sumar las temperaturas medias diarias, ya sea entre dos fases o durante todo el ciclo. (Torres, 1995).

Todas las plantas deben consumir calor o acumular determinada cantidad de calor, medida en grados día o unidades calor, desde la germinación hasta la madurez.

La constante térmica se puede definir como, la cantidad de temperatura acumulada que necesita una especie vegetal para completar su ciclo vegetativo. (Arteaga, 1983).

El termino constante térmica fue utilizado por Réaumur en el año de 1735, observó que la duración de un cultivo variaba de una región a otra e incluso, se presentaban variaciones en una misma localidad.

Réaumur, determinó que los cultivos requieren reunir una suma determinada de temperatura para llegar a la madurez del cultivo, desde el momento de la germinación, sumó la temperatura media de cada día sin considerar las temperaturas bajo cero, hasta el momento de la madurez, y determinó que la suma de las temperaturas siempre es la misma, cualquiera que haya sido la ubicación de cultivo o en año considerado.

Cada estado sucesivo de crecimiento necesita una cantidad definida de calor, expresada en Unidades Térmicas. La mayoría de los sistemas de unidades térmicas se fundamenta en la suma de temperaturas positivas por encima de una temperatura base o <<punto cero de actividad vital>> y se expresan en términos de <<días-grado (°)>>, <<grado-día>>, <<unidades calor o unidades térmicas>>. (Ramírez, 2004). Este concepto postula que el crecimiento y desarrollo de un cultivo, depende de la cantidad de calor que este recibe, es decir, que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando haya recibido una cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido. (Villalpando, 1991).

Réaumur determinó que la cebada requería de la germinación a la madurez de 1700°, el trigo 2000° y el maíz de 2500°. A estas sumas fijas para cada vegetal, se le conoce como constante térmica. (De Fina y Ravelo, citados por Ramírez, 2004).

La diferencia en la duración de los cultivos se explica de la siguiente forma. Si el maíz requiere de  $2500^{\circ}$  y la temperatura media diaria es de  $25^{\circ}$  ( $2500/25$ ) la planta requiere de 100 días para alcanzar la madurez.

Abbe, citado por Carrol, citado por Ramírez (2004), indica que según el método de las constantes térmicas, una planta alcanza un estado determinado de desarrollo cuando ha recibido una cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello.

Numerosos métodos han sido diseñados para el cálculo de las unidades calor, unidades térmicas o grados día; muchos de los cuales están basados en lecturas apropiadas de datos de temperatura máxima y mínima; se ha considerado la superioridad del uso de horas calor sobre los días calendario, para la predicción de fechas de floración, madurez, o algún otro estado de desarrollo de la planta.

## **2.2 Producción y tecnología de semilla**

Las semillas han representado el punto central, en torno al cual gira la agricultura. La semilla representa una forma de supervivencia de las especies. A través de la semilla se concentra la información genética acumulada por siglos, en ella se sintetizan los esquemas más importantes para la supervivencia de las especies. Es un vehículo para reiniciar la vida, representa el medio de transporte para el reinicio de nuevos ciclos.

Alimento esencial para la humanidad, representa el insumo fundamental para lograr la reproducción de granos, frutos, flores, fibras, siendo el alimento (granos), la base para satisfacer las necesidades primarias del hombre, entonces debe coincidir en que las semillas son altamente estratégicas para las diferentes culturas, países y en general para la humanidad además de que representa un símbolo de belleza y fertilidad. (Tadeo y Espinosa, 2004).

Dentro de los elementos que participan en la producción de granos, la semilla mejorada es uno de los insumos más importantes ya que de ella depende la obtención de buenos rendimientos. La decisión de qué semilla emplear es tal vez una de las relevantes para un agricultor; una buena elección permitirá que otros insumos se expresen al máximo y se aprovechen para lograr buenas cosechas. (Tadeo *et al.*, 2004).

El uso de semilla mejorada es un elemento clave en muchos países de desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción. En México, el uso de semilla mejorada de maíz es aún muy bajo. (Sánchez *et al.*, citados por Espinosa 2002).

El mejoramiento del maíz es un proceso continuo y constante en la formación de híbridos y variedades para uso comercial. Las semillas mejoradas representan un volumen aproximado de 100 000 toneladas que se ocupan para sembrar cerca de 50% del total de la superficie del cultivo de maíz en México. (Gutiérrez *et al.*, 2002).

En México cada año se siembran de 7 a 8.4 millones de hectáreas de maíz, en este cultivo el INIFAP y las instituciones que le antecedieron, en 62 años de investigación han liberado más de 221 híbridos y variedades mejoradas (60% y 40% respectivamente), con adaptación específica a las diferentes condiciones ambientales.

La producción de maíz en México se ha incrementado, principalmente, por los aumentos en la productividad. En los años 50, el rendimiento medio ascendió desde 800 Kg. hasta 2.2 t/ha, con una tasa de crecimiento anual de 2.4%, (Sánchez *et al.* citados por Espinosa 2002).

El uso de semilla mejorada, se ha incrementado fuertemente, sobre todo con la participación de Sinaloa y otras áreas de riego en el país, constituyéndose estas zonas en las principales áreas productoras de maíz en México, con rendimientos elevados de siete y hasta 12 t/ha, que contrastan con rendimientos de 300 a 500 Kg./ha en zonas marginales. (Sánchez *et al.* citados por Espinosa 2002).

Cuando se obtiene un nuevo híbrido de maíz, se requiere generar información en forma paralela a la determinación de su capacidad productiva en comparación con testigos comerciales, tal es el caso de información necesaria sobre la coincidencia a floración entre los progenitores, lo cual es fundamental para que haya una buena fecundación y obtención de semilla de cada uno de los híbridos, cuando ocurre asincronía, es decir falta de coincidencia a floración (split), se eleva la posibilidad de contaminaciones con

polen extraño, pero además disminuye el rendimiento de semilla. (Tadeo y Espinosa, 2004).

Otro aspecto importante es la determinación de la madurez fisiológica de los híbridos desarrollados en proceso de liberación comercial, ya que esta información, permite ubicar con mejores elementos, la mejor época de siembra, de cada uno de los materiales.

En la producción de semilla híbrida de maíz, un problema fundamental es el control de la polinización, ya que debe colocarse en el momento oportuno el polen funcional de la planta macho en los estigmas receptivos de la hembra. Además se debe tener cuidado de evitar una posible autofecundación y la cruza con otra clase de polen no deseado (Tadeo *et al.*, 2001).

### **2.3 Tecnología para lograr coincidencia a floración entre progenitores**

Para cada híbrido y variedad de maíz, dependiendo de su conformación, como cruza simple, trilineal o doble, se requiere información sobre el manejo agronómico, fechas de siembra, coincidencia a floración, relación hembra-macho, forma óptima de desespigue, siembra entre cada progenitor, densidad de población, fertilización convencional, respuesta a biofertilizantes, uso de esquema de androesterilidad, además de otra información que permita la obtención de los rendimientos de semilla más elevados de cada progenitor. Todo lo anterior es específico y frecuentemente

depende de la zona de producción, donde se incrementa la semilla de cada línea o híbrido de maíz.

La definición de zona de producción para cada material es relevante cuando se refiere a híbridos simples, ya que las líneas son altamente sensibles a cualquier variación de las condiciones del ambiente, así como el manejo agronómico, propiciando una menor producción, para que en términos de producción de semillas una cruce simple sea redituable, sus progenitores deben rendir por arriba de 2.0 ton/ha de semilla comercial, por lo que la tecnología de semillas debería aportar los elementos que permitan esto. (Tadeo *et al.*, 2005).

Para que la producción de semilla de líneas y de los diferentes tipos de cruces que forman los híbridos de maíz, semilla básica, registrada y certificada, alcance un desarrollo adecuado, es esencial la selección de localidades que permitan la correcta reproducción de todas las plantas para reducir los riesgos de cambios en su estructura genotípica. (Ortiz *et al.*, 2006).

La zona de producción tiene especial importancia con relación a la coincidencia a floración de los progenitores de híbridos, ya que los diversos materiales a veces responden de manera diferencial a los cambios en temperatura, así como otros elementos y su combinación con humedad relativa. Por esto mismo para cada híbrido se trata de definir su zona óptima de producción y la repercusión en el nivel de coincidencia de sus progenitores.

Debe asegurarse que la zona de producción de semillas reúna los componentes agroclimáticos favorables para que los progenitores de los híbridos o variedades expresen buen rendimiento y calidad de semilla. El objetivo fundamental que se pretende alcanzar, es obtener la producción de la mayor cantidad posible de semilla comercial por unidad de semilla de la categoría inmediata anterior, y además esta semilla sea de buena calidad. (Tadeo *et al.*, 2005).

Ortiz *et al.*, 2006, mencionan que un problema importante que los mejoradores y productores de semilla de maíz híbrido enfrentan, es el uso de progenitores que difieren en su periodo de floración. Existen algunas prácticas que pueden favorecer el cruzamiento entre materiales asincrónicos y por lo tanto evitar las siembras diferenciales; éstas involucran el uso de fertilizantes y reguladores de crecimiento, aplicación de riegos, manejo de la densidad de siembra y de la escarda, (PRONASE 1974), el corte del follaje por encima del punto de crecimiento (poda), e incluso por debajo de éste (Dungan y Guasman, 1951; Cloninger *et al.*, 1974, citados por Ortiz *et al.*, 1999), además del flameo.

En el proceso de producción de semilla de híbridos de maíz es fundamental que la exposición de los estigmas del progenitor femenino coincida con la emisión del polen del progenitor masculino, es decir, que coincidan los progenitores en la floración. Cuando no hay sincronía es indispensable establecer fechas de siembra diferenciales o escalonadas debido a que cada progenitor posee diferente número de días a floración,



lo cual implica limitaciones prácticas en el manejo del riego, labores culturales, control de malezas y fertilización, entre otras. (Torres *et al.*, 2004).

Los factores agroclimáticos que limitan la producción de maíz, son las bajas temperaturas y las precipitaciones escasas, por lo cual los genotipos a cultivarse deben tener características favorables que superen a estos problemas, además, debe usarse una técnica apropiada para la producción de híbridos.

En la región de Valles Altos de México actualmente se cuenta con nuevos híbridos de maíz, los cuales producen un rendimiento entre 5 a 8 ton/ha (Espinosa *et al.*, 2004), tienen una tolerancia significativa al acame de raíz y una madurez precoz. Aislar la producción de un híbrido obliga al productor de semillas a sembrar en fechas tempranas, con el riesgo de que se presenten factores meteorológicos adversos, tales como heladas tardías y sequía, además de asincronía en los genotipos. (Beck, citado por Torres *et al.*, 2004).

Un problema importante que enfrentan los fitomejoradores y productores de semilla de maíces híbridos es el uso de progenitores que difieren en su periodo de floración; en estos casos es necesario establecer los dos progenitores en diferentes fechas de siembra para lograr una mejor sincronización floral (Mora *et al.*; citado por Torres *et al.*, 2004), lo cual es un factor limitante en el proceso de producción de semilla híbrida. Para solucionar el problema de falta de sincronización en la floración de los progenitores existen las siguientes técnicas correctivas:

### 2.3.1 Podas

Las podas aplicadas en etapa de cuatro hojas liguladas, retrasa la floración masculina, obteniéndose retrasos con el corte al ras del suelo, logró atrasar 13 días en promedio a la floración masculina y 14 días a la femenina en seis genotipos, además, causó una reducción de ocho días en el periodo de llenado de grano y provocó seis días de atraso en la madurez fisiológica, presentó una reducción de 3.21 ton/ha en rendimiento (Torres *et al.*, citado por Tadeo, Espinosa y Martínez, 2005).

Carter, citado por Torres (2002); al estudiar un maíz afectado por helada y cortado después, encontró que el 70% presentó esterilidad masculina y un retraso de 4 días en la floración femenina; asimismo, una reducción del 15 al 34% en rendimiento.

Cloninger *et al*, citado por Torres (2002), en 28 híbridos simples y ocho líneas de maíz, encontraron que la práctica de la poda retrasa la floración masculina de 5.5 a 7.6 días, y la floración femenina de 5.5 a 7.7 días; determinando que el corte al ras del suelo cuando la planta tiene cuatro hojas liguladas es el mejor para el retraso de la floración en ambos sexos.

Crookston y Hicks, citados por Torres (2002); estudiaron la poda temprana en maíz (cinco hojas), en la faja maicera de EUA, y determinaron que hubo una disminución en el rendimiento del 32 al 53%, y que se altera la iniciación reproductiva del maíz.

Dungan *et al.*, citado por Torres (2002); aplicaron podas en maíz y reportan que hubo retraso en el desarrollo de la planta, además de una reducción del 50% en el rendimiento y cantidad de polen.

### **2.3.2 Flameo**

El flameo es una práctica que se considera provoca estrés en la planta, de tal forma que pudiera traer una repercusión en la producción de semilla y en la calidad de la misma.

Slayer, citado por Dornbos, citado por Torres (2002); menciona al respecto que en maíz el estrés durante el crecimiento vegetativo temprano puede reducir la producción afectando el desarrollo del promedio reproductivo, el cual es muy sensible al estrés, y es el que determina el número de hileras de granos y el número de granos por hilera. Presumiblemente el estrés durante el desarrollo vegetativo tiene menor efecto sobre la calidad de la semilla.

Dornbos (1995), menciona que el estrés de sequía y altas temperaturas normalmente son menos problemáticas durante el crecimiento vegetativo en muchas áreas de producción.

El estrés ambiental que ocurre ocasionalmente durante el crecimiento vegetativo afecta menos la producción, que los estreses que ocurren después del desarrollo. (Torres, 2002).

Green, citado por Torres (2002); utilizó tres líneas blancas de maíz templado de EUA con seis tratamientos de flameo a 5.08, 10.16, 15.24 y 20.32 cm. de altura de planta; el testigo y un sexto tratamiento que consistió en reflamear las plantas cuando tenían 5.08 cm. después el flameo original. Encontró que este último fue el más efectivo para retrasar la floración; el macho tuvo un atraso de 2.2 a 2.6 días y la hembra de 2.3 a 2.8 días, observando además que el rendimiento no se vio afectado significativamente.

La aplicación de flameo en los materiales evaluados logró un retraso de ocho días en la floración masculina y seis en la femenina, con pérdidas no significativas en el rendimiento (0.46 ton/ha); así mismo, logró un atraso significativo en la iniciación tanto del polen como de los estigmas y causó reducciones mínimas en el peso de 1000 semillas y en la altura de planta (Torres et al., 2004, citado por Tadeo, Espinosa y Martínez, 2005).

### **2.3.3 Criss-Cross**

Significa por las palabras en inglés cruza cruzada, es decir, intercambio en la conformación u orden de participación de los progenitores de híbridos, esta alternativa se emplea en la producción de semilla de híbridos de maíz para eliminar algunos

problemas en la coincidencia a floración, aunque también puede ser auxiliar para ordenar en la manera que permita mayor productividad en el incremento de semilla de híbridos determinados. (Torres *et al.*, citado por Tadeo, 2005).

#### **2.3.4 Profundidad de siembra**

Dentro de las consideraciones importantes para el establecimiento adecuado de un cultivo, la profundidad de siembra ocupa un lugar preponderante ya que determina la velocidad y porcentaje de emergencia e influye marcadamente en el vigor de las plántulas emergidas. (Torres, 2002). En un experimento llevado a cabo en el 2004 por Torres determinó que la siembra a 10 cm. de profundidad logró cuatro días de atraso en la floración masculina y tres en la femenina; las densidades de población no causaron cambios significativos en la floración en comparación con el testigo (Torres *et al.*, citado por Tadeo, 2005).

#### **2.3.5 Riegos**

Se señala que excesivo número de riegos retrasa la floración en unos días (uno a tres), sin embargo debe verificarse en cada uno de los materiales antes de emplear esta práctica. (Tadeo *et al.*, 2005).

### **2.3.6 Siembras diferenciadas**

Conociendo la fenología de cada uno de los progenitores, se siembran cada uno de ellos en fecha distinta para lograr la coincidencia durante la etapa de polinización. (Tadeo et al., 2005).

### **2.3.7 Densidad de siembra**

Se entiende por densidad de siembra el número de semillas que se depositan en el momento de la siembra en una hectárea de terreno. En cualquier circunstancia es conveniente tener una distribución uniforme de las plantas en el terreno con objeto de no desperdiciar espacio. La densidad de población óptima para producción de semilla estará de acuerdo con la fertilidad del suelo, la disponibilidad de agua para riego, el porte de las plantas de los progenitores, facilidad para el desespigamiento, nivel de la calidad física de la semilla producida. La densidad de población de maíz varía de 40 a 80,000 plantas por hectárea. (Torres, 2002).

Espinosa y Cervantes, citados por Torres (2002); estudiaron tres diferentes arreglos de surco hembra y macho (4:1, 4:2, 6:2), además de tres densidades de población (30, 50 y 70,000 plantas por hectárea) en los híbridos de maíz H-34 y H-137, encontrando que no hubo diferencias significativas para el arreglo de surcos hembra-macho, sin embargo en densidades se observó que la de 70,000 plantas por hectárea fue la que presentó mayor rendimiento.

Maya, citado por Torres (2002); indica que el estudio del comportamiento genotípico de híbridos de maíz sin considerar su interacción con el ambiente, limita la estimación de su producción. El incremento en el rendimiento puede deberse a modificaciones en el sistema de cultivo, tales como el uso de altas densidades de población, incremento en el uso de fertilizantes químicos, mejor control de plagas, combate de las malezas y mejoramiento genético, encontrando que cada híbrido estudiado requiere de un modelo específico de recomendación y que la densidad de población es importante para maximizar el rendimiento.

### **2.3.8 Unidades Térmicas**

La identificación de un método para estimar con precisión las etapas fenológicas y el ciclo de madurez de los cultivos es importante porque tiene relación con el dominio de recomendación de las variedades, la producción de semilla mejorada y los criterios de selección de variedades mejoradas en función de la estación de crecimiento. El uso de unidades térmicas incrementa la precisión para determinar la duración del ciclo de desarrollo, pero solo se logra si el cálculo de las unidades térmicas se hace con valores cercanos a las temperaturas umbrales que controlan el desarrollo de la especie. (Ruiz *et al.*, 2002).

La utilidad de la escala de grados día de desarrollo o unidades térmicas para definir el tiempo requerido para las diferentes etapas de desarrollo durante el ciclo de los cultivos, permite reducir la variación en las tasas de desarrollo entre estaciones de

crecimiento y localidades de estudio, lo que podría ser útil para la selección de genotipos con amplia adaptación a diversas condiciones ecológicas. (García-Pacheco, 2002). La definición de la magnitud de diferenciales a floración entre hembra y macho de un híbrido se puede lograr a través de la estimación de unidades calor para que ocurra esta fase fenológica. En base a la unidades térmicas acumuladas así como lo requerimientos de cada genotipo en estudios previos, se puede elegir algún mecanismo auxiliar para lograr la coincidencia (Airy *et al*, citado por Tadeo *et al*, 2005).

La temperatura es uno de los factores ambientales que más influyen en el crecimiento y desarrollo de la planta; es importante considerar que las horas calor pueden ser involucradas en la predicción de etapas fonológicas, como auxilio en la planeación de prácticas de cultivo, tanto en la producción de grano, como en la producción de semilla.

Partiendo de un umbral térmico mínimo desde el cual la planta crece, puede estudiarse el efecto que tienen temperaturas en aumento sobre la velocidad de crecimiento del maíz. Este efecto puede expresarse como “días grado” o “unidades calor”. La temperatura mínima, por debajo de la cual el crecimiento del maíz puede considerarse nulo, se estima en 7° C para Valles Altos. (Llanos, 1984).

El retraso entre la antesis y aparición de los estigmas es incrementado cuando los días cortos ( $\leq 12$  horas) son seguidos por días largos; asimismo el desarrollo reproductivo es retrasado por días largos antes de la iniciación de la espiga, y sucesivamente



disminuido por días largos después de la iniciación de la espiga; donde el desarrollo de la mazorca se ve afectado más que el desarrollo de la espiga. (Castillo, 1997).

De la época de siembra a emergencia, la duración de esta depende de la temperatura del suelo. Al principio del ciclo vegetativo, el crecimiento del maíz depende linealmente de la temperatura en el suelo si ésta varía entre 15-17° C. Temperaturas más altas reducen la velocidad de crecimiento de las plantas. (Llanos, 1984).

Otro de los subperiodos importantes en el crecimiento y desarrollo del maíz, es el tiempo de la siembra a la iniciación de la espiga y la antesis. Al respecto Summerfield *et al.*, citado por Castillo (1997), concretizan en tres puntos la manera en que la temperatura puede afectar el tiempo transcurrido de siembra a floración:

- ⤴ Puede ser debido a las temperaturas frías, las que pueden afectar el tiempo de la siembra a la floración; efecto conocido como vernalización<sup>^</sup>.
- ⤴ Debido a la amplia gama de temperaturas, el índice de progreso hacia la floración se incrementa con el aumento de la temperatura óptima, a la cual la floración es más rápida.
- ⤴ Un umbral de temperaturas en el cual la floración se retrasa progresivamente a temperaturas más calidas.

---

<sup>^</sup> Tratamiento de las semillas antes de la siembra para acelerar la floración. La vernalización se logra en algunas especies exponiendo las semillas en germinación a temperaturas un poco superiores a la temperatura de congelación.

La aparición de los estigmas y la antesis, así como otros procesos del crecimiento y desarrollo son afectadas por la temperatura. La suma de calor es una aproximación utilizada para definir la respuesta de desarrollo a la temperatura. El concepto de suma de calor, usualmente considera una respuesta lineal entre el índice de desarrollo y el promedio de temperatura dentro de los límites máximos y mínimos de esta. (Castillo, 1997).

### **2.3.8.1 Ventajas y desventajas en el uso de Unidades térmicas**

#### **Ventajas**

- a) La suma de Unidades Calor es una aproximación utilizada para definir apropiadamente respuestas del maíz a la temperatura.
- b) Los ecologistas frecuentemente utilizan la acumulación de calor arriba de un umbral dado de temperatura, para predecir efectos de ésta en procesos biológicos.
- c) La medición de calor acumulado es una referencia común para el desarrollo de organismos, ya sea cultivos, plagas o insectos benéficos; además el uso de los Días Grado permite a los productores hacer más eficiente el control de plagas.
- d) Menor variación que con el uso de los días calendario para evaluar estados de desarrollo como antesis y aparición de los estigmas
- e) En base a los puntos anteriores se tiene que el uso de las Unidades Calor puede ser útil para los programas de mejoramiento genético de maíz y en la producción

de semillas, ya que facilita la planeación de actividades para la ocurrencia de la polinización, buscando una mejor sincronía en la aparición de las estructuras masculinas y femeninas. (Castillo, 1997).

- f) El diagnóstico del potencial de producción entre regiones y entre genotipos.

## **Desventajas**

- a. De acuerdo a la diversidad de fórmulas de cálculo de unidades calor, se tiene que no existe un acuerdo universal en el método.
- b. Las respuestas de la planta no pueden ser evaluadas por un mismo método de estimación de unidades térmicas.
- c. Existen variaciones en los resultados de cálculo de las unidades calor, debidos a diversas consideraciones respecto a la temperatura base y la temperatura base utilizada en las fórmulas para el cálculo de las unidades térmicas, así como una respuesta diferencial del genotipo.
- d. El número de unidades térmicas puede estar correlacionado negativamente en ciertos periodos de crecimiento y desarrollo de algunos cultivos.
- e. Las unidades térmicas pueden no ser mejores cuantificadores del crecimiento y desarrollo de las plantas que los días del calendario, si la estructura de la ecuación utilizada no está muy relacionada con los efectos verdaderos de las temperaturas en un ambiente particular.
- f. Los métodos de cálculo de unidades térmicas, rara vez incorporan la influencia de otros factores ambientales como el fotoperiodo. (Castillo, 1997).

### 2.3.8.2 Limitaciones de los sistemas de unidades térmicas

1. La fertilidad del suelo; ya que un suelo con alto contenido de fósforo acelera el proceso de maduración, un suelo con alto contenido de nitrógeno retarda el proceso.
2. El tipo de suelo; los suelos pesados se calientan lentamente y los suelos arenosos se calientan rápidamente, aunque el proceso de enfriamiento es inverso.
3. El relieve, las pendientes y el drenaje son importantes ya que afectan las condiciones de temperatura y humedad.
4. La altitud y latitud influyen sobre el número de unidades térmicas requeridas para que la cosecha alcance la madurez.
5. Los daños provocados por heladas y sequía no están previstos en el sistema
6. El viento, el granizo, las tormentas, los insectos y las enfermedades pueden influir sobre los valores de las unidades térmicas necesarias para que la cosecha alcance el estado de madurez. (Tadeo *et al.*, 2005).
7. La intensidad de la luz solar, medida en calorías por centímetro cuadrado por minuto ( $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$ ), tiene una mayor significación que la estricta acumulación de temperatura; porque suministra la energía que requieren las plantas para sus funciones vitales. (Godinez, 2004).

Después de la germinación y en forma gradual, la temperatura del aire se vuelve de gran importancia para las etapas vegetativa y generativa (Torres, 1995).

Las fechas de siembra han sido utilizadas como punto de referencia para el cálculo de la suma de unidades calor en la modelación y fenología de diversos cultivos. En ciertos ambientes, conforme la fecha de siembra es retrasada, la temperatura del suelo y del aire nocturno se incrementa. Bajo estas condiciones puede esperarse un incremento en los índices de crecimiento de la planta como una función del promedio diario de temperaturas del aire (Russell y Stubber citados por Castillo, 1997).

En el cultivo de maíz, varios estudios han sido realizados evaluando métodos de cálculo de horas calor y dentro de ellos el efecto de la fecha de siembra.

Gilmore y Rogers, citados por Castillo (1997), encuentran que conforme es retrasada la fecha de siembra, existe una tendencia a un menor número de días grados acumulados a la aparición de estigmas. Asimismo sugieren que puede esperarse una interacción significativa de los requerimientos de calor y fechas de siembra, cuando otros factores ambientales tales como la sequía afectan el crecimiento y desarrollo.

Un retraso en la fecha de siembra, se asocia con una reducción con el número total de unidades térmicas acumuladas entre el periodo de siembra y madurez fisiológica del maíz.

## 2.4 Métodos para determinar unidades térmicas

Se consideran como unidades térmicas cuando el resultado es positivo (Torres, 1995). Para el cálculo de unidades térmicas, se han propuesto varios métodos: directo, residual, fisiológico, exponencial. Cada uno de estos métodos tiene diferente fundamento científico. Sin embargo, en evaluaciones de métodos realizadas, se ha llegado a la conclusión de que los métodos residual y directo, son los que han dado hasta ahora mejores resultados. Es decir, son los que han mostrado mejor ajuste con requerimientos térmicos de los cultivos.

## 2.5 Madurez Fisiológica

La cosecha es la separación de la planta madre de la porción vegetal de interés comercial. El estado de madurez fisiológica se alcanza cuando los granos logran su máxima acumulación de materia seca, asegurándose con ello la obtención del máximo rendimiento. El grano llega a su madurez fisiológica cuando su contenido de humedad es alrededor del 37-38 por ciento. <sup>^</sup>

La detección precisa de la madurez fisiológica facilita decidir la oportunidad de cosecha, de gran importancia para la industria semillera de maíz, pero su determinación no es sencilla, (Knittle y Burris; citados por Molina *et al*, 2003). Como criterios de decisión se han utilizado la acumulación máxima de peso seco (Aldrich; Shaw y Loomis, citados por Molina *et al*, 2003), el contenido de humedad (Hillson y

---

<sup>^</sup> [http://www.puc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/maiz/llenado.htm](http://www.puc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz/llenado.htm)

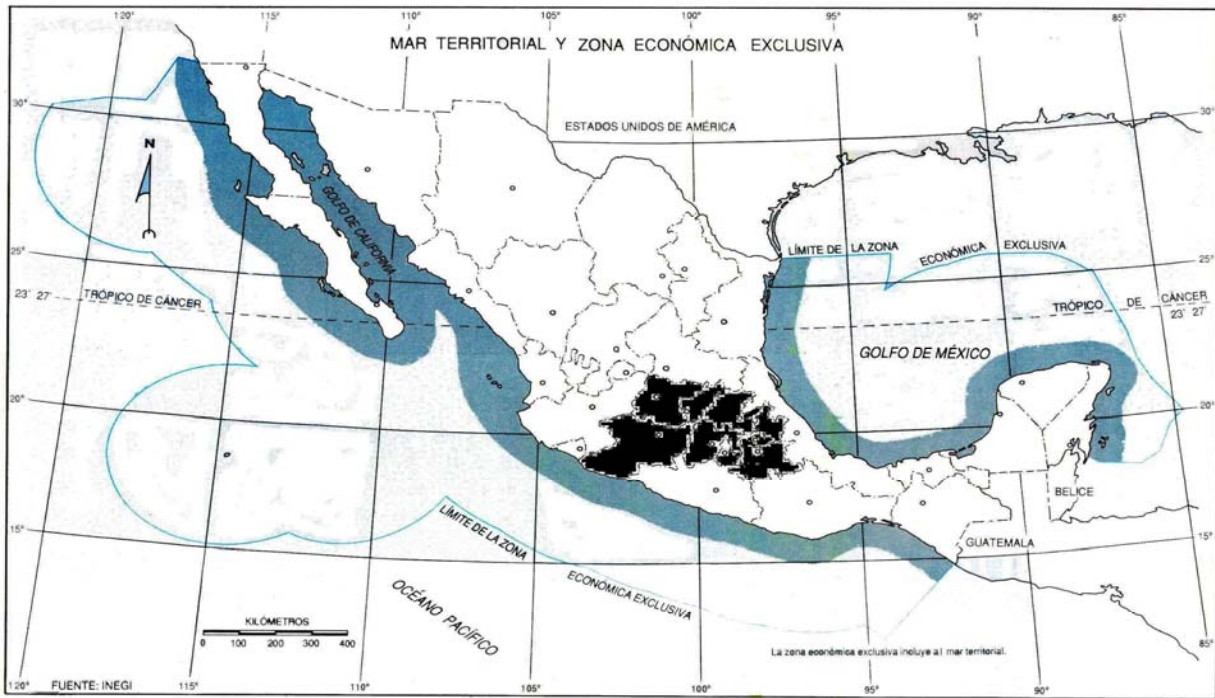
Penny, citados por Molina *et al*, 2003), la presencia de capa negra (Daynard y Duncan, citados por Molina *et al*, 2003) y de la “línea de leche” (Afuakwa y Crookston, citados por Molina *et al*, 2003).

La calidad fisiológica de una semilla resulta de la historia de la planta madre, primero la adquisición de la habilidad para producir semillas vigorosas y tolerar el secado, entonces la pérdida del vigor es un proceso de envejecimiento que empieza durante el secado de la semilla (Powell *et al.*; citado por Mendoza *et al.*, 2004), además, esta calidad de la semilla depende del clima y de las condiciones de crecimiento y desarrollo del cultivo (Delouche, citado por Mendoza *et al.*, 2004).

La madurez fisiológica es el momento, en el desarrollo de la semilla, en el que alcanza su máximo peso seco, lo que representa el fin del periodo de llenado y es allí donde se da la máxima germinación y vigor. (Ruiz, *et al*, 2003).

## **2.6 Descripción de Los Valles Altos y Zonas de Transición de la República Mexicana**

La región de Valles Altos Centrales de México está geográficamente determinada por aquellas zonas que se encuentran entre los 2200 y 2600 msnm; es el área maicera de mayor extensión e importancia, ubicada en los estados de México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala, (Figura 3) que cuentan con un superficie potencial de 3.5 millones de hectáreas (Molina, citado por Sánchez Couoh, 2004).



**Figura 3. Valles Altos y Zonas de Transición**

El área de la Mesa Central de México está caracterizada por presentar una amplia gama de condiciones ambientales, algunas de las cuales son muy favorables; su superficie corresponde a zonas que se han clasificado como de temporal de bajo rendimiento, por la escasa frecuencia y mala distribución de las lluvias. En las que se siembran alrededor de 700,000 hectáreas de maíz con buen potencial de rendimiento, (Arellano citado por Sánchez Couh, 2004).

Las Zonas de Transición que se ubican en los alrededores de los Valles Altos Centrales de México están geográficamente determinadas por aquellas zonas que se encuentran entre los 1800 y 2200 msnm; áreas con poca extensión, pero en las que se produce maíz (*Zea mays* L.); localizadas principalmente en el Bajío, Morelos, Puebla, Tlaxcala,



Hidalgo y México. Del total de la superficie de las Zonas de Transición se siembra una superficie de 400,000 hectáreas de maíz, (Molina, citado por Sánchez Couch, 2004).

En el programa de Maíz del INIFAP (1989), bajo el liderazgo del Dr. Antonio Turrent, fueron clasificados los macroambientes en el cual se cultiva el maíz en la República Mexicana, definiéndose que existen 15 macroambientes (Cuadro 1), donde potencialmente se presentan condiciones para Muy Buena, Buena, Mediana Productividad y Tierras Marginales donde la producción de maíz es muy escasa.

**Cuadro 1. Macroambientes de Siembra con maíz en México**

Nº	MACROAMBIENTE	SUP. MAÍZ (MILES HAS)
01	Trópico Bajo, riego y temporal, Ciclo P-V	2255
02	Trópico Bajo, humedad residual – temporal, ciclo O-I	405
03	Trópico Bajo, riego, ciclo O-I	91
04	Bajío, riego y temporal – humedad residual, ciclo P-V	671
05	Bajío, temporal, ciclo P-V	1058
06	Transición, riego y temporal – humedad residual, ciclo P-V	315
07	Transición, temporal, ciclo P-V	416
08	Valles Altos riego y temporal – humedad residual, ciclo P-V	706
09	Valles Altos, temporal, ciclo P-V	1219
10	Meseta Semiárida del Norte, riego y temporal – humedad residual, ciclo P-V	129
11	Meseta Semiárida del Norte, temporal, ciclo P-V	442
12	Subtrópico Bajo Semiárido, riego, ciclo O-I	615
13	Subtrópico Bajo Semiárido, riego, ciclo P-V	205
14	Subtrópico Bajo Semiárido, temporal, ciclo P-V	234
15	Subtrópico Bajo Semiárido, temporal, ciclo O-I	59
	Total Nacional	8820

Fuente: Dr. Antonio Turrent Fernández, tomado de Tadeo, Espinosa y Martínez, 2005

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterización de la zona de estudio**

El trabajo se realizó utilizando los datos de la Estación Meteorológica "Almaraz" de la FESC de la UNAM, ubicada a los 99° 11' 42" LW y 19° 41' 35" LN a 2274 msnm, en la parcela junto a los invernaderos en el municipio de Cuautitlán Izcalli, México.

La zona se clasifica según el sistema de Koppen, modificado por García, como: Cb ( $w_2$ ) (i'); esto es templado subhúmedo con régimen de lluvia de verano y poca oscilación térmica. El promedio de la precipitación a nivel local es de 583.5 mm/año<sup>^</sup>.

#### **3.2 Material genético**

En el presente estudio se trabajo con los genotipos que se muestran en el cuadro 2.

En todos los casos, estos híbridos son materiales de ciclo Intermedio/ tardío (150-165 días respectivamente) con adaptación a la Zona de Transición El Bajío – Valles Altos; ubicada de 1800 a 2200 msnm.

---

<sup>^</sup> Datos de la Estación Meteorológica Almaraz de 1987-2004

**Cuadro 2. Materiales genéticos establecidos en la FESC, UNAM, para determinar unidades térmicas, ciclo primavera – Verano 2006.**

<b>GENEALOGÍA</b>	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	<b>PARTICIPACIÓN</b>
(241AE X 239) X HC74	Híbrido Trilineal	Híbrido experimental
(242AE X 243) X HC74	Híbrido Trilineal	Híbrido experimental
(246 X 242) X HC74	Híbrido Trilineal	Híbrido experimental
244F X 349	Cruza simple	Hembra fértil
244 AE X 349	Cruza simple	Hembra Androesteril
241 AE X 239	Cruza simple	Hembra Androesteril
241 AE	Línea	Androesteril
246 X 242	Cruza simple	Hembra fértil
242 AE X 243	Cruza simple	Hembra Androesteril
242 AE X 246	Cruza simple	Hembra Androesteril
CML239	Línea	Fértil
CML243	Línea	Fértil
241 F	Línea	Fértil
HC74	Línea	Fértil

### **3.3 Siembra**

La siembra se realizó el día 8, 12 y 16 de mayo de 2006, con pala y depositando 3 semillas por golpe. En el ciclo primavera–verano 2006, la parcela experimental constó de diez surcos de 40 m de largo, con una distancia entre surcos de 80 cm., y 40 cm. entre planta y planta. En total se ocupó una superficie de 32 m<sup>2</sup>.

### **3.4 Riego**

El primer riego se realizó inmediato a la siembra y se proporcionó un riego de auxilio cada semana hasta que se establecieron las lluvias.

### **3.5 Control de malezas**

En este caso solo se realizaron labores de deshierbes y aporque en forma manual haciendo uso de azadón.

### **3.6 Diseño experimental**

Las parcelas establecidas en el ciclo primavera-verano 2006 se establecieron sin un diseño experimental propiamente dicho.

### **3.7 Cálculo de unidades térmicas**

#### **3.7.1 Método Directo**

Consiste en sumar las temperaturas medias diarias desde la germinación hasta la madurez, excepto las temperaturas debajo de cero grados centígrados.

$$UT = \sum_{i=0}^n (T_i - T_0) C$$

UT = Unidades térmicas

T<sub>i</sub> = Temperatura media diaria en el día i

n = Número de días a la maduración

### 3.7.2 Método Residual

Los parámetros que se requieren para calcular unidades térmicas por este método, son temperatura máxima, temperatura mínima y una temperatura base, que depende de cada especie vegetal, y debajo de la cual el crecimiento y desarrollo se inhiben. La temperatura base o umbral para genotipos que se adaptan a regiones templadas o Valles Altos, la temperatura base es de 7° C.

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

$$UT = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_{base}$$

UT = Unidades térmicas  
T max = Temperatura máxima  
T min = Temperatura mínima  
T Base = Temperatura base

### 3.8 Caracteres a evaluar

#### 3.8.1 Días a floración masculina

Se tomó como apreciación visual su desarrollo desde la siembra, hasta el momento en que se registró la emergencia de la panícula, se observó el desarrollo de la espiga y se anotó la fecha en cual comienza a liberar el polen.

### **3.8.2 Días a floración femenina**

Al igual que las plantas masculinas se observó su desarrollo y se anotó el día en que los estigmas de las plantas emergieron.

### **3.8.3 Madurez fisiológica**

Se tomaron dos mazorcas de cada uno de los genotipos, después de la fecha que se estima que podría llegar a su madurez, determinándose la humedad de la semilla, hasta que se determine que ya ha llegado a la madurez, a la humedad de 37% en el grano o semilla.

#### IV. RESULTADOS

##### 1.1 Resultados obtenidos en campo para el híbrido (241AE X 239) X HC74

El Cuadro 3 muestra que el progenitor macho del híbrido (241AE X 239) X HC74 inicia la liberación de polen a los 84 días y que 9 días después el polen liberado era casi imperceptible, determinándose que el progenitor HC74 libera polen hasta los 93 días después de la siembra.

Para el progenitor hembra del híbrido, se observó que los estigmas son visibles a los 77 días; y que dejan de ser receptivos a los 85 días.

**Cuadro 3. Datos de inicio y final de floración de los progenitores del híbrido (241AE \* 239) X HC74**

Progenitor	Floración		Floración al 50%
	Inicio	Final	
♂ HC74	84	93	89
Progenitor	Floración		
	Inicio	Final	
♀ (241AE X 239)	77	85	81

De acuerdo con la clasificación propuesta por Ramírez en 2004, los datos obtenidos llevan a determinar una diferencia de floración entre el progenitor hembra y el progenitor macho de 8 días, lo que coloca al híbrido (241AE X 239) X HC74 entre un

50% de coincidencia a floración y se clasifica entre una mediana coincidencia respectivamente, (Cuadro 4).

**Cuadro 4. Propuesta de clasificación por nivel de coincidencia a floración entre progenitores de híbridos de maíz para los Valles Altos y Bajío**

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>NÚMERO DE DÍAS DE DIFERENCIAL A FLORACIÓN</b>	<b>PORCENTAJE DE COINCIDENCIA (%)</b>
Completa Coincidencia	0	100
Muy Alta Coincidencia	2	80
Alta Coincidencia	4	70
Regular Coincidencia	6	60
Mediana Coincidencia	8	50
Baja Coincidencia	10	40
Muy Baja Coincidencia	12	30
Pésima Coincidencia	14	20
Nula Coincidencia	16	10
Nula Coincidencia	18	0
Fuente: Ramírez, 2004.		

## **1.2 Comparativo de Unidades Térmicas para el Híbrido (241AE X 239) X HC74**

La determinación de Unidades Térmicas (UT) por el método directo indica que el progenitor macho a los 93 días acumuló 1391.6 UT ( $1391.6/89 = 15.63$ ), en tanto el progenitor hembra al 50% en su floración femenina (81 días), acumuló 1210.2 UT ( $1210.2/81 = 14.94$ ). Lo anterior indica que la diferencia en unidades térmicas entre 1391.6 UT y 1210.2 UT son 181.4 unidades térmicas, que en unidades ponderadas por



los días de cada progenitor a floración con la media ya obtenida, son 15.63 para un caso y 14.94 para el otro.

La determinación de Unidades Térmicas (UT) por el método residual indica que el progenitor hembra a los 81 días acumuló 756.1 UT ( $756.1/81 = 9.33$ ), en tanto el progenitor macho, acumuló 881.3 UT ( $881.3/89 = 9.90$ ). La diferencia de estos métodos es de 181.4 UT y 125.2 UT respectivamente. Lo anterior muestra que la diferencia en unidades calor entre 881.3 UT y 756.1 UT son 125.2 unidades térmicas. (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (241AE \* 239) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
(241AE X 239)	1210.2	756.1
HC74	1391.6	881.3
Diferencia de UT entre Progenitores	181.4	125.2
Diferencia de sincronía en días	8	8

### **1.3 Unidades Térmicas para el Híbrido (241AE X 239) X HC74 a Madurez Fisiológica**

Fue a partir de la floración el cálculo de unidades térmicas para Madurez Fisiológica, a partir de las fechas de floración; los datos obtenidos son los siguientes:

La determinación de Unidades Térmicas (UT) por el método directo indica que el progenitor macho 88 días después de la floración acumuló 1489.9 UT ( $1489.9/88 = 16.93$ ), en tanto el progenitor hembra, acumuló 1627.7 UT ( $1627.7/96 = 16.95$ ). (Cuadro 6).

La determinación de Unidades Térmicas (UT) por el método residual indica que el progenitor macho a los 88 días después de la floración acumuló 866.2 UT ( $866.2/88 = 9.84$ ), en tanto el progenitor hembra, acumuló 948.8 UT ( $948.8/96 = 9.88$ ). La diferencia de estos métodos es de 181.4 UT y 125.2 UT respectivamente

Lo anterior muestra que la diferencia en unidades calor entre 948.8 UT y 866.2 UT son 82.6 unidades térmicas.

**Cuadro 6. Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (241AE \* 239) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
(241AE X 239)	1627.7	948.8
HC74	1489.9	866.2

Por lo tanto, las Unidades Térmicas acumuladas por el método directo para el ciclo del maíz desde la siembra a la madurez para el progenitor hembra del híbrido (241AE \* 239) X HC74 son 2837.9 UT; la acumulación de calor promedio fue de 18.9 unidades térmicas. En tanto para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 2881.5 UT. (Cuadro 7).

El método residual muestra que las unidades térmicas acumuladas para el progenitor hembra fue de 1704.9 UT y para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 1747.5; la acumulación promedio diario fue de 10.9 unidades térmicas.

**Cuadro 7. Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (241AE \* 239) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas					
	MD	UTP	DM	MR	UTP	DM
(241AE X 239)	2837.9	18.9	150.1	1704.9	10.9	156.4
HC74	2881.5	18.9	152.4	1747.5	10.9	160.3

Donde: MD: Método Directo, MR: Método Residual, UTP: Unidades Térmicas Promedio, DM: Días a Madurez

**1.4 Resultados obtenidos en campo para el híbrido (242AE X 243) X HC74**

Los datos experimentales mostraron que el progenitor macho del híbrido (242AE X 243) X HC74 inicia la liberación de polen a los 84 días y que 9 días después el polen liberado era casi imperceptible, determinándose que el progenitor HC74 esta liberando polen a los 93 días después de la siembra. (Cuadro 8).

En este caso se observo que para el progenitor hembra los estigmas son visibles a los 78 días; y que dejan de ser receptivos a los 85 días.

**Cuadro 8. Datos de inicio y final de floración de los progenitores del híbrido (242AE \* 243) X HC74**

Progenitor	Floración		Floración al 50%
	Inicio	Final	
♂ HC74	84	93	89
Progenitor	Floración		
	Inicio	Final	
♀ (242AE X 243)	78	85	82

Los datos obtenidos llevan a determinar una diferencia de floración entre el progenitor hembra y el progenitor macho de 7 días, lo cual coloca al híbrido (242AE X 243) X HC74 entre un 55% de coincidencia a floración y se clasifica entre mediana a regular y coincidencia respectivamente.

### **1.5 Comparativo de Unidades Térmicas para el Híbrido (242AE X 243) X HC74**

La determinación de unidades térmicas, por el método directo muestra que el progenitor macho a los 93 días acumulo 1391.6 UT ( $1391.6/89 = 15.63$ ), en tanto el progenitor hembra al 50% en su floración femenina (82 días), acumuló 1228.1 UT ( $1228.1/82 = 14.97$ ). (Cuadro 9).

Mientras que la acumulación de unidades térmicas por el método residual indica que el progenitor hembra a los 82 días acumulo 767.0 ( $767.0/82=9.35$ ) y el progenitor macho acumulo 881.3 UT ( $881.3/89= 9.90$ ).

**Cuadro 9. Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (242AE \* 243) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
(242AE X 243)	1228.1	767.0
HC74	1391.6	881.3
Diferencia de UT entre Progenitores	100.2	114.3

**1.6 Unidades Térmicas para el Híbrido (242AE X 243) X HC74 a Madurez Fisiológica**

La determinación de unidades térmicas por el método directo indica que el progenitor macho 88 días después de la floración acumulo 1489.9 UT, en tanto el progenitor hembra acumulo 1507.0 UT. (Cuadro 10).

La determinación de unidades térmicas por el método residual señala que el progenitor macho a los 88 días después de la floración acumulo 866.2 UT; en tanto el progenitor hembra acumulo 877.0 unidades térmicas.

**Cuadro 10. Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (242AE \* 243) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
(242AE X 243)	1507.0	877.0
HC74	1489.9	866.2

Por lo tanto, las Unidades Térmicas acumuladas por el método directo para el ciclo del maíz desde la siembra a la madurez para el progenitor hembra del híbrido (242AE \* 243) X HC74 son 2735.1 UT; a acumulación de calor promedio fue de 18.9 unidades térmicas. En tanto para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 2881.5. (Cuadro 11).

El método residual muestra que las unidades térmicas acumuladas para el progenitor hembra fue de 1644.0 UT y para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 1747.5; a acumulación de calor promedio fue de 10.9 unidades térmicas.

**Cuadro 11. Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (242AE \* 243) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas					
	MD	UTP	DM	MR	UTP	DM
(242AE X 243)	2735.1	18.9	144.7	1644.0	10.9	150.8
HC74	2881.5	18.9	152.4	1745.5	10.9	160.1

Donde: MD: Método Directo, MR: Método Residual, UTP: Unidades Térmicas Promedio, DM: Días a Madurez

### 1.7 Resultados obtenidos en campo para el híbrido (242\*246) \* HC74

Con respecto al este híbrido, los datos mostraron que el progenitor hembra se observó que los estigmas son visibles a los 80 días y que dejan de ser receptivos a los 87 días. (Cuadro 12).

El progenitor HC74 está liberando polen a los 93 días después de la siembra.

**Cuadro 12. Datos de inicio y final de floración de los progenitores del híbrido (242\*246) X HC74**

Progenitor	Floración		Floración al 50%
	Inicio	Final	
♂ HC74	84	93	89
Progenitor	Floración		
	Inicio	Final	
♀ (242 X 246)	80	87	84

Los datos obtenidos llevan a determinar una diferencia de floración entre el progenitor hembra y el progenitor macho de 5 días, lo que coloca al híbrido (242\*246) X HC74 entre un 65% de coincidencia a floración y se clasifica entre una alta y regular coincidencia respectivamente.

### **1.8 Comparativo de unidades térmicas para el híbrido (242\*246) \* HC74**

La determinación de unidades térmicas por el método directo indica que el progenitor hembra al 50% en su floración acumulo 1261.7 UT ( $1261.7/84=15.1$ ). (Cuadro 13).

Por el método residual indica que el progenitor hembra a los 84 días acumulo 787.0 UT ( $787.0/84= 9.36$ )

**Cuadro 13. Unidades Térmicas Acumuladas a floración de los progenitores del híbrido (242\*246) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
(242*246)	1261.7	787.0
HC74	1391.6	881.3
Diferencia de UT entre Progenitores	129.9	94.3

**1.9 Unidades térmicas para el híbrido (242\*246) \* HC74 a madurez fisiológica**

Por el método directo indica que el progenitor macho 88 días después de la floración acumulo 1489.9 UT ( $1489.9/88= 16.93$ ); en tanto el progenitor hembra acumulo 1507.0 UT. (Cuadro 14).

La determinación de unidades térmicas por el método residual señala que el progenitor macho a los 88 días después de la floración acumulo 823.6 UT; en tanto el progenitor hembra acumulo 877.0 unidades térmicas

**Cuadro 14. Unidades Térmicas Acumuladas a Madurez Fisiológica a partir de la fecha de floración de los progenitores del híbrido (242 \* 246) \* HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas	
	Directo	Residual
242 * 246	1507.0	877.0
HC74	1489.9	823.6



Por lo tanto, las Unidades Térmicas acumuladas por el método directo para el ciclo del maíz desde la siembra a la madurez para el progenitor hembra del híbrido (242 \* 246) X HC74 son 2768.7 UT; a acumulación de calor promedio fue de 18.9 unidades térmicas. En tanto para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 2881.5. (Cuadro 15).

El método residual muestra que las unidades térmicas acumuladas para el progenitor hembra fue de 1644.0 UT y para el progenitor macho la acumulación de calor fue de 1747.5; a acumulación de calor promedio fue de 10.9 unidades térmicas.

**Cuadro 15. Unidades Térmicas Totales desde la Siembra a Madurez Fisiológica de los progenitores del híbrido (242 \* 246) X HC74**

Progenitor	Método para el Cálculo de Unidades Térmicas					
	MD	UTP	DM	MR	UTP	DM
242 X 246	2768.7	18.9	146.4	1644.0	10.9	150.8
HC74	2881.5	18.9	152.4	1747.5	10.9	160.3

Donde: MD: Método Directo, MR: Método Residual, UTP: Unidades Térmicas Promedio, DM: Días a Madurez

### 1.10 Resultados Líneas y Cruzas

Las líneas progenitoras llegaron a floración masculina entre los 77 y 80 días, en los cuales la acumulación de calor fue de 1236.4 UT por el método directo, por el método residual la acumulación de calor fue de 771.8 UT; para floración femenina la aparición de estigmas fue entre los 80 y 82 días, en donde la acumulación de calor por el método directo fue de 1278.7 UT y por el método residual fue de 797.0 UT; lo que significa una

asincronía de 2 a 3 días, lo cual se clasifican en alta coincidencia; es decir, en 75% de coincidencia. (Cuadro 16).

**Cuadro 16. Días a floración y acumulación de calor de líneas progenitoras**

<b>Genotipo</b>	<b>FM</b>	<b>UT MD</b>	<b>UT MR</b>	<b>FF</b>	<b>UT MD</b>	<b>UT MR</b>
<b>241AE</b>	78	1228.1	767.0	80	1261.7	787.0
<b>241F</b>	80	1261.7	787.0	82	1295.7	807.0
<b>243</b>	79	1245.4	777.3	82	1295.7	807.0
<b>239</b>	77	1210.2	756.1	80	1261.7	787.0

Donde: FM: floración Femenina, UT MD: Unidades Térmicas Método Directo, FF: Floración Femenina, UT MR: Unidades Térmicas Método Residual

Las cruza simples llegaron a floración masculina entre 77 y 78 días, las unidades térmicas acumuladas por el método directo y residual fueron 1216.2 y 786.8 respectivamente; para floración femenina la aparición de estigmas fue a los 81 días, por consiguiente la acumulación de calor por el método directo fue de 1278.5 UT y 796.8 por el método residual; lo que significa una asincronía de 3 días, lo cual se clasifica en alta coincidencia; es decir en 75% de coincidencia. (Cuadro 17).

**Cuadro 17. Días a floración y de acumulación de calor para cruza simples**

<b>Genotipo</b>	<b>FM</b>	<b>UT MD</b>	<b>UT MR</b>	<b>FF</b>	<b>UT MD</b>	<b>UT MR</b>
<b>242AE*343</b>	78	1228.1	767.0	81	1278.5	796.8
<b>244AE*343</b>	77	1210.2	796.8	81	1278.5	796.8
<b>244F*349</b>	77	1210.2	796.8	81	1278.5	796.8

Donde: FM: floración Femenina, UT MD: Unidades Térmicas Método Directo, FF: Floración Femenina, UT MR: Unidades Térmicas Método Residual

## V. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos en campo y los objetivos planteados en el presente trabajo se concluye lo siguiente:

1. Las unidades calor totales desde la siembra a la madurez para los híbridos van desde las 1644 UT hasta las 1704 UT para los progenitores hembra y para el progenitor macho la acumulación de calor es de 1745 UT, por el método residual; por el método directo para el progenitor hembra van desde las 2735 UT hasta las 2838 UC y para el progenitor macho es de 2881 UT
2. Se determinó con base a los resultados de campo que la clasificación por coincidencia a floración de los progenitores de los híbridos (241AE\*239) \* HC74, (242AE\*243) \* HC74 y (242\*246) \* HC74; es entre un 50, 55 y 65 % respectivamente, se clasifican de mediana a regular coincidencia, es decir entre 6 a 8 días de diferencia.
3. Se determinó que tanto las líneas como las cruzas se clasifican en una alta coincidencia con un 75% de coincidencia.
4. La determinación de unidades térmicas permite establecer la relación que existe en coincidencia a floración con la clasificación por sincronía. Debido a que las unidades

térmicas nos indican los días de diferencia que existen entre cada uno de los progenitores para así lograr una buena fecundación.

5. Los días que necesitan para madurar los progenitores de acuerdo a los cálculos establecidos son entre 150 y 160 días.
6. La estimación de las unidades calor permiten elegir la fecha de siembra adecuada y generar un manejo adecuado del cultivo.
7. Cada línea, cruza, y/o híbrido requiere que se defina su coincidencia y requerimientos de unidades térmicas, para lograr su sincronía, como se determinó en este trabajo.
8. El uso de las unidades térmicas es una herramienta sencilla para la determinación de acumulación de calor para la planta de maíz para establecer el nivel de coincidencia a floración entre progenitores.
9. La determinación de Unidades Térmicas, muestra que la temperatura es importante para el crecimiento y desarrollo del cultivo para cada una de las etapas fenológicas del mismo; esto no significa que otros elementos del clima incidan en la fenología del maíz; y que la utilización de esta técnica es un instrumento de predicción.

10.El desarrollo de los cultivos depende de la temperatura, por lo que se requiere determinar índices de temperaturas para cada una de las regiones agroecológicas del territorio nacional.

11.La acumulación de calor por el método residual al ser un método sencillo y práctico permite establecer un número más significativo de unidades térmicas acumuladas, por utilizar una temperatura base que depende de cada especie vegetal y debajo de la cual el crecimiento y desarrollo se inhibe; es decir que cualquiera que fuese el lugar, se puede determinar la cantidad de calor necesaria para cada región agroecológica independientemente de los índices de temperaturas para así elegir las fechas de siembra más adecuadas.

12.El método directo y residual, son los más sencillos y prácticos al utilizar los registros de las temperaturas máximas y mínimas, permiten realizar predicciones para favorecer los rendimientos en la producción de semilla.

13.La técnica de unidades térmicas es una herramienta que permite identificar fechas de siembra de los diferentes híbridos de maíz para que coincidan en la floración.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- ✦ Arteaga R., R. 1983. Meteorología Agrícola. Departamento de Irrigación. UACH.
- ✦ Castillo A., C. 1997. Unidades Calor y predicción de etapas de desarrollo en progenitores de híbridos de maíz. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco.
- ✦ Corzo S, J. C. 1991. Estación de crecimiento y potencial térmico para cultivos básicos en el Estado de México. Tesis de Licenciatura FES-C UNAM.
- ✦ Espinosa C., A., M. Sierra M. y N. Gómez M. 2002. Producción y tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. Revista Agronomía Mesoamericana (México) Vol.:14 (1): pp. 117-121.
- ✦ Espinosa C., A., A. Turrent., F., M. Tadeo R., N. Gómez M., M. Sierra M., A. Palafox C., F. Caballero H., F. Rodríguez M., R. Valdivia B. y V. Esqueda E. 2007 .Algunos elementos de la crisis del maíz y la tortilla en México. Resúmenes LIII Reunión Anual PCCMMCA en Antigua Guatemala.
- ✦ García P., A. D. y López C., C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. Rev. Fitotec. Mex., Vol. 25, (4) pp. 381-386.

- ✦ Godinez R. A. 2003. Estudio de la radiación solar global en Cuautitlán Izcalli, México. Tesis de Licenciatura FES-C UNAM.
  
- ✦ Guenko, G. 1974. Fundamentos de la Horticultura Cubana. Instituto Cubano del Libro. La Habana.
  
- ✦ Gutiérrez del R., E., Palomo G., A., Espinosa B., A. y De la Cruz L., E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la cámara lagunera, México. Rev. Fitotec. Mex., Vol. 25, (3), pp. 271-277.
  
- ✦ Llanos C., M. 1984. El Maíz Su cultivo y aprovechamiento. Mundi-prensa, España.
  
- ✦ Mendoza E., M., Latournerie L., Moreno E., Castañon E., Cruz C., J., De León C. y García J. G. 2004. Cambios en la calidad de la semilla de maíz durante su desarrollo y maduración. Agronomía Mesoamericana, Vol. 15, (2) Universidad de Costa Rica, Alajuela, Costa Rica, pp. 155-160.
  
- ✦ Mendoza R., M. 2003. Producción eficiente de maíz en el centro de México. Departamento de Fitotecnia. UACH.
  
- ✦ Milton P., J. y Allen S., D. 2005 Mejoramiento genético de las cosechas. Ed Limusa 2ª edición, México.

- ✦ Molina M., J.C., González H., V. A, Carballo C., A, Livera M., M, Castillo G., F, Ortega D., M. L. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 26, (4), pp. 271-277.
  
- ✦ Ortiz T., C, Espinosa C., A., H. S Azpiroz, R., y S. Sahagún, C (Com). 2005. Producción y tecnología de semillas de maíz del INIFAP para los Valles Altos y Zonas de transición. INIFAP. CIRCE Campo Experimental Valle de Toluca. 122 p. (Libro técnico N° 3). Zinacantepec Estado de México.
  
- ✦ Ramírez O., R. 2004. Clasificación por unidades térmicas de la coincidencia a floración para producción de semilla de híbridos de maíz de valles altos. Tesis de Licenciatura FESC-UNAM.
  
- ✦ Reyes C., P. 1990. El maíz y su cultivo. AGT Editor.
  
- ✦ Ruiz C., J. A., Flores L., H. E., Ramírez D., J. L. y González E., D. R. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. Agrociencia, septiembre-octubre, Vol. 36, (5) Colegio de Postgraduados, Texcoco, México pp. 569-577.



- ✦ Ruiz, M. De los A.; Pérez, M.A.; Argüello, J.A. y Babinec, F. J. 2003. Madurez Fisiológica de la semilla de *Bromus auleticus* Trin. (cebadilla chaqueña). RIA, 32 (2): 3-20, INTA Argentina.
  
- ✦ Sánchez C, J. 2004. Velocidad de emergencia y acumulación de materia seca en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en dos sustratos. Tesis de Licenciatura FESC-UNAM.
  
- ✦ Tadeo R., M., Espinosa C., A., Martínez M., R., Solano., A., y Lothrop., J. 2004. PUMA 1075 Híbrido de maíz para los Valles Altos de México (2200 a 2600 msnm). UNAM FESC.
  
- ✦ Tadeo R., M. y Espinosa C., Alejandro. 2004. Producción y tecnología de semillas. UNAM FESC División de Ciencias Agropecuarias Ingeniería Agrícola Proyecto PAPIME EN209803, Cuautitlán Izcalli.
  
- ✦ Tadeo R., M., Espinosa C., A. y Martínez M., R. 2005. "Procedimientos Técnicos para la producción de semilla de híbridos y variedades de maíz en México". UNAM-FESC Departamento de Ciencias Agrícolas Proyecto PAPIME: EN209803, Cuautitlán Izcalli.

- ✦ Torres F., J. L., Lewis B., D., Carballo C., A. y Estrada G., J. A. 2004. Técnicas para sincronizar floración en la producción de semilla híbrida de maíz. Agricultura Técnica en México Vol. 30 Núm. 1, pp. 89-100, INIFAP.
  
- ✦ Torres F., J. L. 2002. Técnicas para sincronizar floración en la producción de semilla híbrida de maíz en los Valles Altos de México. Tesis de Maestría Colegio de Postgraduados, Montecillo Texcoco.
  
- ✦ Torres R., E. 1995. Agrometeorología. Trillas, México.
  
- ✦ Trejo V., R. 2003. Determinación de la normal climática de la Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. Tesis de Licenciatura. FESC-UNAM.
  
- ✦ Villalpando I., F. 1991. Temperatura y Fenología Agrícola. Guadalajara, Jalisco, agroclimatología.
  
- ✦ Villalpando I., F. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la Agricultura, LIMUSA. México.