



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS

## DETERMINACIÓN DEL MOMENTO OPORTUNO DE COSECHA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

GABRIEL ANGEL LOZANO PÉREZ

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

La presente tesis titulada: "**Determinación del momento oportuno de cosecha de maíz (zea mays l.) para la producción de semilla**", realizada por el alumno: **Gabriel Angel Lozano Pérez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
PRODUCCIÓN DE SEMILLAS**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
**DR. AQUILES CARBALLO CARBALLO**

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
**MC. JUAN CELESTINO MOLINA MORENO**

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
**DR. ALBERTO ANTONIO CHASSAIGNE RICCIULLI**

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2021

# DETERMINACIÓN DEL MOMENTO OPORTUNO DE COSECHA DE MAÍZ (*Zea mays* L.) PARA LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

Gabriel Angel Lozano Pérez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2021

## RESUMEN

En la producción de semilla de maíz (*Zea mays* L.), es común registrar las etapas fenológicas con base en los días transcurridos después de la siembra (DDS), y los grados día de desarrollo (GDD). La época oportuna de cosecha se basa en el contenido de humedad de la semilla y se relaciona con la presencia de la línea de leche (LL) y la capa negra (CN). En El Batán, Edo. de México en el ciclo PV 2019, se evaluó la germinación y el vigor de semillas con diferente grado de madurez de dos cruza simples hembra de maíz, con un polinizador común, y su relación con su humedad a cosecha, LL y CN. Las mazorcas de las cruza simples se cosecharon semanalmente durante la etapa de llenado de grano, hasta que éste presentó 12% de humedad en campo. En cada muestreo se registró el avance porcentual de la LL y la presencia de la CN, así como la germinación y vigor de cada muestra en los estratos basal, medio y apical de la mazorca. Los resultados indicaron que en la mayoría de las variables no hubo diferencias entre estratos ni entre genotipos. Se confirma que el avance en la LL y la presencia de la CN son indicadores de la madurez fisiológica (MF) de la semilla y que la LL puede ser un mejor indicador visual de MF que la presencia de la CN. El contenido de humedad y el porcentaje de germinación, se estabilizaron a partir de los 143 DDS, cuando en el grano de los dos genotipos se registró un promedio de humedad de 30.5%, y alcanzaron porcentajes de germinación de 79 y 82% respectivamente, la MF se alcanzó a los 150 DDS, 75 días después de la polinización, con 1,736 GDD.

**Palabras clave:** Días después de la siembra, grados día de desarrollo, producción de semilla, *Zea mays* L.

# DETERMINATION OF THE TIMELY HARVEST OF CORN (*Zea mays* L.) FOR SEED PRODUCTION

Gabriel Angel Lozano Pérez, MC.  
Colegio de Postgraduados, 2021

## ABSTRACT

In the production of maize seed (*Zea mays* L.), it is common to record the phenological stages based on the days elapsed after sowing (DAS), and the degree days of development (DDD). The timely harvest time is based on the moisture content of the seed and is related to the presence of the milk line (ML) and the black layer (BL). In El Batán, Edo. de Mexico in the PV 2019 cycle, the germination and vigor of seeds with different maturity levels of two simple female maize crosses, with a common pollinator, and their relationship with their moisture at harvest, ML and BL were evaluated. The ears of the simple crosses were harvested weekly during the grain filling stage, until it presented 12% moisture in field. In each sampling, the percentage advance of the BL and the presence of the BL were recorded, as well as the germination and vigor of each sample in the basal, middle and apical strata of the ear. The results indicated that in most variables there were no differences between strata or between genotypes. It is confirmed that the advance in ML and the presence of BL are indicators of the physiological maturity (PM) of the seed and that ML can be a better visual indicator of PM than the presence of BL. The moisture content and the germination percentage, stabilized from 143 DAS, when in the grain of the two genotypes an average humidity of 30.5% was registered, and germination percentages of 79 and 82% respectively were reached, the PM was reached at 150 DAS, 75 days after pollination, with 1,736 DDD.

**Keywords:** Days after sowing, Degree days of development, Seed production, *Zea mays* L.

## DEDICATORIA

A Dios, por brindarme el soplo de vida y ponerme en el camino correcto, regalándome conocimiento, persistencia, paciencia, honradez y agradecimiento. Él es quien me permite abrir los ojos cada mañana y entregarme una oportunidad más, para hacer realidad todos mis sueños, porque solo Él pone lo necesario en mis manos para triunfar y alcanzar la felicidad, junto a las personas que más amo.

A mis hijos, Edwin Gabriel y Erick Yael, que son el motivo para vivir cada día y el motor espiritual para hacerme una mejor persona en cada momento y poder brindarles lo que se merecen. Ustedes, son el tesoro más grande de mi vida, y como tal, son lo primero que pienso al despertar, están detrás de cada acción de cada día y son el último pensamiento antes de dormir. Sólo espero brindarles un motivo de orgullo y a la vez, ser un humilde ejemplo de trabajo, constancia y esfuerzo. La distancia sólo es un impedimento físico, que es superado por el amor y sus nombres tatuados en mi corazón. Los amo más que a mi vida.

A mis Padres, María Esther y Florencio ( † qepd ), cuyo amor incondicional, sacrificio, apoyo y ejemplo, me impulsaron en cada etapa de mi vida, porque al mostrarme que el amor entre dos seres puede durar más que una vida entera, pese a estar llena de obstáculos y adversidades, me enseñaron que una palabra o un gesto de amor proporcionado, es la fuerza que supera lo material. Hoy, en un sencillo homenaje, me brindo ante ellos y con una rodilla en el suelo, les regreso una pequeña satisfacción, como un humilde trofeo a su obra.

A Guille, mujer maravillosa, cuya luz me ha llenado de paz y ha estado conmigo en las buenas, en las malas y en las peores. Has sabido sacar lo mejor de mí, me brindas fortaleza y llenas mi espíritu de todos los sentimientos que puede experimentar un ser amado, y me acompañas en esta oportunidad de vida maravillosa, para cumplir nuestros más anhelados sueños y metas. Te amo. A ti mi Frank, quien, con tu cariño, paciencia y tolerancia, me has vuelto a enseñar el valor de ser un padre.

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a los contribuyentes del Pueblo de México, por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Postgrado (Maestría en Ciencias).

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, a su personal académico y administrativo, por brindarme la oportunidad de superación en mi formación profesional.

A la Coordinación del Programa de Recursos Genéticos y Productividad, Producción de Semillas, y a todo el personal académico y administrativo, a quienes les debo los conocimientos adquiridos. Gracias por su experiencia y la paciencia hacia mi persona.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y a su Programa de Maíz, por permitirme realizar el trabajo de investigación y contribuir con recursos y personal para el éxito del mismo.

A los integrantes de mi Consejo Académico Particular: Dr. Aquiles Carballo Carballo, Dr. Alberto Antonio Chassaigne Ricciulli y al MC. Juan Celestino Molina Moreno, por su atinada y experta orientación, sus consejos oportunos y observaciones pertinentes, mostrándome siempre su interés por obtener una investigación útil y por brindarme la oportunidad de superación profesional.

A mis compañeros y amigos que compartieron conmigo horas de aprendizaje, motivándome a la permanente superación personal, y a las valiosas experiencias que su entusiasmo de gente profesional joven, que contribuyeron muchas veces a tener un punto de vista diferente.

Y, a todas esas personas que de una u otra manera aportaron una palabra de aliento, una acción generosa o un pensamiento positivo para alcanzar esta gran meta lograda, GRACIAS INFINITAS.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	iii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivos Generales.....	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.2 Hipótesis.....	4
<b>II. REVISION DE LITERATURA</b> .....	5
2.1 Generalidades del cultivo de Maíz.....	5
2.1.1 Descripción botánica.....	5
2.1.2 Importancia social.....	6
2.1.3 Importancia económica.....	6
2.1.3.1 Panorama internacional.....	6
2.1.3.1.1 Producción.....	6
2.1.3.1.2 Comercio.....	8
2.1.3.2 Panorama nacional.....	10
2.1.3.2.1 Producción.....	10
2.1.3.2.2 Comercio.....	11
2.1.3.2.3 Consumo.....	13
2.2 Mejoramiento genético.....	14
2.2.1 Criterios de selección.....	14
2.2.2 Proceso de producción de híbridos de maíz.....	15
2.3 Producción de semilla certificada en México.....	16
2.3.1 Programas de fomento a la producción de semilla en México.....	16
2.3.2 Producción de semilla certificada de maíz.....	19
2.3.3 Futuro a mediano plazo del uso de semilla certificada.....	22

	Página
2.4 Procedimiento estándar de producción de semilla del CIMMYT .....	23
2.5 Criterios de calidad de la semilla.....	23
2.5.1 Calidad Física de las semillas.....	25
2.5.2 Calidad Fisiológica de las semillas.....	25
2.6 Seguimiento al desarrollo fenológico.....	25
2.6.1 Estados fenológicos.....	26
2.6.2. Los estados fenológicos de una planta de maíz.....	27
2.6.3 Esquematización del desarrollo fisiológico.....	27
2.7 Efectos del medio ambiente en el comportamiento fenológico del maíz...	28
2.7.1 Bases ecofisiológicas para el manejo del cultivo.....	29
2.7.2 Requerimientos e influencia de los factores climáticos.....	29
2.7.2.1 Radiación, Agua, Suelo, Granizo, Viento, y Evapotranspiración.....	29
2.7.2.2 Temperatura.....	32
2.7.2.3 Fotoperiodo.....	33
2.8 Predicción de fenología y métodos de cálculo de tiempo térmico.....	34
2.9 Tiempo termal y fenología.....	37
2.9.1 Algunos parámetros identificados de Tiempos termales.....	38
2.10 Unidades Calor (UC) o Grados Día de Desarrollo (GDD).....	39
2.10.1 Método de Temperatura Media para cálculo de UC y GDD .....	41
2.10.2 Algunos parámetros identificados de Grados Día de Desarrollo.....	42
2.10.3 Aplicaciones de los GDD.....	43
2.11 Madurez Fisiológica.....	43
2.11.1 Relación de madurez relativa (MR) y días a madurez.....	44
2.11.2 Etapas de la Madurez Fisiológica.....	46
2.12 Indicadores de Madurez Fisiológica.....	48
2.12.1 Contenido de humedad.....	49
2.12.2 Línea de leche.....	52
2.12.3 Capa Negra.....	53
2.12.4 Deterioro de semilla.....	55
2.13 Época de Cosecha.....	56

	Página
2.14 Medición de la Calidad Física y Fisiológica de la Semilla.....	58
2.14.1 Viabilidad de Semilla.....	58
2.14.2 Prueba de Germinación.....	59
2.14.3 Prueba de Vigor de Semilla.....	60
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>62</b>
3.1 Ubicación.....	62
3.2 Material genético.....	62
3.3 Preparación del lote.....	63
3.4. Datos climatológicos.....	64
3.5 Establecimiento y polinización.....	66
3.6 Muestreos.....	69
3.7 Avance porcentual de LL; presencia de CN y humedad de semilla.....	71
3.8 Pruebas de germinación y vigor.....	73
3.9 Almacenamiento de muestras.....	75
3.10 Pruebas finales de humedad y vigor de la semilla.....	75
3.11 Análisis estadístico.....	77
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
4.1 Análisis estadístico.....	78
4.2 Etapas fenológicas, GDD y DDS.....	81
4.3 Presencia de Línea de Leche.....	88
4.4. Presencia de Capa Negra.....	90
4.5 Contenido de humedad de la semilla.....	91
4.6 Porcentaje de germinación.....	93
4.7 Vigor de la semilla.....	95
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>120</b>
A. Procedimiento estándar de producción de semilla del CIMMYT.....	120
B. Descripción de los estados fenológicos de una planta de maíz.....	127
C. Descriptores del material genético.....	139

## LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Manejo agronómico de lotes experimentales en CIMMYT .....	64
Cuadro 2	Varianza y desviación estándar de los datos del avance de la línea de leche .....	78
Cuadro 3	Varianza y desviación estándar de los datos del avance de la capa negra .....	78
Cuadro 4	Varianza y desviación estándar de los datos de contenido de humedad .....	79
Cuadro 5.	ANOVA de contenido de humedad, porcentaje de germinación y vigor .....	80
Cuadro 6	Matriz de correlación de indicadores de madurez fisiológica ...	80
Cuadro 7	Etapas fenológicas de los progenitores, muestreos, DDS y GDD .....	85
Cuadro 8	Avance porcentual de la "línea de leche" .....	89
Cuadro 9	Avance porcentual de la "capa negra" .....	90
Cuadro 10	Contenido de humedad (%) por muestreo .....	92
Cuadro 11	Porcentaje de germinación por muestra, lectura a los 7 días ...	94
Cuadro 12	Porcentaje de germinación por muestra, lectura a los 4 días ...	96
Cuadro B1	Aspectos fisiológicos y agronómicos de los estados fisiológicos del maíz .....	127
Cuadro C1	Descriptores de las cruzas simples hembra V7/V9//V13 y V8/V9//V13 .....	139

## LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Maíz ( <i>Zea mays</i> L.) .....	5
Figura 2 La creación del Popol-vuh, norte, sur y centro .....	6
Figura 3 Producción mundial de maíz de los últimos 10 años .....	7
Figura 4 Productores de maíz y su participación de la producción mundial 2010-2020 .....	8
Figura 5 Principales países importadores de maíz 2010-2020 .....	9
Figura 6 Principales países exportadores de maíz 2010-2020 .....	9
Figura 7 Estimación de superficie sembrada de cultivos básicos en México .....	10
Figura 8 Superficie y producción nacional de maíz por variedad .....	11
Figura 9 Principales estados productores de maíz grano, 2016-2018 .....	12
Figura 10 Importaciones de maíz, 2010-2020 .....	12
Figura 11 Exportaciones de maíz 2010-2020 .....	13
Figura 12 Productos finales del maíz .....	13
Figura 13 Consumo de maíz blanco y amarillo y destino de la producción .....	14
Figura 14 Proceso de producción de híbridos en maíz .....	15
Figura 15 Esquema del proceso de producción y comercio de semillas en México .....	17
Figura 16 Componentes y funcionamiento del Hub MasAgro .....	19
Figura 17 Porcentaje de UPA según tipo de semilla utilizada .....	20
Figura 18 Producción de semilla categoría certificada, año agrícola 2019 .....	21
Figura 19 Cobertura de semillas certificadas de cultivos básicos .....	22
Figura 20 Criterios de Calidad de la semilla .....	24
Figura 21 Estados fenológicos del maíz. Escala de Ritchie y Hanway, 1982 .....	27
Figura 22 Descripción esquemática de la fenología del maíz tropical .....	28
Figura 23 Factores climáticos y su relación con el maíz .....	30
Figura 24 Respuesta del maíz al fotoperiodo .....	34

	Página
Figura 25 Ejemplo de la acumulación diaria de los °D en el cultivo de papa .....	35
Figura 26 Tasa de una etapa de desarrollo de un cultivo ante diferentes temperaturas .....	37
Figura 27 Cambios de temperaturas base-óptima de acuerdo a las fases de desarrollo .....	38
Figura 28 La temperatura como base del cálculo del Tiempo Térmico y de los GDD .....	40
Figura 29 Maíz en etapa de Madurez fisiológica .....	44
Figura 30 Relación entre GDDs necesarios para la madurez y Madurez Relativa .....	45
Figura 31 Patrón desarrollo del grano de cereal en términos PF, PS y CA	47
Figura 32 Peso seco de la semilla, contenido y concentración de agua ..	48
Figura 33 Vida de almacén de semilla cosechada con diferente % de humedad .....	52
Figura 34 Semillas de maíz que muestran una línea de leche de 50% .....	53
Figura 35 Detección de la capa negra en semillas de maíz .....	54
Figura 36 Prueba de germinación estándar, con el método ISTA 2018 modificado .....	59
Figura 37 Prueba de Vigor de la semilla .....	60
Figura 38 Localización geográfica de la parcela de investigación .....	62
Figura 39 Distribución de la parcela de investigación .....	63
Figura 40 Datos climatológicos (T y HR) registrados en la parcela de investigación .....	65
Figura 41 Registro de datos climatológicos y cálculo de Grados Día de Desarrollo .....	66
Figura 42 Establecimiento de la parcela de investigación .....	67
Figura 43 Seguimiento fenológico de los progenitores .....	68
Figura 44 Desespigamiento y Polinización .....	69
Figura 45 Muestreos .....	70

	Página
Figura 46 Extracción de semilla y Almacenamiento .....	71
Figura 47 Línea de leche y Capa Negra .....	72
Figura 48 Determinación de Humedad de Semilla .....	73
Figura 49 Pruebas de Germinación .....	74
Figura 50 Pruebas de Germinación, lecturas .....	75
Figura 51 Almacenamiento y Pruebas finales de humedad y vigor .....	76
Figura 52 Pruebas Finales de Humedad y Vigor .....	76
Figura 53 Lectura datos de Vigor .....	77
Figura 54 GDD y DDS acumulados por etapa fenológica .....	81
Figura 55 Fases vegetativas de progenitores femeninos .....	82
Figura 56 Fases Reproductivas .....	83
Figura 57 Fases reproductivas y Madurez Fisiológica .....	84
Figura 58 GDD y DDS en cada etapa fenológica de los progenitores femeninos .....	86
Figura 59 Comportamiento de factores de madurez fisiológica .....	87
Figura 60 Avance porcentual de la “capa negra” y de la “línea de leche” .	89
Figura 61 Contenido de humedad (%) y peso seco de la semilla (g) .....	91
Figura 62 Porcentaje de germinación .....	94
Figura 63 Vigor de la semilla .....	96
Figura A1 Diagrama de flujo de la producción de semilla de maíz híbrido	120
Figura A2 Proceso de hibridación .....	121
Figura A3 Tipos comunes de híbridos de maíz y sus características .....	122
Figura A4 Distribución de surcos machos y hembras, en un campo de producción .....	122

## I. INTRODUCCIÓN

Para lograr avances en el desarrollo agrícola de cualquier país, se debe contar con insumos que contribuyan a este propósito. Entre estos, la semilla es un insumo esencial de la producción agrícola. Su calidad es un concepto múltiple que comprende varios atributos que incluyen la calidad: genética, fisiológica, física y sanitaria, que contribuyen al establecimiento de la planta en el campo (Copeland & McDonald, 2002; Castro *et al.*, 2006). El disponer de semilla que cumpla con estos requisitos, asegurará la producción de plantas fuertes, resistentes a enfermedades y a condiciones adversas (Peretti, 1994).

En México, el uso de semilla certificada es escaso, alrededor de 36% (INEGI, 2017); por lo que, a lo largo de los años se implementaron diversos programas, tanto del sector gubernamental como del sector privado, con participación de organismos e instituciones, tanto nacionales como internacionales, tales como el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Colegio de Postgraduados (COLPOS), con la intención de promover un mayor uso de semilla certificada.

Durante la producción en campo de semilla de híbridos y variedades de maíz (*Zea mays* L.), se requiere dar seguimiento al desarrollo fenológico de las plantas en cada lote. El registro que se basa en los días transcurridos después de la siembra, es con frecuencia insuficiente, por lo que se recurre a identificar las etapas fenológicas del cultivo, y la duración de cada una, así como registrar las unidades calor (UC) o grados día de desarrollo (GDD) (Arazi *et al.*, 1993), como un valioso complemento en la información requerida de cada lote, para optimizar el rendimiento y la calidad de semilla (Castillo, 1997).

Después de la floración y la fecundación, se inicia la etapa de llenado de grano, cuya duración depende principalmente del genotipo, el fotoperiodo, la temperatura y la humedad relativa (Fischer & Palmer, 1984; Edmeades *et al.*, 1992). En esta etapa fenológica, la semilla pasa por diversas subfases de crecimiento, con tasas de hasta 6 a 7 mg/día de llenado y se considera que la humedad de la misma es un excelente indicador del desarrollo fenológico durante esta fase (Bolaños & Barreto, 1991; Urbina & Edmeades, 1993).

Una vez que la semilla alcanza la madurez fisiológica (MF), y en consecuencia, presenta su peso seco máximo, se considera que posee la más alta calidad en cuanto a poder germinativo, viabilidad y vigor. Los dos principales indicadores visuales de la MF, son: la “capa negra” (CN) y la “línea de leche” (LL) (Daynard & Duncan, 1969; Afuakwa & Crookston 1984; Brooking, 1990).

La presencia de la CN indica que la semilla ya no recibe fotoasimilados y se considera que es un indicador confiable de MF (Daynard & Duncan, 1969). Suraj (2014) encontró que la relación entre el peso seco máximo del grano y la formación de la CN es lineal, y permite estimar el tiempo de cosecha, que generalmente es dentro de las dos semanas posteriores a dicho punto.

A partir de esta etapa, la semilla permanece prácticamente almacenada en la planta madre en el campo, hasta presentar condiciones apropiadas de humedad que permitan la cosecha manual o la cosecha mecánica directa.

Pereira *et al.* (2015) y Afuakwa & Crookston (1984) señalan que la LL se usa como criterio para indicar la cercanía del momento óptimo de cosecha en condiciones normales de cultivo. Esta línea es la interfase entre las porciones lechosa y sólida del endospermo y señala la zona de deposición de almidón en el proceso de llenado de grano. Suraj (2014) determinó que la desaparición de la línea de leche del grano ocurrió en un promedio de 2 días antes de la presencia de la CN y coincidió con el peso seco máximo del grano.

A partir de que la semilla alcanza su MF, comienza un deterioro en su calidad física y fisiológica. Asimismo, en el campo pueden presentarse condiciones ambientales adversas entre la MF y la cosecha, tales como temperaturas altas y humedad relativa elevada, así como lluvias y factores bióticos como hongos e insectos que reducen la calidad de la simiente. En consecuencia, en los lotes de producción de semilla, es necesario cosecharla y beneficiarla tan pronto sea posible. No hacerlo, significa un deterioro en la cantidad y calidad del grano, lo que se traduce en menores utilidades para el agricultor.

La semilla generalmente llega a su MF cuando su contenido de humedad es en un rango de 30 a 38%. La cosecha se puede efectuar cuando la semilla tiene aproximadamente entre 25 y 30% de humedad, y la cosecha mecanizada es

recomendable que sea en un rango de 11 a 15%, pues con valores por arriba o debajo de estos límites, los granos se aplastan, se parten o pulverizan o presentan daños físicos por golpes. Cuando la cosecha es manual estos límites no son tan importantes y la época de cosecha depende de las condiciones climáticas, mano de obra disponible y hábitos tradicionales (Obrador, 1984; Brooking, 1990, MacRobert, 2014).

En la industria semillera la información de la época oportuna de cosecha se maneja discrecionalmente, pues es específica para cada progenitor femenino (sea línea o cruza simple) y depende de las necesidades propias de la empresa, condicionadas por el tamaño de la misma y de la infraestructura de secado y beneficio de semilla disponibles. Además, la confidencialidad de información de las propias empresas semilleras, hace difícil que se disponga de datos concretos que indiquen una fecha óptima de cosecha.

Los genotipos objeto de la presente investigación, cubren un nicho importante de mercado para los Valles Altos de México (2,200-2,800 msnm) y Zonas de Transición (1,800-2,200 msnm); sin embargo, se carece de información suficiente para inferir sobre la época oportuna de cosecha. Determinar las relaciones entre los parámetros de MF, la humedad de la semilla a cosecha, y los GDD, podrían proporcionar los criterios necesarios para recomendar a productores de semillas una época oportuna de cosecha de estos genotipos.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivos Generales**

El objetivo general de la investigación, es identificar problemática, factores limitantes y alternativas de solución en cuanto a la selección oportuna de época de siembra y de cosecha de maíz para la producción de semilla y su efecto en la germinación y vigor en siembras inmediatas a la cosecha.

Cuantificar la germinación y el vigor de semillas maduras e inmaduras y su relación con su humedad, la presencia de la línea de leche y la capa negra de dos genotipos de maíz.

Determinar si existen diferencias en el porcentaje de germinación y vigor de la semilla, en función de la humedad de la simiente al momento de cosecha y al genotipo de las variedades.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Estudiar la tasa de disminución de la humedad durante la etapa de madurez.
- Identificar la importancia de la materia seca en correlación con el vigor de plántula.
- Correlacionar factores climáticos como temperatura y humedad relativa, con los indicadores de calidad de semilla de maíz.
- Formular observaciones y recomendaciones de momento óptimo de cosecha de semilla de maíz.

### **1.2 Hipótesis**

El conocimiento de la fenología del maíz, y de las labores culturales previas y durante el ciclo de cultivo, podrán ser determinantes en la identificación de la época oportuna de cosecha, misma que es condicionante de la calidad de semilla.

- Existen diferencias en el porcentaje de germinación de la semilla, en función de la humedad del grano al momento de cosecha.
- Existe variación en porcentaje de germinación y vigor de la semilla, en función del genotipo de las variedades.

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades sobre el cultivo del Maíz

#### 2.1.1 Descripción botánica

El maíz (*Zea mays* L.) es una monocotiledónea perteneciente a la familia Poaceae, Tribu Maydae, con dos genera: *Zea* ( $2n=20$ ) y *Tripsacum* ( $2n=36$ ) (Figura 1). El género *Zea* tiene además de *Z. mays* (maíz), otras 4 especies conocidas vulgarmente como teosintle (*Z. mexicana*, *Z. luxurians*, *Z. diploperennis* y *Z. perennis*) (Fischer & Palmer, 1984).



**Figura 1.** Maíz (*Zea mays* L.) Ilustración de Francisco Manuel Blanco, Flora de Filipinas, Gran edición, Atlas II, 1880-1883.

Es una gramínea anual, robusta de fácil desarrollo, de 1-4 m de altura, determinada; normalmente con un solo tallo dominante pero puede producir hijos fértiles; hojas alternas en ambos lados del tallo, pubescentes en parte superior y glabras en la parte inferior; monoica con flores masculinas en espiga superior y flores femeninas en jilotes laterales; protándrica con la floración masculina ocurriendo normalmente 1-2 días antes que la femenina; polinización libre y cruzada con exceso de producción de polen: 25 a 30 mil granos por óvulo; granos en hileras incrustados en el olote; mazorca en su

totalidad cubierta por hojas; fruto cariopsis; metabolismo fotosintético C4 (Kiesselbach, 1949; Purseglove, 1972; Fischer & Palmer, 1984).

### **2.1.2 Importancia social**

Para los antiguos mexicanos, el maíz era la materia misma con la que el género humano fue creado, lo cual le otorga un valor simbólico que trasciende su importancia como alimento: “...fue hallado el maíz y de esto fue hecha la carne del hombre y su sangre, cuando fue formado (Popol Vuh)” (Figura 2).



**Figura 2.** La creación del Popol-vuh, norte, sur y centro. Autor: Cuilomerto.  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Norte,\\_Sur\\_y\\_Centro.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Norte,_Sur_y_Centro.png)

Para más de tres millones de productores agrícolas, el cultivo es la fuente principal de supervivencia y es la base de su alimentación para 100 millones de mexicanos.

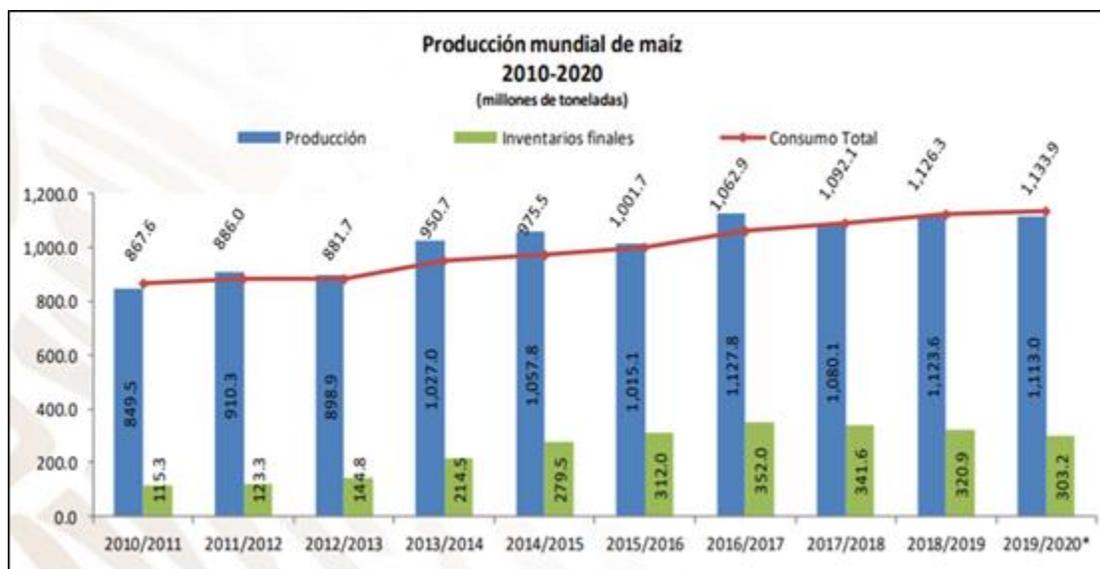
### **2.1.3 Importancia económica**

#### **2.1.3.1 Panorama internacional**

##### **2.1.3.1.1 Producción**

En función del área cultivada y el total de producción, el maíz ocupa el tercer lugar en el mundo después del trigo y el arroz. En virtud de la enorme variedad de tipos de maíz existentes, es cultivado en un amplio rango de condiciones climáticas.

De acuerdo a datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural - Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios - Centro de Información de Mercados Agroalimentarios (SADER-ASERCA-CIMA, 2020), hoy en día se produce en todos los continentes excepto en la Antártida y es altamente valorado debido a que brinda mayor rendimiento que muchos otros granos; por lo tanto, no es costoso.

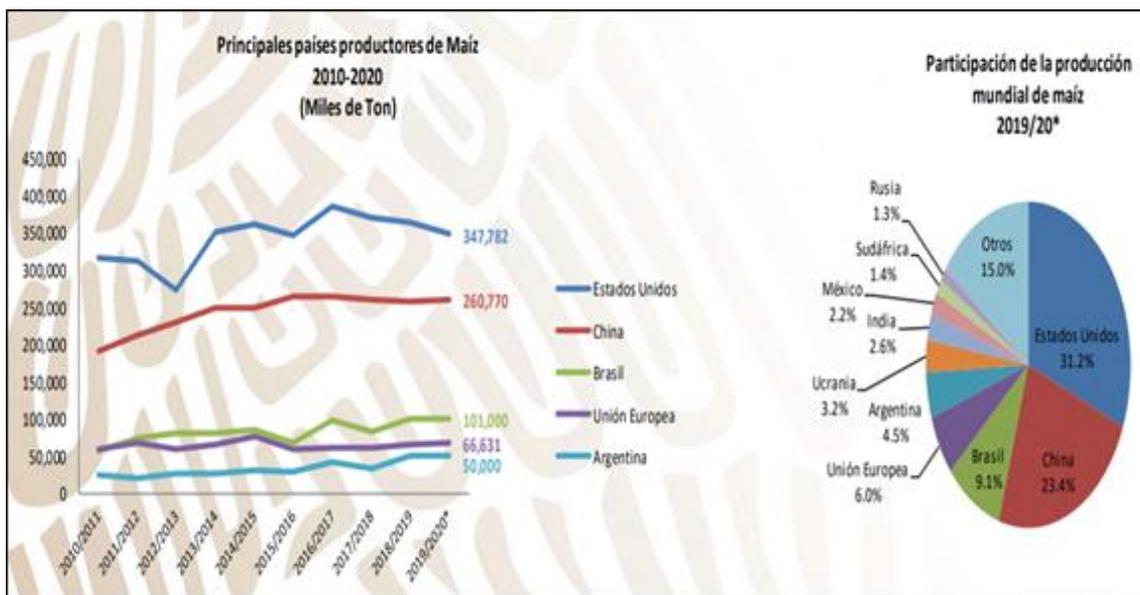


**Figura 3.** Producción mundial de maíz de los últimos 10 años. Fuente: SADER-ASERCA-CIMA 2020, con datos propios y de USDA/FAS. \*Estimado.

En la última década, la producción de maíz a nivel mundial presenta una tendencia de crecimiento, pasando de 849.5 a 1,113.0 millones de ton, con una tasa media de crecimiento anual de 3.0%. En el ciclo agrícola 2019/20 se estima una producción de 1,113.0 MT, 0.9% inferior respecto al año previo, derivado de la reducción esperada en Estados Unidos, por condiciones climáticas desfavorables. La estimación de consumo muestra también un ligero aumento de 0.7% en el año 2019/20, respecto al año previo. La disminución en la producción estimada, aunada al aumento esperado en el consumo, se ve reflejada en una disminución de 5.5% en los inventarios finales (Figura 3) (SADER-ASERCA-CIMA, 2020).

Estados Unidos es el principal productor de maíz en el mundo, seguido de China, con una participación de 31.2% y 23.4%, respectivamente, y en tercer lugar Brasil, que contribuye con 9.1%. En Sudáfrica, noveno productor mundial del grano, se espera una considerable recuperación en la producción después de los bajos niveles reportados en

2019 debido a la sequía presentada. Se estima que en 2020 dicho país llegue a los 16 millones de toneladas, segundo nivel más alto en la historia. Los bajos precios internacionales del maíz podrían repercutir de manera negativa en las decisiones de siembra del grano, por lo que el estimado de producción podría revisarse a la baja (Figura 4) (SADER-ASERCA-CIMA, 2020).



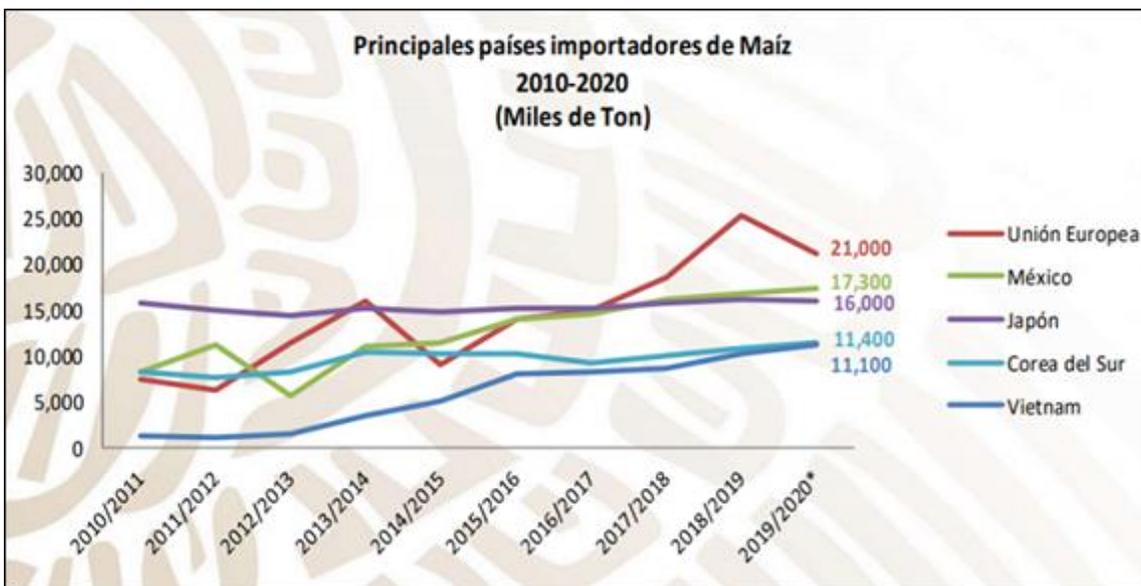
**Figura 4.** Principales productores de maíz y su participación de la producción mundial 2010-2020. Fuente: SADER-ASERCA-CIMA 2020, con datos propios y de USDA/FAS. \*Estimado.

### 2.1.3.1.2 Comercio

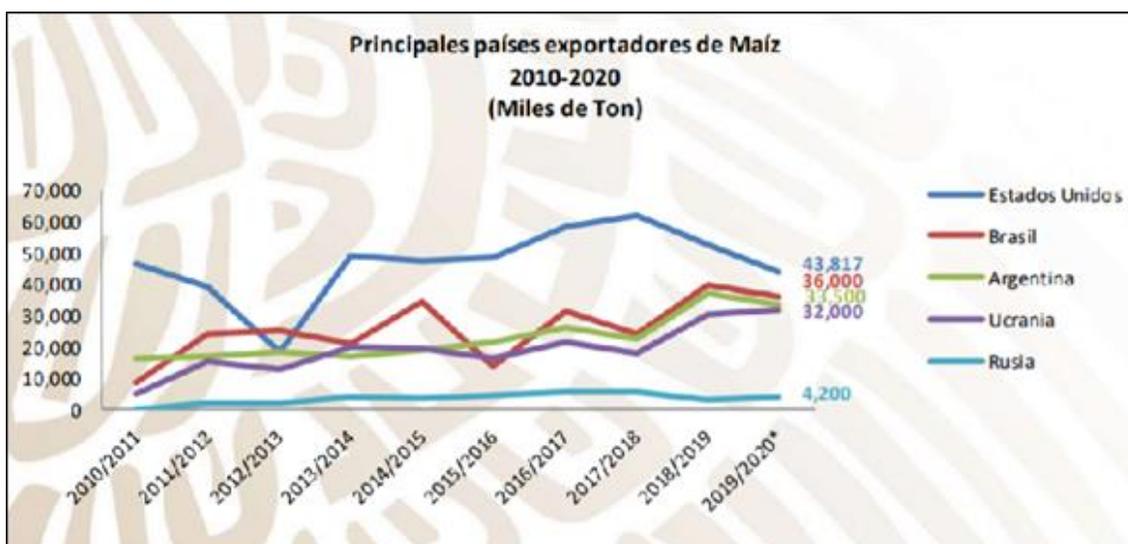
De acuerdo con cifras del USDA, en el ciclo agrícola 2019/20 se estima que México ocupe el segundo lugar como importador de maíz en el mundo, superando por tercer año consecutivo a Japón. En el último quinquenio la demanda de maíz importado en México presenta una tendencia alcista, con una tasa media de crecimiento anual de 5.5%, en este periodo, debido al crecimiento de la actividad pecuaria. Para el ciclo 2019/20 se espera que las importaciones de México incrementen en 3.9% respecto del año previo, llegando a las 17.3 millones de toneladas, cifra históricamente récord (Figura 5) (SADER-ASERCA-CIMA, 2020).

El principal exportador de maíz a nivel mundial es Estados Unidos, seguido de Brasil y Argentina; Brasil ha experimentado un crecimiento constante en sus exportaciones, a una tasa media de crecimiento anual de 17.5%, ocasionado por la eliminación de impuestos a la exportación de este grano, entre otros. Se estima que en

2019/20 las exportaciones mundiales se reduzcan en 8.3%. En EE.UU., principal exportador, se prevé una caída de 16.5% respecto de 2019, derivado de los menores precios internacionales, aunado a la menor producción esperada (Figura 6) (SADER-ASERCA-CIMA, 2020).



**Figura 5.** Principales países importadores de maíz 2010-2020. Fuente: SADER-ASERCA-CIMA 2020, con datos propios y de USDA/FAS. \*Estimado.



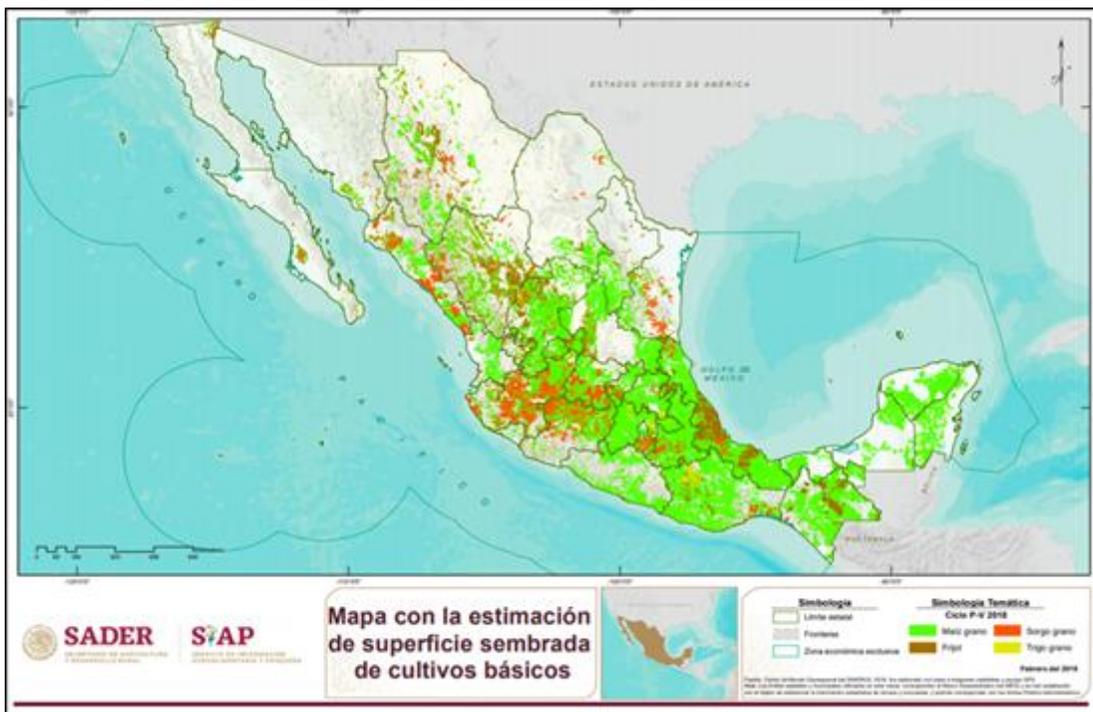
**Figura 6.** Principales países exportadores de maíz 2010-2020. Fuente: SADER-ASERCA-CIMA 2020, con datos propios y de USDA/FAS. \*Estimado.

## 2.1.3.2 Panorama nacional

### 2.1.3.2.1 Producción

En México, es por mucho el cultivo agrícola más importante, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social; se produce en dos ciclos de cultivo: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas, de humedad, temporal y riego (FIFONAFE, 2010). En México existen dos tipos de producción de maíz: el sistema comercial y el de autoconsumo. El primero está orientado hacia el mercado, ya que la producción tiene como fin el uso intensivo de los recursos en beneficio de los productores y el segundo se basa principalmente en el uso intensivo de la mano de obra familiar.

Este cereal abarca prácticamente el 85% del volumen total de productos agrícolas del país; su producción se lleva a cabo en todos los Estados de la República y en donde, en cifras redondas, 4 de cada 10 hectáreas destinadas a la agricultura son sembradas con maíz (Figura 7) (SADER/SIAP, 2019).

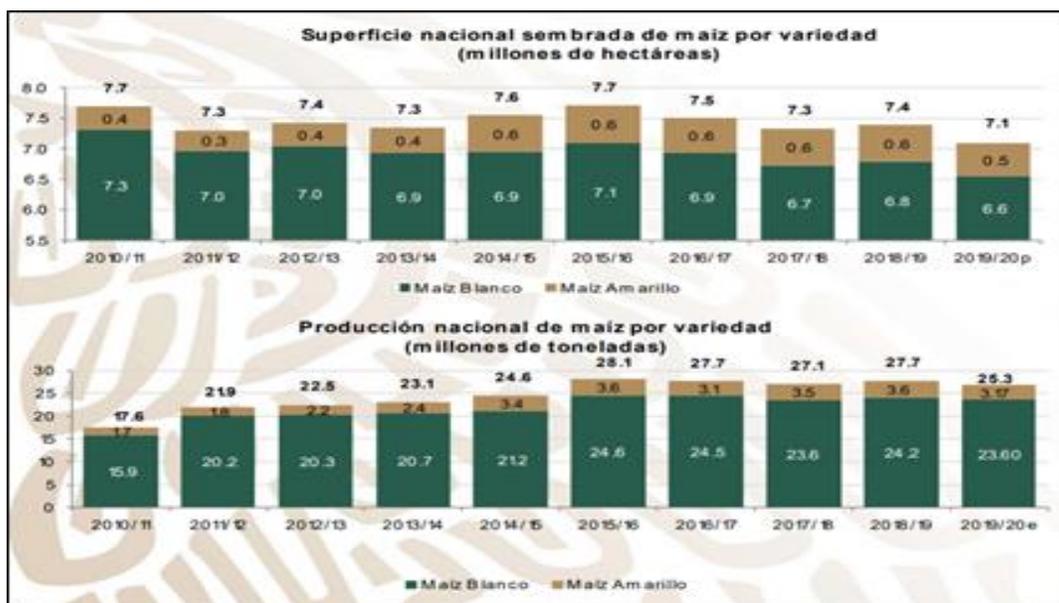


**Figura 7.** Estimación de superficie sembrada de cultivos básicos en México. Fuente: SADER/SIAP 2019.

La producción de maíz en México ha experimentado un crecimiento en los últimos años, ya que este producto es considerado básico no sólo para incluir en una dieta

balanceada, sino también para crear distintos elementos y sobre todo para incrementar la economía del país a través de la importación y exportación.

La producción promedio de los últimos 10 años, es de 24.6 millones de toneladas, obtenidas en una media de 7.4 millones de hectáreas. El maíz amarillo representa el 7 y 12% de esa superficie y producción, respectivamente. En una estimación realizada por el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria de la SADER, para el ciclo 2020, serán producidas 25.3 millones de toneladas, obtenidas en 7.1 millones de hectáreas (Figura 8) (SADER/SIAP, 2019).

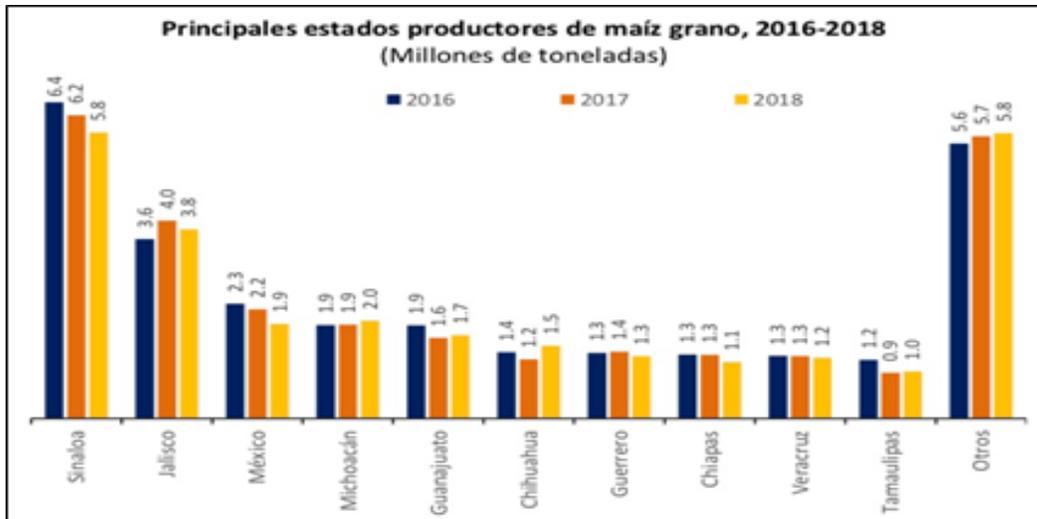


**Figura 8.** Superficie y producción nacional de maíz por variedad. Fuente: SADER/SIAP 2019. p: proyección; e: estimado

En el año agrícola 2018, cinco entidades concentraron 56.2 por ciento de la producción nacional: Sinaloa (21.4%), Jalisco (14.2%), Michoacán (7.3%), Estado de México (7.1%) y, Guanajuato (6.2%) (Figura 9) (SADER/SIAP, 2019).

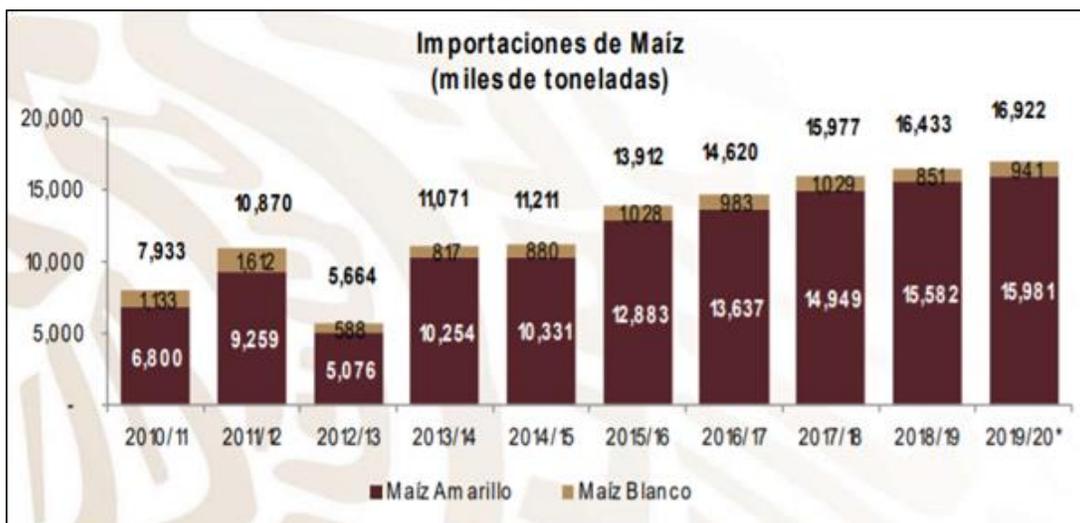
### 2.1.3.2.2 Comercio

México presenta una diversificación de mercados en el comercio externo del cereal; entre 2012 y 2017, los países a los cuales compra el grano pasaron de cinco a 13, y a los que vende de 14 a 29. En 2017, de Estados Unidos provino 95.8% del total adquirido, mientras que a Venezuela se dirigió 55.4% del exportado.



**Figura 9.** Principales estados productores de maíz grano, 2016-2018. Fuente: SADER/SIAP 2019

Para el año comercial 2019/20, se estima que México importará 16.7 millones de toneladas de maíz, 3.0% más de lo importado en 2018/19, y la más alta de la historia. Esto se debe a la tendencia a la baja del precio internacional que ha prevalecido durante los últimos meses, aunado al incremento en el consumo (2.9%). México importa principalmente maíz amarillo, producto en el cual no es autosuficiente y se destina principalmente al sector pecuario (Figura 10) (SADER/SIAP, 2019).



**Figura 10.** Importaciones de maíz, 2010-2020. Fuente: SADER/SIAP 2019

Las exportaciones de maíz en el ciclo agrícola 2019/20 se estiman en 817 miles toneladas, 20.4% más que en el ciclo 2018/19. De acuerdo a las tendencias mundiales,

mercados como Canadá, Venezuela, la Unión Europea, Kenia, Sudáfrica Korea y Japón, representan una oportunidad importante, sobre todo para exportaciones de maíz blanco (Figura 11) (SADER/SIAP, 2019).



Figura 11. Exportaciones de maíz 2010-2020. Fuente:

### 2.1.3.2.3 Consumo

A pesar de los más de 41.7 millones de toneladas en promedio que se consumen anualmente, sólo el 71.9 por ciento es producido nacionalmente; es decir, que en el país hay un déficit de un poco más del 28 por ciento del consumo nacional aparente.

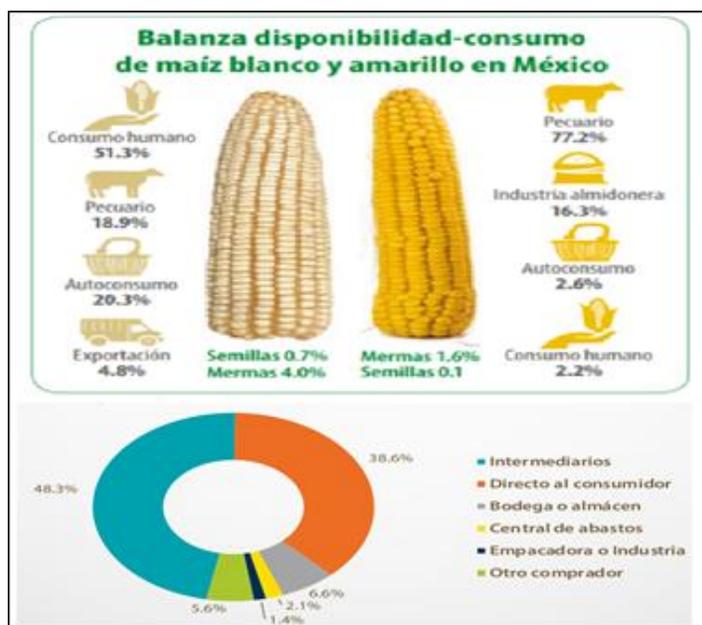
La producción está caracterizada por una amplia gama de variedades, por lo que es posible generar una gran cantidad de productos finales: tortillas, forraje para animales, almidones, glucosa, fructosa, dextrosa, aceites, botanas, etanol para bebidas o como insumo en la producción de biocombustible, etcétera. Sin embargo, las dos variedades más importantes son el maíz blanco y el amarillo o forrajero (Figura 12).



Figura 12. Productos finales del maíz.

Del total de maíz producido en México, de manera ponderada, el 25% es destinado para el consumo humano, 39% es para el consumo animal, el 10% para autoconsumo, para la industria se destina el 15%, el 5% se exporta, se registra un 5% de mermas y un

1% se utiliza para semilla. Por otra parte, según cifras del INEGI (2017) en su Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) 2017, un 48.3% de las unidades productoras de maíz grano, vendieron sus productos a través de intermediarios, un 38.6% directamente a los consumidores y un 15.8% es vendido a otros destinos (Figura 13).



**Figura 13.** Consumo de maíz blanco y amarillo y destino de la producción. Fuente: INEGI 2017.

## 2.2 Mejoramiento genético

El objetivo principal del fitomejoramiento genético es incrementar la producción y la calidad de los productos agrícolas por unidad de superficie, en el menor tiempo, con el mínimo esfuerzo y al menor costo posible (Paredes, 2019).

Esto se logrará mediante la obtención de nuevas variedades o híbridos de alto potencial; es decir, que produzcan más grano, más forraje, más fruto, o más verduras en la menor área de terreno posible, y que se adapten a las necesidades del agricultor y del consumidor (Paredes, 2019).

El mejoramiento genético y la innovación en semillas han sido factores cruciales en el aumento de la productividad del maíz y los ingresos de los productores de todo el mundo. En México, particularmente en las zonas de temporal, la demanda de semillas mejoradas es heterogénea y el resultado de la adopción es incierto (Donnet *et al.*, 2012).

### 2.2.1 Criterios de selección

Las características que deben considerarse como criterios de selección en un

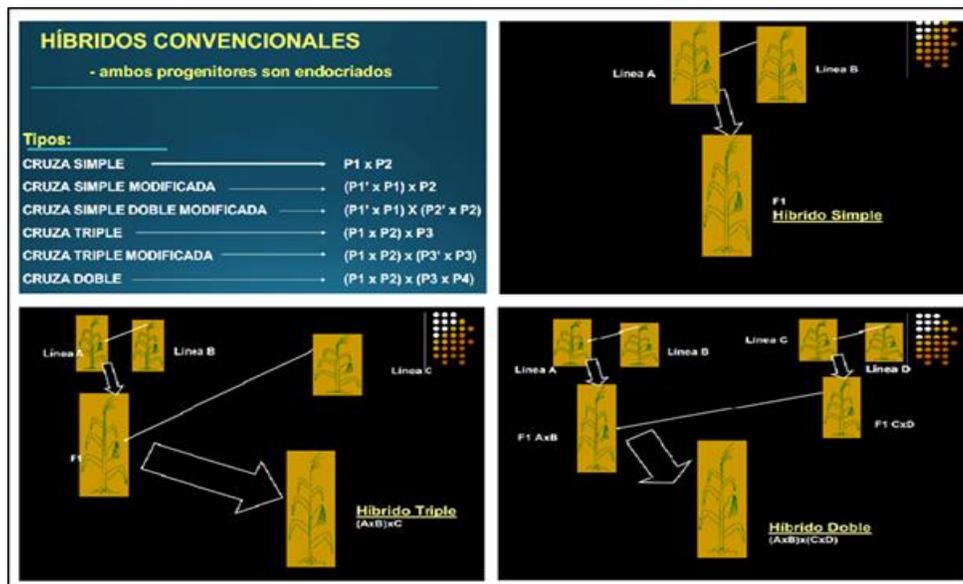
programa de mejoramiento genético están englobadas en dos vertientes. La primera, es el incremento de la producción agrícola, el cual está dado por una mayor eficiencia fisiológica por planta y por hectárea; una mayor adaptación a determinada región agrícola o amplia adaptación a diversos ambientes; mejores características agronómicas (resistencia al acame, desgrane, buena cobertura, etc.); resistencia a plagas y enfermedades; y una resistencia a la sequía, temperaturas bajas o altas, etc.

La segunda vertiente, es el mejoramiento para la calidad de los productos, buscando un alto valor nutritivo (proteínas y vitaminas), mayor coloración, sabor y/o tamaño de los frutos, resistencia al transporte y almacenamiento y una reducción de la cantidad de ciertas sustancias indeseables en los productos, etc. (Paredes, 2019).

### 2.2.2 Proceso de producción de híbridos de maíz

Existen diferentes métodos utilizados para el mejoramiento del maíz de polinización libre, por ejemplo: selección masal, selección familiar, la selección en mazorca por surcos y la hibridación de variedades.

La producción comercial de semilla híbrida involucra: a) La conservación y multiplicación de líneas autofecundadas, b) la producción de semilla de cruce simple, c) la producción de semilla de cruces dobles y trilineales, d) la manipulación y preparación de la semilla híbrida (Poehlman, 1979) (Figura 14).



**Figura 14.** Proceso de producción de híbridos en maíz. Fuentes:

<https://es.scribd.com/document/233264469/hibridos-MAIZ-pdf> y

[https://eva.udelar.edu.uy/pluginfile.php/232540/mod\\_resource/content/0/Alogamas\\_2\\_Litoral\\_Norte.pdf](https://eva.udelar.edu.uy/pluginfile.php/232540/mod_resource/content/0/Alogamas_2_Litoral_Norte.pdf)

La producción de semilla de maíz híbrido requiere que se crucen, de forma deliberada, una población de progenitores hembra con un progenitor macho, en parcelas aisladas. Así, la identidad y la ubicación en el campo de las dos poblaciones progenitoras determinan el resultado de la producción desde su inicio. Cada variedad híbrida consiste en una combinación específica de una progenitora hembra (que produce la semilla) y un progenitor macho (que produce el polen).

La hibridación del maíz es considerada un método genotécnico que tiene como objetivo principal el aprovechamiento de la generación F<sub>1</sub> (Híbrido F<sub>1</sub>) que es el resultado de la cruce de dos progenitores con cualquier estructura genética, éstos pueden ser variedades de polinización libre, variedades sintéticas, familias y líneas parcial y totalmente endogámicas (Quemé & Fuentes, 1992).

Un híbrido de tres líneas se forma cruzando un híbrido simple con una línea pura, los que por sus características de producción y adaptación ocupan un lugar intermedio entre un híbrido simple y un doble, ello conduce a aprovechar mejor la complementación de genes aditivos que se manifiestan en la heterosis, lo que permite generar cultivares con estabilidad de rendimiento y que amortigüen mejor los posibles efectos negativos ocasionados por el ambiente (Espinoza *et al.*, 2002).

### **2.3 Producción de semilla certificada en México**

Norman Borlaug, conocido por muchos como el padre de la revolución verde a mediados del siglo pasado, mencionó al recibir el Premio Nobel de la Paz en 1970: “Para satisfacer las rápidamente crecientes necesidades alimenticias de la población debemos encontrar nuevas y apropiadas tecnologías que eleven el rendimiento de los cultivos” (Borlaug, 1970).

El constante crecimiento de la población y la creciente demanda de alimentos para sostenerla han hecho necesario disponer de alimentos y materias primas industrializables en mayor cantidad, por unidad de superficie cultivable. La semilla es el inicio de la vida en el campo y un instrumento de transmisión de tecnología, innovación y desarrollo (CEDRSSA, 2015).

#### **2.3.1 Programas de fomento a la producción de semilla en México**

La legislación de la producción nacional de semillas tuvo su inicio en 1961, con la Ley Federal sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas (SAG, 1961), que

promovió el mejoramiento genético por medio del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), y donde el Estado era el responsable de la producción y comercio de semillas en escala comercial, en el que la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) fungía como responsable. En el año de 1991 se reformó la ley (SARH, 1991) para fomentar la libre investigación en variedades de plantas, así como la producción de semillas, su distribución y comercialización. En 1996, México se integró a la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) y se publicó la Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV) (SAGAR, 1996). En el año 2002, México ratificó el Protocolo de Cartagena, cuyo objetivo es reglamentar los movimientos transfronterizos de Organismos Vivos Modificados, por lo que en el año 2005 entró en vigor la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM). (Domínguez-García *et al.*, 2019) (Figura 15).



**Figura 15.** Esquema del proceso de legislación de producción y comercio de semillas en México. Fuente: Modificado de Domínguez-García *et al.* 2019.

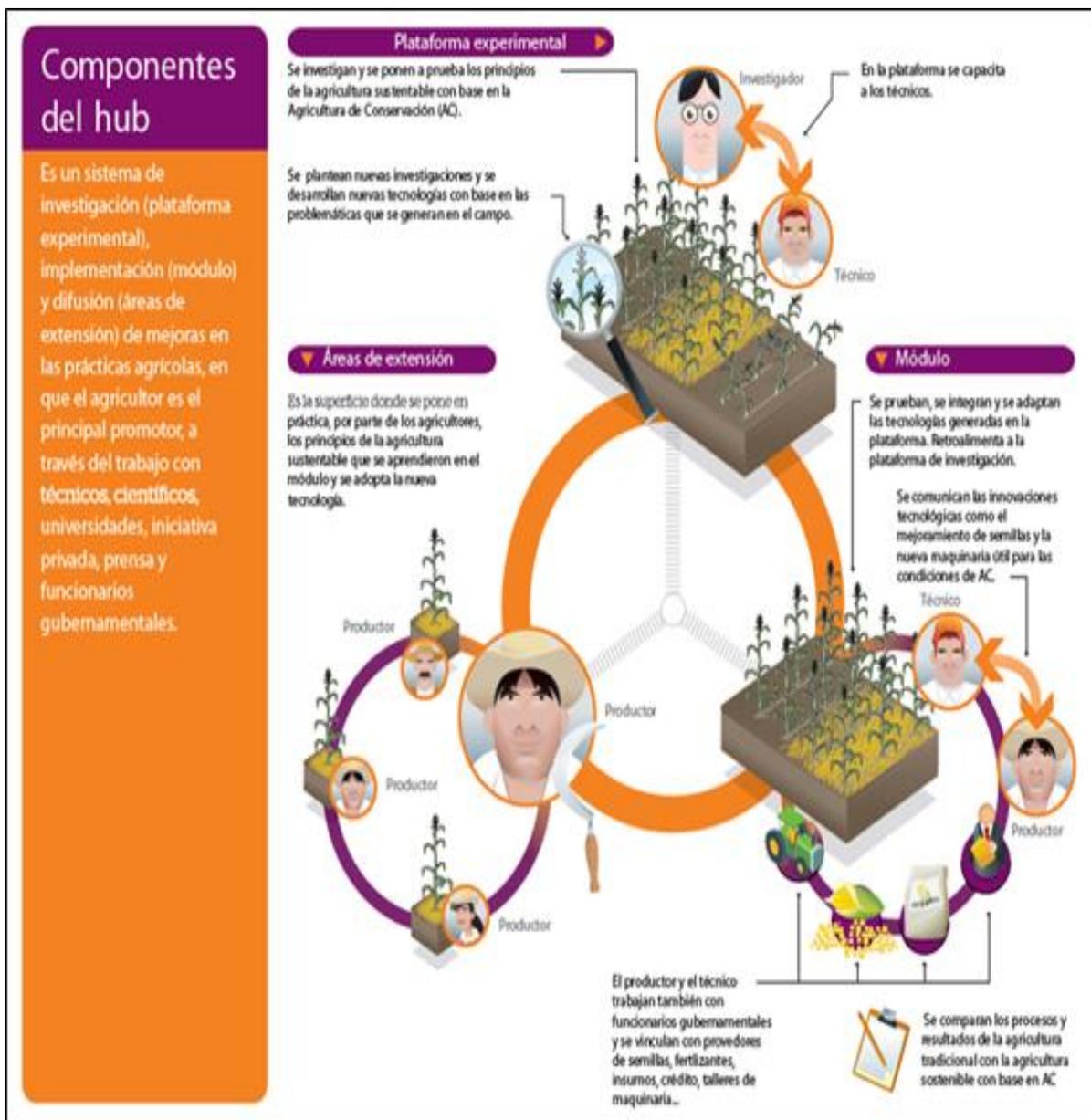
Ante la necesidad de mantener regulados los derechos, tanto de productores como de consumidores de semillas, se actualizó nuevamente la legislación en materia de semillas (SAGARPA, 2007). La Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas, es publicada en 2007 (SAGARPA, 2007), y tiene por objeto regular la producción de semillas certificadas, su calificación, comercialización y puesta en circulación (Domínguez-García *et al.*, 2019).

La Estrategia Internacional para Aumentar el Rendimiento del Maíz (IMIC, siglas en inglés) es un área prioritaria del proyecto Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional (MasAgro), que el Gobierno Mexicano anunció desde 2011 con una inversión de más de 130 millones de dólares en un programa de 10 años, que busca incrementar en forma sustentable la producción y rendimientos del maíz mediante el uso de semillas mejoradas (MasAgro, 2012).

El enfoque de MasAgro consiste en cerrar la brecha entre las tecnologías de semillas y los productores de maíz mediante el desarrollo de un sector semillero que responda a las necesidades específicas de la gran mayoría de los productores de maíz en México.

Un elemento fundamental de esta estrategia, es la formación de un Consorcio / Plataforma Colaborativa basado en la colaboración, denominado “Hub MasAgro”. No proporciona apoyos directos, sino que genera capacidades y desarrolla la tecnología para ponerla a disposición de los agricultores; facilita la coordinación y la colaboración con apoyos ya existentes; finalmente, cataliza un proceso de innovación al incidir en distintos actores involucrados en el desarrollo de una agricultura sustentable, mayor productividad y mayores ingresos (MasAgro, 2012) (Figura 16).

Investigadores del sector público reciben financiamiento, al integrarse a una investigación coordinada y enfocada a generar los productos necesarios para aumentar el rendimiento del maíz en zonas de temporal. Semilleros nacionales reciben capacitación y acceso a germoplasma. La reproducción, producción y comercialización es responsabilidad de cada empresa.



**Figura 16.** Componentes y funcionamiento del Hub MasAgro. Fuente: MasAgro

### 2.3.2 Producción de semilla certificada de maíz

En general, en los países en desarrollo, los híbridos ocuparon cerca del 38% de la superficie total cultivada con maíz, la semilla de producción comercial de variedades de polinización libre el 7% y las semillas criollas el 55%. Frecuentemente el maíz híbrido se concentra en las zonas de producción favorables (y por lo tanto de menor riesgo) de los países en desarrollo (CIMMYT, 1987).

México es centro de origen del maíz (*Zea mays* L.) y como tal, la especie posee una amplia diversidad genética. Sin embargo, tal diversidad ha sido poco aprovechada por los programas públicos de mejoramiento genético de México en el desarrollo de híbridos comerciales, pues en parte, se usan metodologías que no involucran el uso directo de pares heteróticos mejorados (Ramírez-Díaz *et al.*, 2015).

De acuerdo con las Encuestas Nacionales Agropecuarias de 2012 a 2017 del INEGI, en promedio, el 28.2 por ciento de las unidades de producción agropecuarias utilizaron semillas mejoradas. Asimismo, reportan cifras del uso de semillas criollas, certificadas y transgénicas (INEGI, 2017) (Figura 17).

Tecnología empleada	ENA 2012	ENA 2014	ENA 2017
<b>Tipo de semilla</b>			
Criolla	60.9	82.2	77.5
Mejorada	29.7	29.2	25.7
Certificada	ND	12.6	10.1
Transgénica	ND	0.2	0.4

**Figura 17.** Porcentaje de unidades de producción agrícola según tipo de semilla utilizada. Fuente: Resultados de la Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. Fuente: INEGI, 2017.

El mejoramiento genético del maíz en México es llevado a cabo por organismos públicos y empresas privadas. Los organismos públicos incluyen al INIFAP, varias universidades y centros de enseñanza agrícola entre las que destacan la Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo, el Colegio de Posgraduados, la Universidad Autónoma Antonio Narro y el CIMMYT.

En los últimos años, el papel de estas organizaciones ha ido disminuyendo, mientras que ha ido aumentando el de empresas privadas como Pioneer (ahora Corteva) y Monsanto (ahora Bayer) (Bellon *et al.*, 2009). Se considera que, del total de semillas mejoradas actualmente en el mercado, aproximadamente el 95% son de estas compañías (Luna *et al.*, 2012). La participación de las empresas nacionales en el mercado se incrementó del 24% en el 2011 al 31% en el 2016 (Donnet *et al.*, 2020). La iniciativa MasAgro, considera que las pequeñas y medianas empresas semilleras pueden jugar el rol principal en aumentar la utilización y el impacto de las semillas mejoradas en México.

La producción de semillas certificadas se ha incrementado en los últimos años. En 2014 se produjeron 320 mil toneladas de semillas de cultivos básicos, de las cuales 98 mil corresponden a maíz, alcanzando una cobertura del 66% de la superficie sembrada con este cultivo (CEDRSSA, 2015). Para el año agrícola 2019, el SNICS (2019), reporta una producción de semilla certificada de maíz de 4,052.87 toneladas, con una superficie potencialmente cubierta de 1,842,213.60 hectáreas (Figura 18).

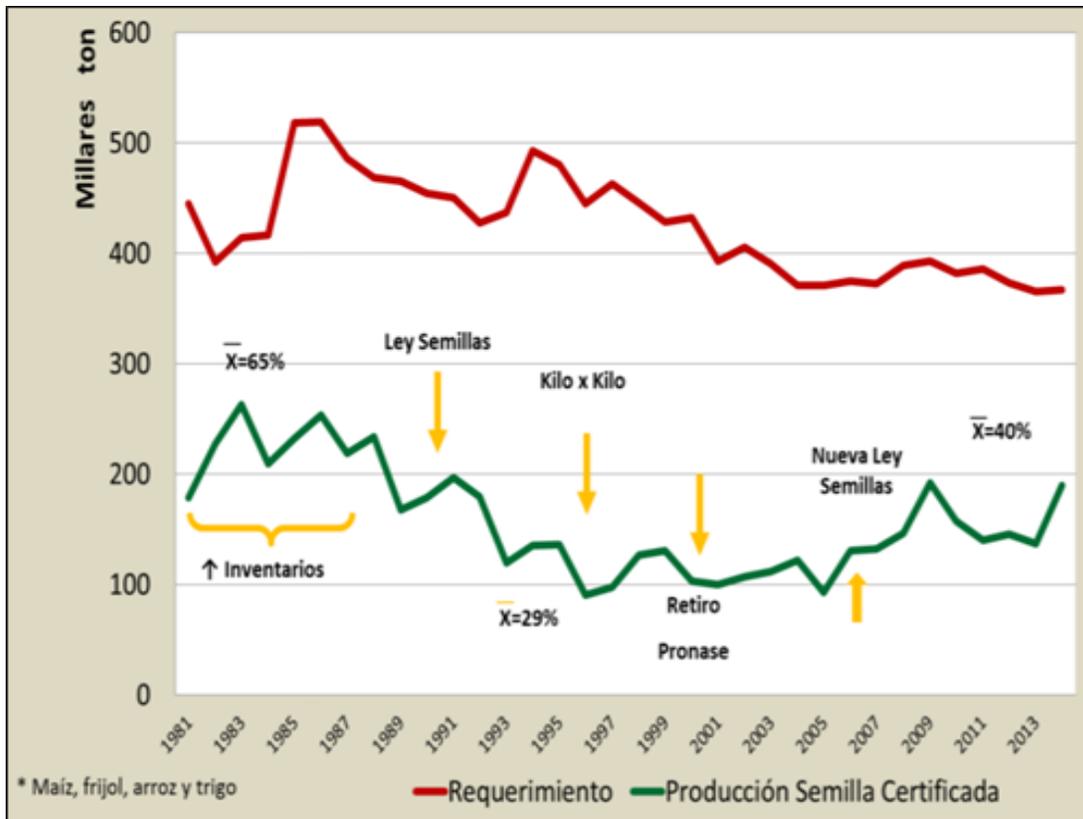
Cultivos, organismos productores y producción de Semilla Categoría Certificada y Habilitada a nivel nacional, ciclo agrícola OI 2018-2019.			
Cultivo	Organismos productores	Producción (t)	*Superficie potencialmente cubierta (ha)
Avena	13	4435.70	44,357.00
Café	22	82.40	82,400.00
Cártamo	6	577.80	57,780.00
Cebada	1	2647.00	26,470.00
Frijol	15	24,178.50	402,975.00
Garbanzo	8	567.40	8,105.71
Maíz	26	38,234.90	1,737,950.00
Sorgo	11	29.80	1,354.55
Soya	4	241.20	4,824.00
Trigo	240	66,981.20	446,541.33
Triticale	1	13.00	86.67

Cultivos, organismos productores y producción de Semilla Categoría Certificada y Habilitada a nivel nacional, ciclo agrícola PV 2019.			
Cultivo	Organismos productores	Producción (t)	*Superficie potencialmente cubierta (ha)
Maíz	3	2,293.80	104,263.64

**Figura 18.** Cultivos, Organismos productores y producción de semilla categoría certificada, año agrícola 2019. Fuente: SNICS 2019.

Históricamente, México ha tenido un déficit de semillas certificadas en cultivos básicos, que no se ha atendido aún con las reformas de la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas de 2007, mismo que se aprecia en la Figura 19; de ahí la importancia de impulsar el acceso y la demanda de semillas de calidad, en especial a pequeños y medianos agricultores con acciones focalizadas hacia la conversión productiva.



**Figura 19.** Cobertura de semillas certificadas de cultivos básicos. Fuente: CEDRSSA,

Señala la AMSAC, en su documento “El sector semillero en México, 2012”, que el 85% de la semilla de maíz que se utiliza es producida en México. En el caso de las gramíneas, como maíz, las semillas se benefician en México para consumo nacional y exportación a otros países de Norte y Centro América. Adicionalmente, en el documento: “La industria semillera en México” la AMSAC indica que hoy en día en nuestro país se ofrecen más de 300 variedades de semillas para los principales cultivos (CEDRSSA, 2015).

### 2.3.3 Futuro a mediano plazo del uso de semilla certificada

Los esfuerzos que están realizando tanto organismos públicos como instituciones privadas de enseñanza e investigación, encaminados a la liberación de híbridos de maíz, en muchos casos son iguales o superiores a los de las compañías semilleras privadas.

Ante la inminente entrada de los híbridos transgénicos a México, es conveniente que los agricultores sepan que la semilla mejorada producida de manera convencional,

tiene contrapartes equivalentes, y aun superiores, como lo hemos dicho, a un precio menor que la mitad del de los híbridos transgénicos (Márquez-Sánchez, 2018).

Por otra parte, en México la producción de semilla de maíz de híbridos de cruza simples no es rentable debido a que las líneas usadas en ellos como progenitor femenino son de bajo rendimiento. Además, todavía no existen líneas altamente productivas, por lo cual se usan híbridos dobles o trilineales; además, el costo elevado de la semilla de híbridos de cruce simple ha limitado su producción comercial y es rentable cuando las líneas progenitoras hembra tienen un rendimiento mínimo de 3000 kg/ha. Otros factores que limitan la producción de semilla de estos híbridos son: la condición homogénea de las líneas que ocasiona poco amortiguamiento ante los cambios en los ambientes de producción, la falta de mejoramiento en las poblaciones usadas como fuente de líneas y el riesgo de perder el control de los progenitores (Pérez-López, 2014).

#### **2.4 Procedimiento estándar de producción de semilla del CIMMYT**

La calidad de la semilla híbrida depende fundamentalmente de los métodos de producción en campo que se utilicen - los cuales deben cumplir con normas que garanticen la calidad - y de la implementación de un manejo agronómico apropiado. Si bien la producción de semilla de variedades de maíz de polinización libre es relativamente sencilla, la producción de semilla híbrida requiere que se apliquen prácticas de campo adicionales que son esenciales para lograr una buena producción (MacRobert *et al.*, 2015).

Cobra especial importancia el procedimiento estandarizado que el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) tiene detallado en su "Manual de Producción de Semilla de Maíz Híbrido, 2015" (MacRobert *et al.*, 2015), y que sigue en sus trabajos de investigación, producción y multiplicación de híbridos de maíz, mismo que se describe a detalle en el Anexo A.

#### **2.5 Criterios de calidad de la semilla**

La calidad de cualquier producto, generalizando el término, es un conjunto de características que el consumidor evalúa para decidir si satisface sus expectativas. En el caso de calidad de semillas, esta se puede dividir en cuatro cualidades básicas: genética, fisiológica, sanitaria y física. La expresión de estas cuatro cualidades en su máximo nivel permite valorar a las semillas en su máxima calidad de manera integral (Bonilla 2014).

El éxito en la producción de cualquier cultivo radica en el uso de una semilla de calidad con atributos físicos, genéticos, fisiológicos y sanitarios adecuados, tanto así que un fracaso en la producción, generalmente se le atribuirá inicialmente a la semilla y a la calidad de la misma (Figura 20).



**Figura 20.** Criterios de Calidad de la semilla

La calidad de las semillas está dada fundamentalmente por su capacidad para germinar y producir una planta normal y determinada por un complejo de condiciones, que son el producto de las interacciones más favorables entre las posibilidades genéticas de la especie y el medio en el cual las semillas se producen, cosechan, procesan y almacenan. Así, las semillas almacenadas requieren de ciertas condiciones, que de no estar presentes pueden hacer perder la viabilidad y disminuir la germinación ulterior de la semilla cosechada. Es conocido que los factores que en estrecha Interrelación pueden conducir al deterioro, la pérdida del vigor y viabilidad total o parcial son: la temperatura, humedad, presión de oxígeno, bacterias, hongos, insectos y roedores (Samperio 2009).

Mezzalama (2014), señala que la calidad de la semilla, se puede determinar en base a cuatro componentes, con sus correspondientes parámetros fundamentales: a) Calidad Física (contenido de humedad, análisis de pureza y peso volumétrico); b) Calidad Genética (pureza de la variedad, pureza analítica y uniformidad); c) Calidad Fitosanitaria (contaminación por malezas, contaminación por patógenos, insectos y ácaros) y d)

Calidad Fisiológica (germinación, vigor, ensayo de viabilidad, uniformidad en el campo, longevidad) (Figura 24).

Kelly, (1988), señala que una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos, los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan la calidad física, fisiológica, genética y sanitaria.

Sierra *et al.*, (2008) mencionan que la calidad de la semilla de maíz se conforma con los efectos de sus atributos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios, además de la interacción entre ellos, mismos que se determinan durante el ciclo biológico de la planta materna y son afectados por factores climáticos y factores fisiológicos

### **2.5.1 Calidad Física de las semillas**

La calidad física se refiere a características físicas de las semillas que son consideradas como factores de la misma, tales como: contenido de humedad, peso por volumen y la pureza analítica. Adicionalmente, se pueden considerar el tamaño y la forma de la semilla, el peso de mil semillas, el color y al daño por insectos y hongos (Kelly, 1988; Slafer, 2006).

### **2.5.2 Calidad Fisiológica de las semillas**

La calidad fisiológica, según Bonilla (2014), es la capacidad de la semilla para germinar, emerger y dar origen a plantas uniformes y vigorosas. En el momento que la semilla madura llega a la máxima vitalidad, inicia su etapa de envejecimiento y a perder vigor, este es causado por la respiración y el gasto de energía para mantener sus funciones vitales. La calidad fisiológica se puede evaluar con pruebas de germinación de semillas en laboratorio (Copeland & McDonald, 2001); además, debe complementarse con una adecuada evaluación de la capacidad de emergencia de plántulas en campo, por lo que son importantes las pruebas de vigor (Tillmann *et al.*, 2003), emergencia y uniformidad en el campo y longevidad (Mezzalama, 2014)

## **2.6 Seguimiento al desarrollo fenológico**

Para cualquier cultivo, el marco temporal donde se encuadran el rendimiento y sus componentes, es el entendimiento de las etapas fenológicas. El maíz es una planta anual y determinada, con los eventos cardinales de la geminación, la floración, la fecundación

y la madurez fisiológica. La duración de cada una de estas fases, depende del genotipo, el fotoperiodo y la temperatura (Edmeades *et al.*, 1992).

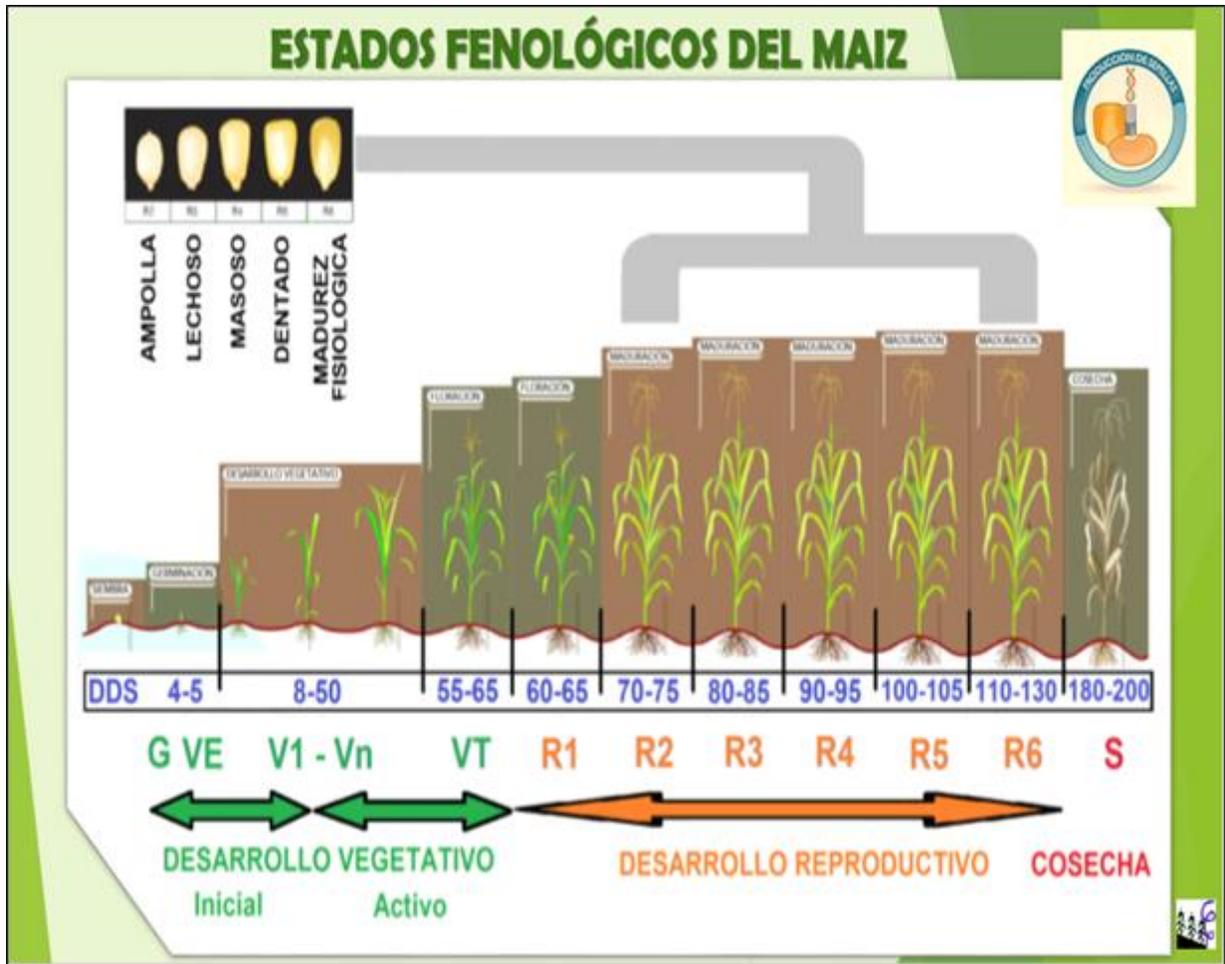
Las plantas como seres vivos, se consideran como aparatos meteorológicos registradores, sensibles a diversos elementos del clima. La fenología estudia la secuencia temporal de las distintas fases periódicas de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico; fases como: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de los frutos, etc., tienen relación con las condiciones prevalecientes de temperatura y la oportuna cantidad de precipitación (Taiz & Zeiger, 2006).

### **2.6.1 Estados fenológicos**

El desarrollo de la planta de maíz se realiza en varias etapas reunidas en dos momentos principales: el estadio vegetativo y el estadio reproductivo.

El estado vegetativo (V) consta de dos fases y va desde la emergencia (VE) hasta la aparición de la espiga masculina (VT). En la primera fase se presenta el “desarrollo vegetativo inicial” que va desde la germinación (VE) hasta la iniciación de la elongación del tallo (V6), aquí se forman las hojas y el desarrollo es ascendente, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción. En la segunda fase se presenta el “Desarrollo vegetativo activo” en el que además de hojas, se forman los órganos de reproducción y va desde la elongación del tallo (V6) hasta la floración femenina (emisión de estigmas), que corresponde a la fase VT. Las diferentes etapas fenológicas de la fase vegetativa son designadas numéricamente con sus nombres y cada estado es definido por la hoja superior cuyo cuello es visible (Ritchie y Hanway, 1984) (Figura 21).

Los estados reproductivos comienzan con la aparición de los estigmas (R1) y finalizan con la madurez fisiológica. Se caracterizan por el incremento del peso de las hojas, la flor y por el aumento rápido en el peso de los granos. Durante esta etapa el maíz necesita 150 a 200 mm de precipitación. Se debe hacer un control oportuno de plagas, principalmente barrenadores del tallo y comedores de cabello, mazorcas y espigas, para lograr una adecuada polinización y crecimiento de mazorcas (Ritchie & Hanway, 1984).



**Figura 21.** Estados vegetativos y reproductivos de una planta de maíz. Escala de Ritchie y Hanway, 1982. \*DDS: Días después de siembra en promedio, aproximado para zonas tropicales y subtropicales; en zonas más frías, se amplían éstos tiempos. Fuente: modificado de <http://siafemor.inifap.gob.mx/anec/ficha-tecnica-maiz.php> y de <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/la-fenologia-del-maiz-y-su-relacion-con-la-incidencia-de-plagas>

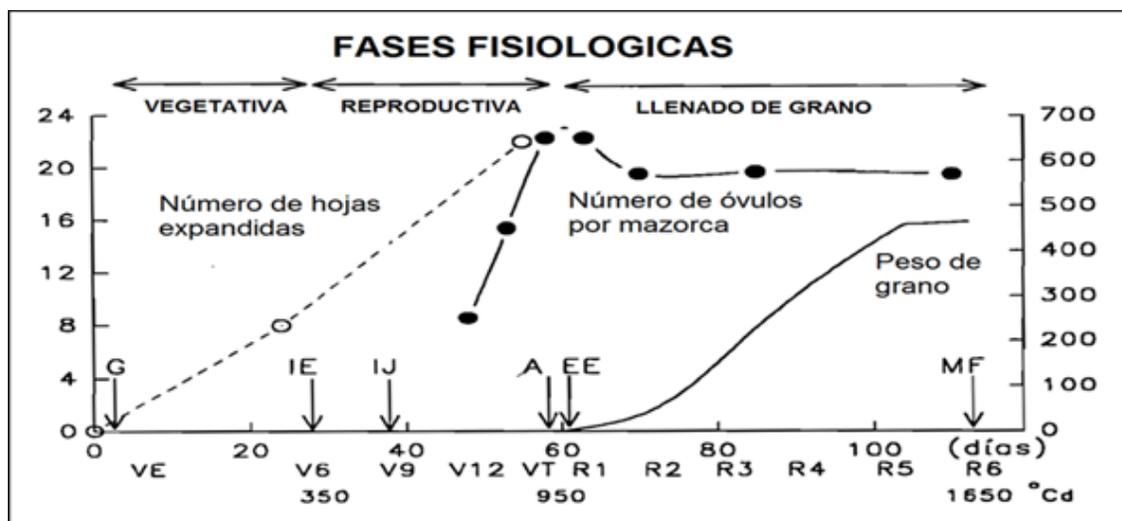
### 2.6.2. Los estados fenológicos de una planta de maíz

Es importante entender cómo a lo largo del ciclo del cultivo se elaboran sucesiva y sincrónicamente los diferentes componentes de rendimiento (Bolaños & Barreto, 1991). En el Anexo B, se presenta a detalle una descripción los aspectos fisiológicos y agronómicos más importantes de los estadios fenológicos del maíz (Ritchie & Hanway, 1984; Edmeades *et al.*, 1992; Toledo, 2014).

### 2.6.3 Esquematación del desarrollo fisiológico

En la Figura 22 se presenta una esquematización del desarrollo fenológico de una planta de maíz, en un ambiente tropical representativo con una temperatura promedio de

23 a 25 °C. En este clima, la planta cesa la iniciación de hojas y el meristemo apical se convierte en la inflorescencia masculina (espiga) a los 28 días después de siembra (DDS). Aquí pasa de la fase vegetativa a la fase reproductiva. La inflorescencia femenina superior (jilote) se forma a los 38 DDS, aproximadamente 10-11 días después de la iniciación de la espiga. La antesis y la emisión de los estigmas ocurren cerca de los 55-60 DDS y la madurez fisiológica a los 110-115 DDS (Fischer & Palmer 1984).



**Figura 22.** Descripción esquemática de la fenología del maíz tropical (115 d a madurez fisiológica a 23-25 °C). G, IE, IJ, A, EE y MF, se refieren a germinación, iniciación de la espiga, iniciación del jilote superior, antesis, emisión de los estigmas y madurez fisiológica, respectivamente. VE, V6,...RI-R6, se refieren a los estadios fenológicos de Ritchie y Hanway (1984) y °Cd al tiempo termal para IE, A y MF. La gráfica está basada en Fischer y Palmer (1984).

La duración de cada una de las etapas ontogénicas descritas anteriormente puede presentar una gran variabilidad, dependiendo principalmente del genotipo y del ambiente (en especial la temperatura y el fotoperíodo) y de la interacción entre ellos. Entendiendo los procesos que regulan la tasa de desarrollo de un cultivo se puede predecir su comportamiento agronómico y el rendimiento en aquellas regiones donde se conoce perfectamente el régimen climático (Fischer & Palmer 1984).

### 2.7 Efectos del medio ambiente en el comportamiento fenológico del maíz

El maíz, debido a sus tipos ampliamente divergentes, crece en un amplio rango de condiciones climáticas, no pudiéndose establecer límites precisos. Es cultivado en áreas tropicales, subtropicales y templadas y en altitudes que van desde el nivel del mar hasta varios miles de metros sobre el mismo, pero presenta un límite, producto de una

combinación de temperaturas bajas con el período libre de heladas (Shaw, 1988; Fassio, 1998).

### **2.7.1 Bases ecofisiológicas para el manejo del cultivo**

La ecofisiología vegetal contribuye al conocimiento de los procesos y mecanismos determinantes del crecimiento y desarrollo de los cultivos, siendo necesario su comprensión para aumentar la producción de manera sostenible y para orientarnos en las prácticas de manejo del cultivo más apropiadas. Para el caso del maíz, se sabe que la temperatura controla la duración del ciclo del cultivo entre la siembra y la madurez fisiológica, mientras que el fotoperíodo afecta el tiempo entre la emergencia y la floración. Estos dos factores tienen una gran influencia sobre el desarrollo del ciclo ontogénico del cultivo en función de la elección de la fecha de siembra (Martínez, 2015).

### **2.7.2 Requerimientos e influencia de los factores climáticos**

Las diferentes respuestas que puede tener el cultivo del maíz en cuanto a la fenología y estructura del cultivo, se deben a factores tales como el fotoperíodo y la temperatura que pueden variar significativamente entre localidades y entre fechas de siembra para una misma localidad. Además de la temperatura y el fotoperíodo, existen otros factores de carácter ambiental (fertilidad, radiación y disponibilidad hídrica) que, si bien pueden afectar la duración de las etapas ontogénicas, no es tan marcado ni consistente su influencia sobre la tasa de desarrollo (Martínez, 2015).

Condiciones ambientales desfavorables, como sequía, baja radiación solar (días nublados), estrés hídrico o térmico, deficiencias de nutrientes y densidades de plantas por encima de la óptima, pueden postergar ligeramente la liberación del polen, pero su efecto más marcado es en el retraso de la floración femenina (aumentando el efecto de protandria), afectando el número final de granos por mazorca (Martínez, 2015).

#### **2.7.2.1 Radiación Solar, Disponibilidad de agua, Suelo, Granizo, Viento, y Evapotranspiración**

A) Radiación. La producción de los cultivos depende de la interceptación de la radiación solar y de su conversión en biomasa. La cantidad de radiación incidente que es interceptada por el cultivo está determinada por el área foliar, por la orientación de la hoja y por su duración (Yzarra *et al.*, 2010). Cuanto mayor sea la duración del ciclo del híbrido, mayor será la cantidad de radiación interceptada durante la estación de

crecimiento y por ende su rendimiento (Martínez 2015). La cantidad de radiación potencialmente interceptable en un período fenológico específico está determinada por la radiación incidente diaria, la que a su vez determina la tasa de crecimiento del cultivo, y por la temperatura, que define la duración del período. La cantidad de radiación interceptada en el período crítico de floración, define el número de granos, mientras que aquella interceptada durante el período de llenado de granos, define el peso de mil granos (Tollenaar, 1977; Fischer & Palmer, 1984).



**Figura 23.** Factores climáticos y su relación con el maíz. (Fuentes: tierrafertil.com.mx, es.123RF.com y on24.com.ar)

B) Disponibilidad de Agua. La disponibilidad de agua en cantidades adecuadas al requerimiento de la planta, posibilita que el cultivo pueda desarrollarse adecuadamente y que posibilite potenciar rendimiento. La utilización del agua está en función del desarrollo fenológico de la planta y se correlaciona con otras variables muy importantes como lo es la capacidad de campo, evapotranspiración y temperatura. La cantidad de agua accesible al cultivo en un momento dado depende de la profundidad explorada por las raíces, de la cantidad de agua disponible hasta dicha profundidad y de la efectividad con que las raíces pueden extraer la humedad del suelo en los distintos niveles. En general, el cultivo del maíz dispone de una fase crítica que demanda la mayor cantidad de agua. Este período ocurre durante la fase de pre y post floración. La limitación de agua en esta fase puede afectar negativamente al rendimiento debido al estrés que provoca en la fisiología de la planta. También la falta de agua en las etapas iniciales

posterior a la siembra puede afectar significativamente la población de plantas, lo que causa la muerte de plántulas y por consiguiente pérdida de población que se reflejará en disminución del rendimiento (Yzarra *et al.*, 2010). La ocurrencia de déficit hídrico durante el crecimiento es uno de los factores ambientales que más afectan la estabilidad de la producción de granos en cereales. En maíz, la reducción en producción de granos por efecto del déficit hídrico es función del estadio de desarrollo de la planta, de la intensidad y la duración de la seca y de la sensibilidad del cultivar (Lorens *et al.*, 1987). El efecto de la falta de agua asociado a la producción de granos es particularmente importante en tres estadios de desarrollo de la planta. El primer estadio se refiere a la iniciación floral y al desarrollo de la inflorescencia, momento en que se determina el número potencial de granos; el segundo se refiere al período de fertilización, que es cuando se fija el potencial de producción; y el tercero es la fase de llenado de grano, en el cual ocurre la acumulación de materia seca (Magalhaes & Da Silva, 1987). La reducción de agua en el cultivo del maíz durante el período de prefloración, floración y post-floración provoca pérdidas de 25%, 50% y 21%, respectivamente. Heisey & Edmeades (1999) consideran que el momento crítico de estrés de sequía de maíz se ubica entre los 7 días previos al inicio de la floración y 15 días posterior a esta.

C) Suelo. El cultivo de maíz se desarrolla bajo diferentes condiciones de suelo. La mayor dificultad de desarrollo del cultivo se encuentra en los suelos excesivamente pesados (arcillosos) y los muy sueltos (arenosos). Los primeros por su facilidad a inundarse y los segundos por la tendencia a secarse excesivamente. Sin embargo, las mejores condiciones se pueden encontrar en suelos que presenten buenas condiciones tales como textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención del agua (Yzarra *et al.*, 2010). El maíz se puede cultivar con buenos resultados en suelos que presenten pH de 5,5 a 8, aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez (pH entre 6 y 7). Un pH fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Con un pH inferior a 5,5, a menudo hay problemas de toxicidad por Al y Mn, con carencias de P y Mg. Con un pH superior a 8 (o superior a 7 en suelos calcáreos), tiende a presentarse carencias de Fe, Mn y Zn (Lafitte, 1994).

D) Granizo. Una precipitación excesiva en las primeras fases de vida es perjudicial

por afectar los retoños, y si está es acompañada de granizo y se presenta durante la floración y fructificación causará bajas en la producción (Taiz & Zeiger, 1991).

E) Viento. El viento es un factor muy importante cuando se consideran las pérdidas de agua a través de la evapotranspiración, las que por su parte aumentan con el incremento de la temperatura. Durante períodos de viento, alta radiación solar y alta temperatura, más agua es extraída por evaporación de la superficie del suelo y por transpiración de las hojas, que en ausencia de estas condiciones (Shaw, 1955).

F) Evapotranspiración. La evapotranspiración es un elemento importante del ciclo hidrológico y balance de energía en la superficie terrestre, su conocimiento y estimación es determinante para la planeación de recursos hídricos y en lo particular, para el uso eficiente del agua de riego (López *et al.*, 2015). La evapotranspiración comprende el agua transpirada por el cultivo y evaporada por el suelo. La evapotranspiración constituye uno de los procesos críticos e indispensables en diversos campos como hidrología, ecología, agricultura y planeación de los recursos hídricos; en las últimas dos décadas se han desarrollado diversas técnicas para estimar la evapotranspiración, este se integra por un coeficiente basal del cultivo ( $K_{cb}$ ) y un coeficiente de evaporación del suelo ( $K_e$ ) (Allen *et al.*, 2005).

### **2.7.2.2 Temperatura**

Dentro de los factores climáticos determinantes de la producción vegetal, la temperatura es uno de los más importantes. Es común observar que en años “fríos” el desarrollo de las fases fenológicas de las plantas se atrasa mientras que en años “cálidos” se adelanta. El desarrollo del maíz depende directamente de la temperatura en la medida en que no se modifique la evolución fisiológica de las plantas por efectos de la ocurrencia de valores muy bajos o muy altos de aquella, o cambios en el fotoperiodo (Totis, 2012).

En el maíz, la temperatura tiene un efecto similar sobre el desarrollo (respuesta de tipo universal) que implica que todos los períodos son sensibles en mayor o menor medida a la temperatura. Esta respuesta es la responsable de que una determinada etapa del desarrollo se acelere o retrase según las plantas sean colocadas a temperaturas más altas o más bajas, respectivamente (Martínez, 2015).

Aunque el maíz es originario de los trópicos, el crecimiento óptimo del cultivo ocurre

a temperaturas de 24 a 30 °C. Temperaturas nocturnas altas no favorecen el crecimiento del cultivo, sino que incrementan las tasas de respiración y de esta forma se reduce el peso seco acumulado durante el día por la fotosíntesis (Fassio, 1988).

Ha sido determinado que las condiciones más favorables para la obtención de rendimientos elevados en el cultivo de maíz se dan en climas con alta radiación solar y temperaturas elevadas, pero no extremadamente cálidos, con una prolongada estación de crecimiento y con temperaturas diurnas entre 20 y 28° C (Santibáñez & Fuenzalida, 1992). Cuando se acumulan días con temperaturas máximas superiores a 28 °C, el período de llenado de granos se acorta y por consiguiente el rendimiento disminuye. El crecimiento máximo del maíz cabe esperarse en ambientes que producen temperaturas foliares entre 30 y 33°C durante el día (la fotosíntesis y la tasa de desarrollo del cultivo alcanzan sus valores máximos entre estos valores), pero con noches frescas.

Es decir que, en lugares con una menor amplitud térmica diaria, el crecimiento total resultará menor (Shaw, 1988). Temperaturas muy elevadas entre 10 y 20 días posteriores a la floración también pueden disminuir el número de granos por espiga. Por lo tanto, el número de granos (principal componente del rendimiento del maíz) queda establecido en esta etapa (Martínez, 2015).

El maíz es muy sensible a las bajas temperaturas, siendo el periodo emergencia a floración el de máxima sensibilidad. En esta etapa la temperatura mínima tolerada es de 7 °C, razón por la cual deben elegirse cuidadosamente las épocas de siembra en cada zona agroclimática (Villaseca, 1987).

### **2.7.2.3 Fotoperiodo**

En un sentido amplio, puede decirse que la noción de fotoperiodo abarca tanto el tiempo de exposición a los rayos lumínicos, como los procesos que esta exposición produce en el vegetal. La alternancia entre el día y la noche, los ciclos solares y los cambios de estación determinan los efectos del fotoperiodo.

El maíz es una planta determinada cuantitativa de días cortos (Fischer & Palmer, 1984; Edmeades *et al.*, 1992). Esto significa que el progreso hacia la floración se retrasa progresivamente a medida que el fotoperiodo excede un valor crítico mínimo. Martínez, (2015), señala que el maíz responde al fotoperiodo como una especie cuantitativa de días cortos. Esto significa que la velocidad o tasa de progreso hacia la floración (inversa

del tiempo hasta la floración) se reduce con incrementos del largo del día cuando se excede un valor crítico (conocido como umbral fotoperiódico) que es de aproximadamente 12-13 horas (Martínez, 2015) (Figura 24).



**Figura 24.** Respuesta del maíz al fotoperiodo. Fuente: <https://es.slideshare.net/shamikito/cultivo-de-maiz-56083304>

En general, para la mayoría de germoplasma de maíz tropical el fotoperiodo crítico oscila entre 11 y 14 horas y en promedio 13.5 horas. La mayoría de los materiales tropicales tienen mucha sensibilidad al fotoperiodo que puede influir en el retraso en la iniciación de la espiga (Bolaños & Edmeades, 1993).

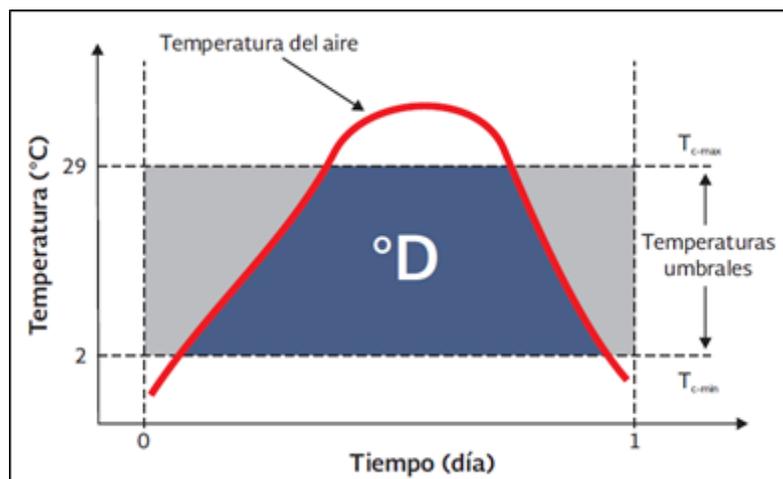
El fotoperiodo también puede afectar el tiempo requerido por la floración. El maíz es clasificado como una planta cuantitativa de día corto. Después de un período juvenil insensible al fotoperiodo, la floración es demorada por fotoperiodos largos de más de 12,5 horas (Kiniry *et al.*, 1983). Hay variabilidad genética para la duración crítica del fotoperiodo por debajo de la cual la fecha de floración no es afectada. La mayoría de los cultivares tropicales son sensibles al fotoperiodo, pero la extensión de esta sensibilidad varía enormemente, de uno a 12 días de atraso en la antesis por cada hora de extensión de la duración del día. Los cultivares para las zonas templadas tienden a ser más tempranos y también menos sensibles al fotoperiodo, lo cual les permite completar su ciclo en un tiempo relativamente más corto bajo las condiciones de días largos que caracterizan a los veranos de las zonas templadas (Yzarra *et al.*, 2010).

## 2.8. Predicción de fenología y métodos de cálculo de tiempo térmico

La predicción de los eventos fenológicos es de suma importancia en diversos aspectos prácticos de la agronomía. Desde 1735 vienen siendo aplicados, como

resultado de observaciones empíricas, los llamados modelos de tiempo térmico, sumas térmicas o grados-día para lograr la identificación de mejores épocas de siembra, el escalonamiento de fecha de cosecha, planeamiento de las actividades agrícolas y también en programas de mejoramiento (Warrington & Kanemasu, 1983).

De acuerdo con Íñiguez-Covarrubias *et al.* (2011), es posible expresar el tiempo transcurrido como unidades de desarrollo en términos de tiempo fisiológico en lugar de tiempo cronológico, usualmente en la forma de tiempo térmico; así surge el concepto de los °D, definido para un período específico, como los grados acumulados sobre un intervalo de temperaturas cardinales o umbrales donde el cultivo se desarrolla. El concepto de los °D integra en forma indirecta, a través de la temperatura, la energía calorífica acumulada en las diferentes etapas de desarrollo fenológico de los cultivos y considera las temperaturas umbrales (máxima y mínima, límite superior e inferior respectivamente) específicas para el cultivo dentro de las cuales este se desarrolla acorde a una tasa de crecimiento (Figura 25).



**Figura 25.** Ejemplo de la acumulación diaria de los °D en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) considerando sus temperaturas umbrales. El área integrada es el valor de los °D. Fuente: Flores *et al.* 2016.

La relación entre la temperatura y desarrollo sustentó la elaboración de los métodos de cálculo del tiempo térmico (a través de funciones de ajuste lineales, exponenciales o mediante ecuaciones más complejas) ampliamente usados para predecir, con éxito variable, el momento de ocurrencia de distintos sucesos fenológicos en maíz, basados en la acumulación de grados-día (Cross & Zuber, 1972; Derieux & Bonhomme, 1982; Ritchie & Nesmith, 1991).

Las distintas versiones de los modelos de sumas térmicas para maíz difieren en el grado de precisión de sus previsiones, en función de las interacciones entre la variación del tiempo meteorológico y la fisiología del cultivo.

Wang (1960) explicó que las plantas responden en forma diferente al mismo factor ambiental en los distintos subperiodos de desarrollo, enfatizando el hecho de que la exigencia de suma térmica es constante únicamente para aquella amplitud en la cual existe linealidad entre el desarrollo relativo y la temperatura.

La simple acumulación de temperaturas medias diarias por encima de 10°C (método residual) explicó el 98% de la variabilidad en el desarrollo del cultivo de maíz en Nebraska (Arnold, 1959) donde fueron efectuadas observaciones fenológicas semanales.

Una modificación de este modelo es el denominado método residual modificado, que considera toda temperatura máxima diaria mayor de 30°C, igual a 30°C y es uno de los modelos más ampliamente difundidos (Gilmore & Rogers, 1958).

Los métodos anteriormente mencionados asumen una relación lineal entre las temperaturas acumuladas y la tasa de desarrollo de las plantas. Sin embargo, Brown (1969) y Kiniry & Ritchie (1983) constataron que el desarrollo relativo no siempre presenta esa relación lineal con la temperatura del aire.

Yzarra *et al.* (2009), citan a Coelho & Dale (1980), y consideran que la razón de superioridad de los índices térmicos que descuentan las temperaturas muy altas es que los mismos están sirviendo como variables reemplazantes del estrés hídrico de las plantas.

Brown (1975) desarrolló un modelo de sumas térmicas, denominado método Ontario, que asume una relación parabólica entre 10 y 30°C y lineal entre 4,4 y 10°C, para describir la tasa de desarrollo de la planta de maíz con relación a la temperatura del aire.

A pesar de la amplia cantidad de modelos existentes y de las limitaciones que el concepto de sumas térmicas tiene para explicar todas las variables determinantes de la fenología de los cultivos, aún se trata de un índice bioclimático de gran utilización en la caracterización de los materiales vegetales en cuanto a la duración de los subperiodos y del ciclo completo, en asociación con la temperatura del aire.

## 2.9 Tiempo termal y fenología

En el maíz, así como en el resto de los cultivos, el pasaje de una etapa fenológica a la siguiente, es una función lineal de la acumulación de unidades de calor (UC) o tiempo termal (TT), se produce en base a una suma acumulativa térmica a través del tiempo, de los °C por encima de un umbral, denominado temperatura base ( $T_b$ ). Temperaturas por encima de la temperatura base se acumulan como suma térmica o grados día (°C D). Ambos términos son comunes y específicos a todos los cultivos (Martínez, 2015)

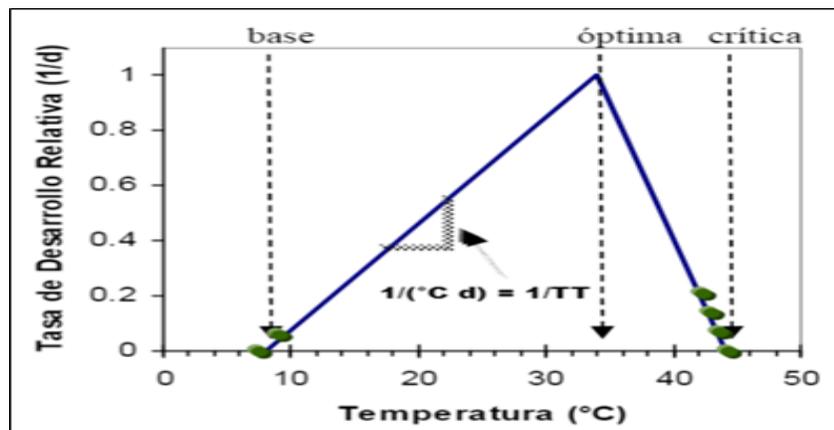
Es así que el tiempo térmico (TT) es aquel que pondera el tiempo calendario por la temperatura a la que las plantas están creciendo. Así, por ejemplo, para calcular el tiempo térmico de una determinada etapa del ciclo ontogénico, es posible utilizar la siguiente ecuación:

$$TT (\text{°C D}) = \sum^n (T_m - T_b) \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde:

- TT es el tiempo térmico
- $T_m$  es la temperatura media diaria
- $T_b$  es la temperatura base
- n es el número de días

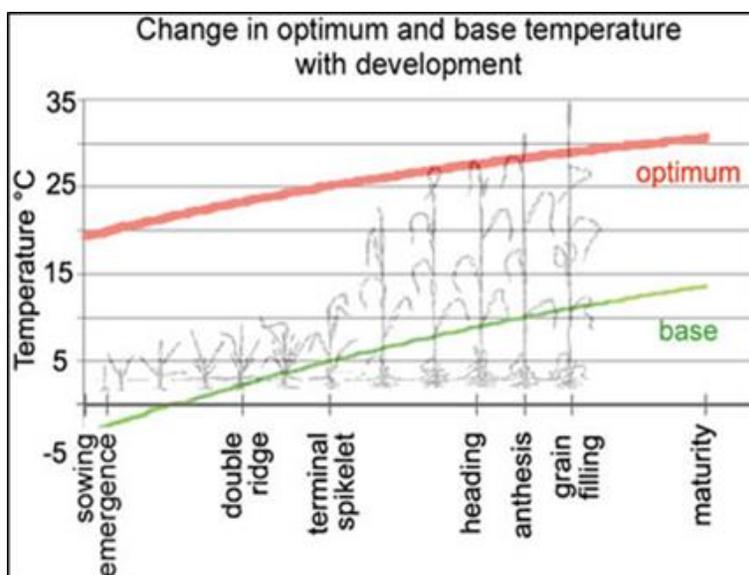
Las limitaciones de este modelo termoperiódico, se dan cuando las temperaturas medias están por encima o por debajo de la temperatura óptima y base, respectivamente. Las temperaturas cardinales del desarrollo ( $T_b$  y  $T_c$ ), por definición corresponden a aquellas temperaturas en las cuales no se registra desarrollo alguno (se calculan indirectamente por proyección desde la recta de regresión hasta su intercepción con el eje de las abscisas), cuando las tasas de desarrollo son igual a cero (Figura 26) (Martínez, 2015).



**Figura 26.** Tasa de una etapa de desarrollo de un cultivo ante diferentes temperaturas (en el eje de las abscisas se indican las temperaturas base, óptima y crítica). Adaptado de Miralles *et al.* (2003).

La duración real de un estado determinado de desarrollo no es una función lineal de la temperatura, sin embargo, está relacionada en forma relativamente lineal al dominio entre una temperatura base ( $T_b$ ) (tasa de desarrollo cero) y una temperatura óptima ( $T_o$ ) (tasa de desarrollo máxima) (Warrington & Kanemasu, 1983a; Ellis *et al.*, 1992b). Esto constituye la base para el sistema de unidades térmicas, el cual suma las temperaturas diarias entre  $T_b$  y  $T_o$  para predecir los distintos estadios en el desarrollo de maíz.

Conceptualmente, la temperatura base es la temperatura a la cual el desarrollo se detiene debido al frío. A medida que la temperatura aumenta por encima de la temperatura base, el desarrollo se acelera hasta que se alcanza la temperatura óptima. La temperatura óptima es aquella a la cual el desarrollo ocurre lo más rápidamente posible. Temperaturas más altas que la óptima pueden reducir la velocidad del desarrollo; a temperaturas muy por encima de la óptima el desarrollo se puede detener y la planta morir (Rawson & Gómez, 2001) (Figura 27).



**Figura 27.** Cambios de las temperaturas base y óptima de acuerdo a las fases de desarrollo. Fuente: FAO, Rawson y Gomez,2001.

### 2.9.1 Algunos parámetros identificados de tiempos termales

La temperatura óptima por encima de la cual la velocidad de desarrollo deja de incrementarse en forma lineal está entre 30 y 34 °C y la temperatura máxima o crítica a la cual cesa el desarrollo se ubica entre 40 y 44 °C, según varios autores.

Se considera de manera general, adoptar el criterio de que temperaturas por encima de ( $T_o$ ) reducen la tasa de progreso hasta llegar a un nivel crítico ( $T_c$ ) donde el

progreso es 0. En maíz tropical, la  $T_b$  es de 8 a 10°C, la  $T_o$  de 30 a 34°C, y la  $T_c$  de 40 a 44°C (Bolaños & Barreto 1991).

Hernández y Carballo (1984) en su estudio para determinar temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México estimaron  $T_b= 7^\circ\text{C}$  y  $T_o= 27^\circ\text{C}$  para Valles Altos en México y cuyo  $T_b$  coincide con la encontrada por Narwal *et al.* (1986) para invierno en el noroeste de India.

En una comparación de 22 métodos para computar las unidades térmicas en el intervalo siembra-emergencia de estigmas, Cross & Zuber (1972) concluyeron que la suma de las temperaturas medias diarias, computadas a partir de la máxima y mínima diaria con  $T_b = 10^\circ\text{C}$  y  $T_o = 30^\circ\text{C}$ , daba los resultados con mayor repetibilidad en los distintos ambientes (Bonhomme *et al.*, 1994).

Derieux & Bonhomme (1982) en 11 países europeos, concluyeron que para los germoplasmas utilizados en esas regiones la  $T_b$  era igual a 6°C. Otros reportes sugieren una  $T_b$  cercana a 8°C (Warrington & Kanemasu, 1983). Brown (1969) en Ontario utilizó un umbral de 4.4 °C para la temperatura nocturna y 10 °C para la diurna.

Rench (1973), en Iowa, encontró que la temperatura de 7.2°C fue la temperatura base que mejor ajustó tanto al período de emergencia a floración como de floración a madurez fisiológica (Shaw, 1988).

Otros investigadores como García & López (2002) encontraron  $T_b= 7.5^\circ\text{C}$  para la extensión foliar y Ruiz *et al.* (1998) obtuvieron  $T_b$  entre 2°C y 10°C para 49 razas mexicanas de maíz.

Un estudio reciente de cultivares de maíz adaptados a diversas condiciones, indica que las diferencias genéticas en  $T_b$  son comparativamente pequeñas (Ellis *et al.*, 1992).

La determinación de  $T_o$  ha recibido menor atención. Estimaciones de  $T_o$  en el cinturón maicero de los Estados Unidos variaron de 28 a 34°C (Tollenaar *et al.*, 1979). En las condiciones europeas, el sistema preferido para computar las unidades térmicas es  $T_b=6^\circ\text{C}$ ,  $T_o=30^\circ\text{C}$  y una reducción lineal en la tasa de desarrollo cuando la temperatura máxima diaria excede  $T_o$  (Bonhomme *et al.*, 1994).

## **2.10 Unidades Calor (UC) o Grados Día de Desarrollo (GDD)**

La Unidades Calor (UC) son la forma como se mide la acumulación del calor a través del tiempo. Son un indicador del tiempo que un cultivo ha estado expuesto a

temperaturas adecuadas para su desarrollo. Las UC pueden emplearse para evaluar la viabilidad de un cultivo en alguna región determinada; estimar las etapas de desarrollo del cultivo; predecir su fecha de madurez y definir los mejores tiempos para aplicar fertilizaciones o controles de plagas (Ruiz, 2018).

La idea de GDD, se inició a partir de los trabajos de Reamur en 1735; sin embargo, con el paso del tiempo se ha mejorado y se sigue usando como sinónimo de unidades calor (UC), unidades térmicas (UT) o unidades de desarrollo (UD). Todos ellos se manejan como marco de referencia para el estudio de la relación desarrollo-temperatura de un organismo (Vega *et al.*, 2001). Aunque existen diversos nombres con un mismo significado, el término de unidades calor (UC) es inconveniente porque el tiempo térmico utiliza la temperatura y no el calor, como base de cálculo (Ojeda & Sifuentes, 2015) (Figura 29).

Más que el tiempo calendario, el maíz responde al tiempo térmico. El maíz crece más rápido a medida que aumentan las temperaturas y crece más lentamente a medida que caen las mismas. El tiempo termal es definido como la acumulación de calor durante el tiempo calendario. El tiempo térmico se mide como Grados Días de Desarrollo (GDD), que es la cantidad de calor acumulada en cierto periodo de tiempo (Nielsen, 1993) (Figura 28).



**Figura 28.** La temperatura como base del cálculo del Tiempo Térmico y de los GDD. Fuente: [www.dreamstimes.com](http://www.dreamstimes.com)

Según la Universidad de California (UCANR-IPM, 2020), un grado-día (°D) es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida. También conocidas como unidades de calor, los grados días son el producto acumulado de tiempo y temperatura entre los umbrales de desarrollo para cada día.

Lee (2011) investigador de la Universidad de Kentucky, menciona que se utilizan grados día de desarrollo (GDD), para relacionar la temperatura con el crecimiento del maíz y sus etapas de desarrollo. Menciona también, que las compañías productoras de semillas de maíz reportan la madurez de sus híbridos en días, según en el número esperado de días necesarios para alcanzar suficientes GDD para completar su crecimiento y desarrollo.

Considerando la afectación que experimentan las etapas fenológicas a causa de las temperaturas, Arista-Cortes *et al.* (2018) mencionan que es importante determinar el rango de temperaturas y así poder medir el crecimiento mediante la integración diaria de energía térmica o día grado crecimiento (D°) dentro del rango de cada etapa y se conoce como grados días de desarrollo (GDD).

### **2.10.1 Método de Temperatura Media para cálculo de UC y GDD**

También es conocido como el método unidades calor. Sirve para conocer el requerimiento térmico del cultivo en relación con su desarrollo fenológico. El principio de este método es considerar cuando la temperatura media diaria excede un determinado umbral o también conocido como temperatura base ( $T_b$ ) (Wang, 1960; Cross & Zuber, 1972; Snyder, 1985). Los °D mediante el método de la temperatura media se estiman con la ecuación 2:

$$^{\circ}\text{D} = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - T_b \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

- °D es Grados Día
- $T_{\min}$  es la temperatura mínima del aire
- $T_{\max}$  es la temperatura máxima del aire
- $T_b$  la temperatura base

Para estimar los grados día (°D) diariamente mediante este método, se requiere del conocimiento de la temperatura media ambiental ( $T_a$ ) aplicando la ecuación 3 (Ojeda *et al.*, 2004 y 2006; Flores *et al.*, 2012):

$$\begin{aligned} \text{°D} &= T_a - T_{c-\text{min}}, \text{ sólo si: } T_a < T_{c-\text{max}} && \text{[Ecuación 3]} \\ \text{°D} &= T_{c-\text{max}} - T_{c-\text{min}}, \text{ sólo si: } T_a \geq T_{c-\text{max}} \\ \text{°D} &= 0, \text{ sólo si: } T_a \leq T_{c-\text{min}} \end{aligned}$$

Donde:

- °D es Grados Día
- $T_a$  es la temperatura media ambiental
- $T_{\text{min}}$  es la temperatura mínima del aire
- $T_{\text{max}}$  es la temperatura máxima del aire

### 2.10.2 Algunos parámetros identificados de Grados Día de Desarrollo.

En el modelo propuesto por Kiniry (1991) para las condiciones del cinturón maicero de los Estados Unidos, se utiliza un sistema de grados-día de crecimiento o Tiempo Térmico Diario (TTD), donde  $T_b=8^\circ\text{C}$ ,  $T_o=34^\circ\text{C}$  y los valores decrecen linealmente desde  $T$  hasta una temperatura máxima de  $44^\circ\text{C}$  a partir de la cual la tasa de crecimiento se hace 0 nuevamente. En este modelo, la temperatura base de  $8^\circ\text{C}$  es utilizada para todos los estadios excepto para emergencia de plántula donde la temperatura base es de  $10^\circ\text{C}$ .

Lee (2011), reporta que la mayoría de los híbridos en Kentucky requerirán alrededor de 2700 a 3100 GDD o unidades de calor para alcanzar R6 (madurez fisiológica o capa negra). Los híbridos de maíz necesitan alrededor de 200 GDD para cada V2 (2 hojas completamente emergidas) y 1400 GDD para alcanzar R1 (emisión de estigmas). Los GDD se acumulan más rápidamente con fechas tardías de siembra; por ejemplo, el híbrido DKC66-96 es un híbrido de "116-días" que alcanza la polinización media con 1350 y la capa negra con 2820 GDD respectivamente y sembrándolo con 6 semanas de retraso, sólo se retrasará 3 semanas en alcanzar los GDD a capa negra.

La germinación toma de 50 a  $150^\circ\text{Cd}$ , la iniciación y aparición de hojas sucesivas 25 y  $40^\circ\text{Cd}$ , respectivamente, la iniciación floral masculina de 300 a  $400^\circ\text{Cd}$ , la iniciación del jilote superior de 400 a  $500^\circ\text{Cd}$  y la floración de 500 a  $700^\circ\text{Cd}$  para maíces precoces y de 900 a  $1100^\circ\text{Cd}$  para los tardíos (Bolaños y Barreto 1991).

En función del genotipo, el requerimiento térmico del período comprendido entre la floración y la madurez relativa, varía entre 600 y 900 °Cd acumulados sobre una temperatura base de 8 °C. En general este carácter es bastante estable y justifica el uso de la acumulación de unidades térmicas como criterio para predecir la madurez de los granos en las regiones subtropicales y templadas (Fischer & Palmer, 1984).

### **2.10.3 Aplicaciones de los GDD**

La acumulación de los grados días de desarrollo (GDD) puede ser usado por los agricultores para monitorear el desarrollo de procesos biológicos y así puede ser usado en el control de enfermedades de sus cultivos. Los GDD son importantes en la toma de decisiones sobre el manejo del cultivo y en la investigación de modelos clima-cultivo (Neild & Seeley, 1987).

Asimismo, mencionan que las principales aplicaciones de los GDD son:

- a. Desarrollo esperado del cultivo en diferentes localidades. Lo cual ahorra muchos años de investigación y da la pauta para posteriores trabajos.
- b. Desarrollo esperado en diferentes fechas de siembra.
- c. Desarrollo esperado de diferentes híbridos.
- d. Predicción del desarrollo en futuras fechas.
- e. Pronóstico del número de días a una etapa.
- f. Estimación del número de días que el cultivo está adelantado o atrasado con respecto a lo normal.
- g. Observaciones a partir de siembras estándar para mejorar las predicciones de GDD tomando en cuenta que el cultivo es el principal integrador de todas las variables ambientales.
- h. Cartografiar etapas de desarrollo esperadas sobre una región, mediante una red de estaciones donde se registren los datos requeridos (fenológicos y de temperatura).

### **2.11 Madurez Fisiológica**

Los agrónomos generalmente se refieren a la "madurez" como ese punto en el tiempo al final del período de llenado del grano cuando se ha producido el peso máximo por grano. El término habitual para esto es "madurez fisiológica" y a menudo se asocia con el desarrollo de la capa negra en la punta del grano maduro (Figura 29).

Otra definición de madurez fisiológica es ese punto en el tiempo cuando un híbrido

puede cosecharse de manera segura con una pérdida mínima de cosecha, ya sea por pérdida de grano o daño de grano y generalmente se asocia con un contenido de humedad del grano de alrededor del 25 por ciento (Nielsen, 2012).



**Figura 29.** Maíz en etapa de Madurez fisiológica. a) Mazorca principal de una planta en R6. b) Progresión de la formación de la capa negra. c) Granos de una planta en R6 que muestran el endospermo, el embrión y la capa negra. d) Mazorca de una planta en R6 recién cosechada. Fuente: Extensión de la Universidad del Estado de Iowa USA y cortesía de las empresas Dupont y Pioneer.

La madurez fisiológica ha sido ampliamente adoptada como una etapa importante de crecimiento y utilizada por investigadores y productores de semilla, porque representa el fin del crecimiento activo de las plantas y la etapa de definición de la producción del rendimiento (Egli, 2017).

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) señalan que, al momento de llegar a la madurez fisiológica, la semilla tiene su máximo potencial para un buen establecimiento del cultivo, ya que posee el vigor que le permite soportar condiciones desfavorables, tales como mayor profundidad de siembra y tolerancia al frío y al exceso o déficit de humedad, entre otros factores.

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. La capa de almidón duro ha avanzado hasta la zona de unión del grano con el olote, lo que determina la desaparición de la línea de leche y el término del crecimiento de los granos. En ese momento, el contenido promedio de humedad en los granos es de 37% y en la planta de aproximadamente un 60% (PUCCH, 2020).

### 2.11.1 Relación de Madurez Relativa (MR) y Días a Madurez

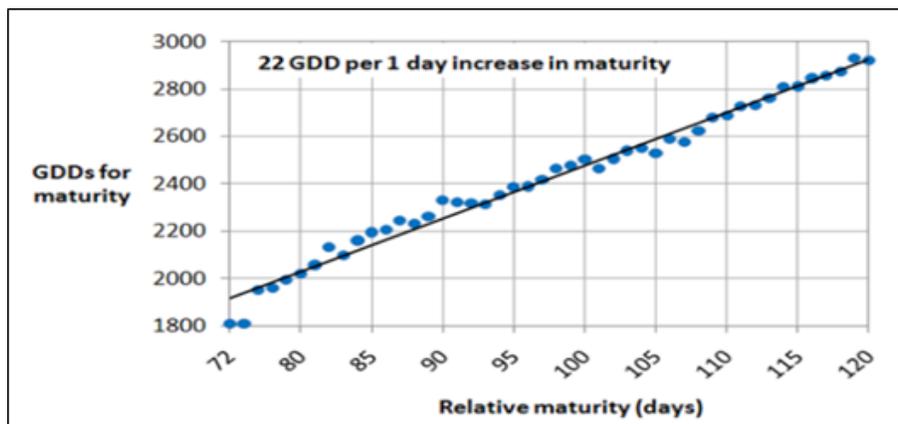
En el cinturón de maíz del norte de USA, la madurez es uno de los factores más

importantes a considerar al seleccionar híbridos. La madurez híbrida se clasifica utilizando los sistemas de calificación de madurez relativa (MR) y / o GDD. Con el sistema MR, la madurez híbrida se expresa en días. Esto no representa el número de días requeridos desde la emergencia hasta la madurez fisiológica; más bien, es una medida relativa de madurez para un híbrido dado, en comparación con los híbridos de madurez conocida (Coulter, 2018).

El sistema MR se usa desde 1939 en la franja maicera de USA. En éste, los híbridos son probados por tres años, y sus resultados se comparan con híbridos estandarizados de acuerdo a sus características, y están divididos en varios grupos, de clasificados de acuerdo a los contenidos de humedad obtenidos. Estos grupos van desde los 75, 80 u 85 días de MR, hasta los 100, 105 o 110 días de MR.

Una importante consideración al usar este sistema, es no confundir la MR, con los días a madurez. El término “días a madurez”, se refiere al número de días desde un punto en el tiempo, hasta que un cultivo alcanza la madurez. El término “madurez relativa”, compara la diferencia relativa en madurez, entre uno o más híbridos, de acuerdo a una definición arbitraria, previamente especificada (Hall, 1995).

Aunque no existe un estándar en la industria semillera para medir la MR, ésta se relaciona estrechamente con los GDD requeridos desde la siembra hasta la madurez. En general, un híbrido MR de 95 días necesita entre 2,350 y 2,400 GDD desde la siembra hasta la madurez, con cada aumento de un día en MR aumenta el requisito de GDD para un híbrido en un promedio de 22 GDD (Figura 30).

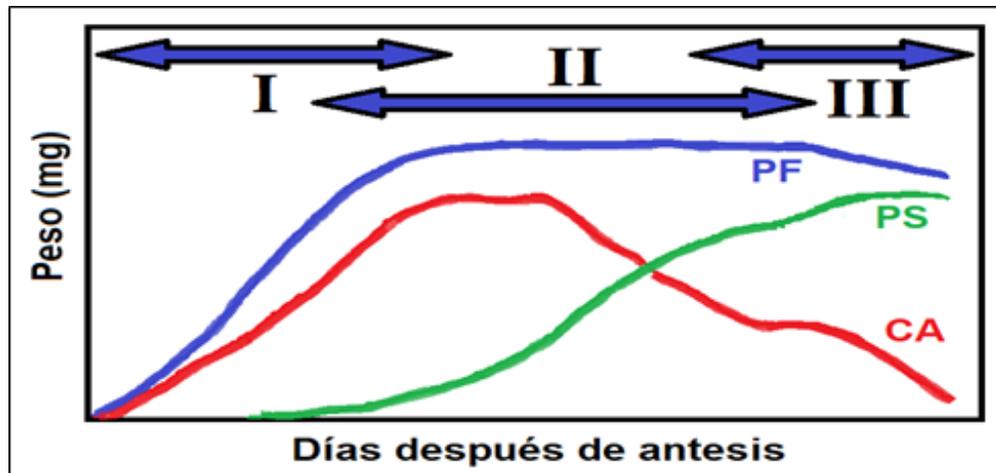


**Figura 30.** Relación entre GDDs necesarios para la madurez y Madurez Relativa para 480 híbridos en la franja maicera de USA. Cada punto es un promedio de híbridos para una madurez relativa. Fuente: University of Minnesota Extension, 2018.

### **2.11.2 Etapas de la madurez fisiológica**

Este período presenta tres etapas bien diferenciadas en cuanto a la velocidad o tasa de acumulación de la materia seca. La fase I es de acumulación muy lenta de materia seca y corresponde al período de cuaje de los granos (R2), que se extiende unos 10 a 20 días posterior a la floración, según la temperatura y el genotipo (Fischer & Palmer, 1984; Cirilo y Andrade, 1994); en ese momento queda definido el principal componente del rendimiento: el número de granos por mazorca. La fase II, o fase efectiva de llenado de grano, es de crecimiento lineal y a tasa máxima; generalmente dura más de la mitad del período total de llenado de los granos. La fase III o etapa final (crecimiento no lineal), es la etapa donde la tasa de llenado va declinando durante una o dos semanas, hasta hacerse nula, completándose el crecimiento del grano que alcanza su madurez fisiológica y por ende su máximo peso seco. Simultáneamente el grano va perdiendo humedad y a la semana de finalizada la etapa se visualiza la formación de la "capa negra". Al alcanzar la madurez fisiológica, queda determinado el peso final del grano y, en consecuencia, el rendimiento en grano del cultivo (Yzarra, 2010).

Saini & Westgate (2000), mencionan que el patrón general del desarrollo del núcleo se puede dividir en tres fases. La fase I, a menudo denominada "fase de retraso", es un período activo de división y diferenciación celular y está marcado por un rápido aumento en el peso fresco del grano. El crecimiento del grano es principalmente el resultado de la entrada de agua impulsada por una rápida acumulación de solutos (Westgate & Boyer, 1986). Traslapando y siguiendo se encuentra la fase II, el período de llenado del grano, que se caracteriza por un rápido aumento del peso seco del grano como resultado de la deposición de reservas, predominantemente almidón (Bewley & Black, 1985). El peso fresco del grano permanece relativamente estable, ya que el agua es desplazada por las reservas acumuladas dentro de las células del embrión y el endospermo. Durante la fase III, cesa la acumulación de materia seca y el grano se seca por maduración y se aproxima a un "estado de reposo" (Bewley & Black, 1985). Una pérdida de peso fresco refleja una disminución continua, y a veces más rápida, en el contenido de agua (Figura 31).

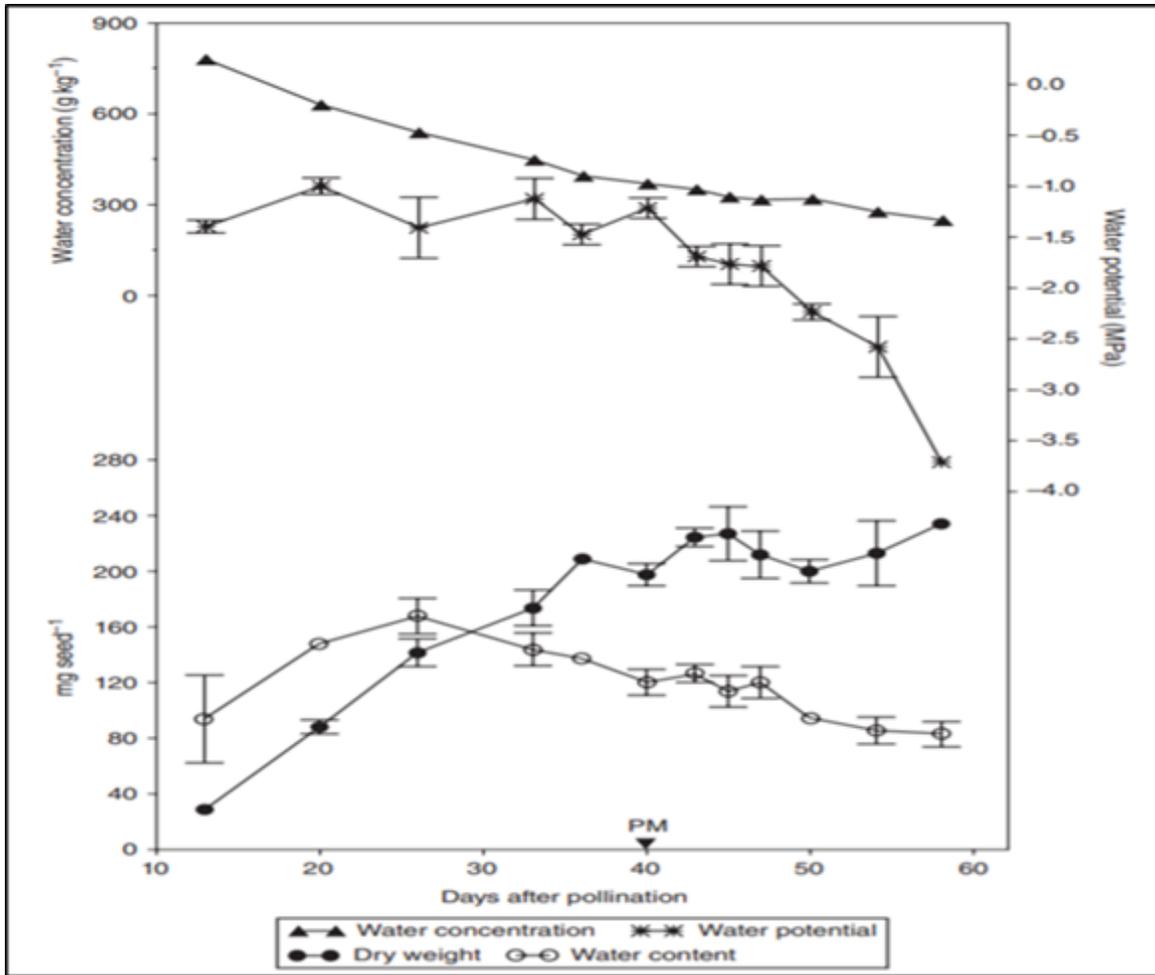


**Figura 31.** Patrón típico de desarrollo del grano de cereal en términos de peso fresco (PF), peso seco (PS) y contenido de agua (CA). El desarrollo se divide en tres fases: (I) división celular, diferenciación y expansión; (II) acumulación rápida de reservas; y (III) maduración. Fuente: Modificado de Westgate, 1999.

Adams & Rinne (1980), mencionan que el desarrollo de la semilla, desde la fecundación hasta la semilla madura, puede dividirse en tres fases. La Fase I incluye entre la fertilización y el período de rápida división celular cuando se forman todas las estructuras de las semillas. La Fase II es cuando la semilla acumula los materiales de reserva que le dan valor económico. La Fase III comienza cuando la acumulación de materiales de reserva disminuye antes de detenerse en madurez fisiológica (Egli, 2017).

La curva de crecimiento propuesta por Egli & Tekronyi (1997) para una semilla de maíz individual ilustra estas tres fases. El peso seco de una semilla individual aumenta lentamente durante la fase de retraso inicial (fase I) y luego aumenta rápidamente a una constante tasa máxima durante la fase lineal (fase II), después de lo cual la tasa de crecimiento disminuye a cero en la madurez fisiológica (peso seco máximo de semilla, fase III) (Figura 32).

Investigaciones anteriores han demostrado que el potencial de los granos de maíz para alcanzar la masa máxima, se establece durante las primeras etapas del desarrollo del grano y es una función del número de células de endospermo y gránulos de almidón formados (Jones *et al.*, 1996).



**Figura 32.** Peso seco de la semilla, contenido y concentración de agua, y agua embrionaria potencial de un híbrido F1 de maíz (B73x Mo17) cultivado en campo. Las barras representan  $\pm 1$  error estándar de la media. PM: madurez fisiológica. Adaptado de Egli y Tekrony (1997).

Si bien se reconoce un comportamiento común en la formación de las semillas de diferentes especies, Hilhorst & Toorop (1997) señalan diferencias de este proceso en algunas especies. A partir de la fecundación, la primera etapa en el desarrollo de la semilla corresponde a la histodiferenciación, la segunda al crecimiento propiamente de la semilla, también conocido como periodo de llenado de grano y, finalmente, la fase de madurez o reposo. En el caso del maíz, Shaw & Loomis (1950) establecieron que, al concluir la segunda etapa del desarrollo, las semillas se independizan de la planta madre y alcanzan la madurez fisiológica; ésta corresponde al final del periodo de llenado de grano y equivale a la máxima acumulación de materia seca.

## 2.12 Indicadores de la madurez fisiológica

El desarrollo de semillas del maíz se acompaña de cambios en el contenido de

humedad, que se reduce significativamente al final de todo el proceso (Hunter *et al.*, 1991), por el desarrollo de la capa negra (CN) en la región placentar-calazal de la semilla (Daynard & Duncan, 1969; Rensch & Shaw, 1971; Daynard, 1972; Hunter, 1989; Tekrony *et al.*, 1994) y por el desarrollo progresivo de la línea de leche como resultado de la solidificación del endospermo lechoso, comenzando en el ápice de la semilla y terminando en la base (Afuakwa & Crookston, 1984; Hunter *et al.*, 1991).

Estos cambios morfológicos y fisiológicos que ocurren durante el desarrollo de la semilla se han usado para determinar la madurez fisiológica de la semilla de maíz.

Utilizando un sistema de calificación basado en el desarrollo de la capa negra y la línea de leche, muchos investigadores han identificado el punto de madurez fisiológica y el tiempo óptimo de cosecha (Vieira *et al.*, 1995).

Según Knittle & Burris (1976), 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. Como criterios de decisión se han utilizado la acumulación máxima de peso seco (Aldrich, 1943; Shaw & Loomis, 1950), el contenido de humedad (Hillson & Penny, 1965), la presencia de la capa negra (Daynard & Duncan, 1969) y de la "línea de leche" (Afuakwa & Crookston, 1984), entre otros, pero aún no se cuenta con un indicador preciso que permita identificar el estado de madurez fisiológica de la semilla.

La calidad fisiológica se puede evaluar con pruebas de germinación de semillas en laboratorio; además, debe complementarse con una adecuada evaluación de la capacidad de emergencia de plántulas en campo, por lo que son importantes las pruebas de vigor (Copeland & McDonald, 2002, García-López *et al.*, 2016, García-Rodríguez 2018).

Harrington (1972), citado por Molina *et al.* (2003) y Espinosa-Calderon *et al.* (2009), mencionan que se ha establecido por diversos autores, que la máxima calidad fisiológica de las semillas, medida por la germinación y vigor, coincide con la madurez fisiológica.

### **2.12.1 Contenido de humedad**

Los procesos de vida de las semillas giran en torno al contenido de humedad, el cual no debe ser demasiado alto o demasiado bajo. Las semillas húmedas son difíciles de trillar y se deteriorarán a mayor velocidad. Del mismo modo, si las semillas están

demasiado secas, pueden romperse en el campo y, por lo tanto, reducir los rendimientos.

El contenido de humedad de la semilla debe llevarse al nivel deseable, a través del secado (natural o artificial), lo que permite preservar su viabilidad en el almacenamiento y evitar el deterioro por insectos y patógenos. El contenido de humedad también determina la elección del material de embalaje para fines de comercialización o almacenamiento. El contenido de humedad de las semillas varía según su composición química. Es menor en el caso de las semillas oleaginosas, mientras que es alta en el caso de las semillas donde el material alimenticio de reserva es predominantemente carbohidratos o proteínas (Bhusal, 2019).

La máxima acumulación de peso seco como indicador de la madurez fisiológica establecido por Shaw & Loomis (1950), es probablemente el criterio más aceptado para todas las especies. En cultivos destinados a la producción de semilla, este criterio adquiere mayor importancia debido a que Harrington (1972) postuló que la máxima calidad fisiológica de las semillas medida por la germinación y vigor, coincide con la madurez fisiológica;

La relación de agua en el grano juega un papel clave en el control de la duración del llenado de grano. Esta duración está controlada por la relación entre el agua del grano y el desarrollo de la biomasa, ya que determina que los granos alcancen un porcentaje crítico de contenido de humedad (CH medido en base al peso fresco) en el que se detiene la acumulación de biomasa. El tiempo en que se alcanza este porcentaje crítico de CH puede verse afectado por el cese de absorción neta de agua del grano (es decir, se alcanza el contenido máximo de agua), o por la relación entre la pérdida de agua y la deposición de biomasa después de alcanzar el contenido máximo de agua. Las diferencias en la duración del llenado de granos se explican por el patrón de disminución del porcentaje del CH después de alcanzar el contenido máximo de agua. Este porcentaje de disminución de CH depende de la relación entre la pérdida de agua y la deposición de biomasa; cuanto mayor es la tasa de pérdida de agua y la tasa de crecimiento del grano, menor es la duración de la etapa (Gambin *et al.* 2007).

Brooking (1990) señala que la pérdida de agua ocurre en dos fases. La primera, que termina en la madurez fisiológica, tuvo una tasa constante de pérdida de agua, y se interpretó como una pérdida de agua "de desarrollo" asociada con el llenado de granos.

La segunda fase, que comenzó con la madurez fisiológica, mostró una tasa decreciente de pérdida de agua característica del proceso de secado.

Egli (2017) menciona que la concentración de agua (g de H<sub>2</sub>O por g de peso fresco) es muy alta durante la fase I y disminuye constantemente hasta que la semilla alcanza la madurez fisiológica.

Las semillas de cereales generalmente alcanzan su contenido máximo de agua en una etapa más o menos temprana del desarrollo. El contenido máximo de agua de semilla también representa el volumen máximo de semilla (Gambin *et al.*, 2007).

Algunos autores, como Rench & Shaw (1971), determinaron la madurez fisiológica de la semilla de maíz utilizando la concentración de humedad y el contenido de materia seca.

Borrás *et al.* (2003) exponen el vínculo entre las relaciones de agua del grano y el peso final del grano. Las modificaciones en el peso del grano se explican por los cambios en la tasa de crecimiento del grano, que se correlacionó estrechamente con el contenido máximo de agua alcanzado durante el llenado rápido de granos. Como tal, el contenido máximo de agua sirve como una medida independiente de la capacidad de almacenamiento de nutrientes del grano de maíz. Comprender los factores metabólicos que determinan cómo se logra y regula el contenido máximo de agua del grano es esencial para aumentar la resistencia del **hundimiento** en condiciones favorables.

Los parámetros de humedad y peso seco máximo varían en función del genotipo y la fecha de siembra (Knittle & Burris, 1976). Según Adrich (1943), el potencial máximo para la calidad fisiológica de la semilla de maíz se produjo cuando las semillas mostraron un 65% de acumulación de materia seca y un 35% de contenido de humedad.

La madurez fisiológica, se ubica cercana al 35% de humedad en la semilla, según informan Copeland & McDonald (2002).

Bhusal (2019) menciona que los lotes de semillas cosechadas, generalmente tienen un alto contenido de humedad al momento de la cosecha y la trilla. Para preservar la viabilidad y el vigor de las semillas, es necesario secar las semillas a niveles seguros de contenido de humedad; asimismo identifica diferentes niveles de viabilidad de éstas, en función del contenido de humedad al momento de la cosecha (Figura 33).

Contenido de Humedad a cosecha %	Vida de almacén
11 - 13	6 meses
10 - 12	1 año
9 - 11	2 años
8 - 10	4 años

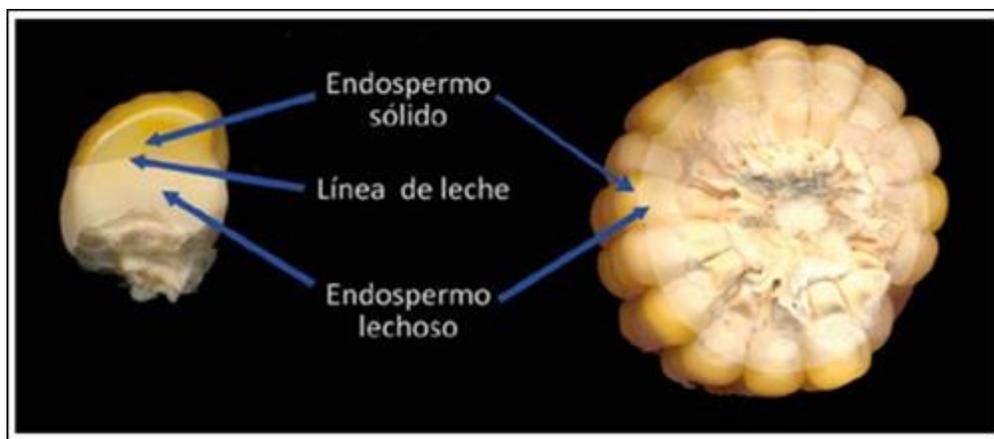
**Figura 33.** Vida de almacén de semilla cosechada con diferente % de humedad y con temperatura no excedente a 32°C. Fuente: modificado de Bhusal, 2019.

Ajayi & Fakorede (2000) mencionan que la humedad en la cosecha, la temperatura de secado y la duración de la exposición a altas temperaturas son controles críticos para manejar la calidad de la semilla, pero la humedad de la semilla es menos crítica que los otros dos factores (Bilanski, 1966; Herter & Burris, 1989; Hill *et al.*, 1999a; Thuy *et al.*, 1999). Las temperaturas de secado superiores a 40 °C causan lesiones por estrés y cuando las lesiones son extensas, el efecto es inmediatamente observable por una reducción drástica en la calidad de la semilla.

### 2.12.2 Línea de leche

La Pontificia Universidad Católica de Chile (PUCCH) (2020), define que en el estado dentado o de masa dura, la mayoría de los granos comienza a mostrar hendiduras en su parte apical, lo que corresponde al dentado de los granos; el contenido promedio de humedad en este estado alcanza 55%. Los granos comienzan a secarse desde su parte apical, que es donde se inicia el depósito de almidón. Así, aparece la denominada “línea de leche” en los granos, la cual marca la transición entre el almidón duro o sólido y la parte aún lechosa; esta línea va acercándose cada vez más hacia el olote en la medida que avanza la madurez, desapareciendo definitivamente una vez que los granos alcanzan el estado de madurez fisiológica (Figura 38). Cuando la línea de leche se sitúa aproximadamente en la parte media de los granos, éstos presentan aproximadamente un 40% de humedad y han alcanzado casi un 90% de su peso seco final.

De acuerdo con Hunter *et al.* (1991), la línea de leche registrada poco antes de los 60 días después de la polinización, representa un indicador útil y confiable de la madurez fisiológica de las semillas de maíz, principalmente porque antes de esa etapa las semillas ya habrán alcanzado el peso máximo de materia seca.



**Figura 34.** Semillas de maíz que muestran una línea de leche de aproximadamente 50%, el embrión se encuentra en el plano opuesto al mostrado en la imagen. Fuente: Mancera-R. y Ramírez-J. (2014)

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) consideran que la estimación de la línea de leche es un parámetro práctico durante monitoreos previos a madurez fisiológica.

Suraj (2014) menciona que la consideración sobre la línea de leche como indicador de madurez fisiológica se realizó para encontrar un procedimiento visual más confiable que se pueda monitorear durante un período de tiempo. Señala que la etapa de masa blanda marcó el comienzo de la leche del grano en una conversión sólida. Poco después de la etapa de grano dentado, la línea de leche se hizo externamente visible en la cara del grano opuesta al germen y se puede controlar su progresión. La humedad del grano en la etapa de media línea de leche fue del 40%. La pérdida de toda la leche del grano ocurrió en un promedio de 2 días antes de la formación de la capa negra. La desaparición de la línea de leche coincidió con el peso seco máximo del grano.

### 2.12.3 Capa Negra

Casi simultáneamente con la desaparición de la línea de leche en la región placentaria de la semilla, que corresponde al lugar de inserción de ésta en el olote, se hace visible un punto o película de color negro, que es un indicador de madurez fisiológica (PUCCH, 2020).

El período de llenado de los granos comienza desde el mismo momento de producida la fecundación hasta la formación de la “capa negra” o tejido de abscisión que indica la necrosis de los haces vasculares que conectan al grano con los tejidos maternos (Daynard & Duncan, 1969; Martínez, 2015).

Carter & Poneleit (1973) observaron que la capa negra, es un mejor indicador de la

madurez fisiológica de las semillas de maíz, ya que el comienzo del desarrollo de esta capa se puede observar alrededor de un mes después de la polinización (Hunter *et al.*, 1991).



**Figura 35.** Detección de la capa negra en semillas de maíz blanco, azul y amarillo al momento de madurez fisiológica. Fuente: Mancera-R. y Ramírez-J. (2014)

De acuerdo a Daynard & Duncan (1969), el método de capa negra se consideró más útil para evaluar el peso seco máximo de la semilla. Los autores observaron que la capa negra podría formarse en 3 a 4 días.

Molina *et al.* (2003), concluyeron que la aparición de la capa negra en las semillas de maíz, se asocia mejor con la máxima acumulación de materia seca, incluso que los propios criterios de germinación y vigor, para determinar una máxima calidad fisiológica.

Tekrony & Hunter (1995) observaron el máximo vigor de la semilla alrededor de la etapa cuatro de la formación de la capa negra, y también la etapa cuatro para el desarrollo de la línea de leche, aunque el peso seco máximo se produjo como máximo en esa etapa.

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) consideran que la presencia de capa negra es el mejor indicador de la madurez fisiológica, estimando que su proporción sea superior a 75% de la muestra, aunque, por otra parte, señalan la determinación del color de ésta es un tanto subjetiva y difícil de medir (Figura 35).

Vieira *et al.* (1995) sugirieron que el desarrollo de la línea de leche sería un método útil para ser utilizado en el campo. Para estos autores, este método permite subdividir el

período reproductivo del maíz en cinco partes (etapas) y luego verificar el momento de máxima calidad de semilla.

Rench & Shaw (1971) comentan que la acumulación máxima de materia seca coincidió con la aparición inicial de la formación visual de la capa negra. El peso perdido por los granos desde el desarrollo inicial de la capa negra visual hasta el desarrollo completo de la capa negra fue significativo. La humedad del grano disminuyó significativamente durante el desarrollo de la capa negra. Los granos maduros de capa negra tenían niveles de humedad que diferían estadísticamente entre variedades y dentro de una variedad plantada en diferentes fechas.

Por otra parte, Trzeciak dos Santos *et al.* (2006) mencionan que la capa negra, aunque presente en casi todos los híbridos en el momento de madurez fisiológica, generalmente se forma en solo tres a cinco días, un período que es demasiado rápido para tener éxito al utilizarla como referencia para la identificación de los mejores tiempos de cosecha para semillas de maíz. La solidificación del endospermo es más lenta que la formación de la propia capa negra. Misma situación refiere Suraj (2014), al considerar la incapacidad de saber cuándo se forma, y también hay una variabilidad en la apariencia que consiste en una gran humedad del grano que varía del 15.4 al 75%. El mismo autor considera que la formación de la capa negra puede ser un indicador más confiable de MF debido a su consistencia, independientemente de la condición ambiental y el contenido de humedad del grano porque el grano no acumula materia seca después de la formación de la capa negra.

#### **2.12.4 Deterioro de semilla**

La semilla es un organismo vivo y como tal, está sujeto a procesos degenerativos graduales que culminan con su muerte (Alizaga *et al.* 1992).

Desde un punto de vista práctico, la pérdida de poder germinativo puede evidenciar un proceso de deterioro avanzado (Perry, 1981).

En general, se considera que la pérdida de vigor en la semilla se inicia antes de que se observen mermas en su porcentaje de germinación (Pollock & Roos, 1972; Copeland, 1976).

En el modelo hipotético de deterioro propuesto por Delouche & Baskin (1973), la reducción en la tasa de germinación se da después de que la semilla ha sufrido

alteraciones en el vigor, tales como la degradación de las membranas celulares y daños en los mecanismos de respiración y biosíntesis.

La madurez de las semillas plantadas afecta el tamaño del grano y, en consecuencia, el rendimiento de grano del cultivo resultante. Sin embargo, independientemente de la etapa de madurez, los rasgos que más se afectan por el envejecimiento de las semillas son los de crecimiento de las plántulas, el intervalo entre las etapas de floración, los rasgos morfológicos, el número de mazorcas cosechables y el rendimiento de grano (Ajayi *et al.*, 2001).

### **2.13 Época de cosecha**

Bhusal (2019) menciona que es de gran importancia cosechar las semillas en el momento que permita tanto el máximo rendimiento como la mejor calidad. Los siguientes puntos deben considerarse antes de la cosecha: a) Que la semilla esté completamente madura.; b) Que el daño climático no haya comenzado; c) Que la semilla se pueda cosechar y limpiar fácilmente; d) Asegurar pérdidas mínimas de cosecha.

En la producción de semillas es importante que la cosecha se lleve a cabo posterior a la madurez fisiológica, ya que, en este punto, es donde se alcanza la máxima calidad fisiológica. Al respecto, Copeland & McDonald (2001) mencionan que, a partir de la madurez fisiológica, la mejor época de cosecha depende de la disponibilidad de infraestructura para secado; entre más cercana esté la cosecha a esta fecha, combinado con un buen secado, se preserva la calidad.

Flores *et al.* (2017) mencionan que la cosecha del grano de maíz se realiza en madurez fisiológica, la cual se presenta cuando es visible la capa negra (punto negro) en la base del grano. Se debe considerar que la humedad del grano es cercana al 35% durante esta etapa fenológica y para fines comerciales se exige un máximo de 14%. Por ello, la planta de maíz debe permanecer más días en la parcela después de la madurez fisiológica. Lo anterior, facilita la trilla del grano con maquinaria especializada (cosechadora combinada). Por ello, es necesario evaluar la humedad del grano mediante observaciones continuas que involucran muestreos manuales.

Egli (2017) señala que la madurez de cosecha, cuando la semilla se ha secado a un nivel de humedad cosechable, ocurre después de la madurez fisiológica. Las concentraciones de humedad de la semilla son relativamente altas en esta etapa, por lo

que la semilla debe secarse antes de poder ser cosechada. Identificar la madurez de la cosecha es de poco valor en los estudios de fisiología del rendimiento, porque la producción de rendimiento termina en la madurez fisiológica. Los factores vegetales y ambientales que afectan el rendimiento solo pueden hacerlo antes de la madurez fisiológica.

Hernández & Soto (2012) demostraron que una mayor eficiencia en el uso de la radiación conlleva a valores máximos más elevados en la tasa de asimilación neta (TAN) y en los potenciales entre los órganos fuente y demanda y por tanto a una mayor acumulación de biomasa en momentos próximos a la madurez fisiológica alcanzándose mayores rendimientos, implicando que la cosecha debe de hacerse en esta etapa.

La madurez fisiológica está relacionada con la oportunidad de cosecha, la cual es importante en la preservación de la capacidad de germinación y el almacenamiento de las semillas. Conocer el momento en que se ha alcanzado la madurez fisiológica, proporciona una herramienta estratégica en la producción de semilla de la mejor calidad y se define cuando la semilla alcanza su máxima acumulación de peso seco (Mancera-R. & Ramírez-J., 2014).

La cosecha en la etapa inicial hace que el uso de maquinaria sea difícil y las pérdidas relativas debido a la trilla y la limpieza son mayores. La cosecha en una etapa tardía puede provocar un mayor daño climático a las semillas y pérdidas debido a la destrucción de las semillas y a la permanencia de las plantas en el campo. El contenido de humedad es una buena indicación del momento óptimo para la cosecha de la mayoría de los cultivos de semillas. La cosechadora no funciona muy por encima del 15% de humedad de la semilla. Para el trigo, el contenido óptimo de humedad es del 15-17% en el momento de la cosecha; mientras que, en maíz, las mazorcas se recogen incluso con un contenido de humedad tan alto como 30-35% (Bhusal, 2019).

Chazarreta (2018) menciona que la velocidad y duración del período de secado del grano resultan fundamentales para los plantíos productivos, ya que una mayor tasa de secado del grano y un período más breve para su ocurrencia reducirían los tiempos de cosecha y los costos económicos del secado adicional. Este aspecto es crítico en ambientes de alta latitud y/o en fechas de siembra tardías, ya que el secado de los granos explora condiciones menos favorables de temperatura (baja) y humedad (alta).

MacRobert *et al.* (2015) señalan que cuando el cultivo llega a la madurez fisiológica, el contenido de humedad de la semilla es de 30 a 35%, y todavía hay vestigios verdes en los tallos y hojas. A partir de la madurez fisiológica, la semilla se seca según lo permita el medio ambiente. Cuanto más seco y caliente el medio ambiente, más expuesta al aire está la semilla y más rápido disminuye su humedad. El secado en el campo también es más rápido si las mazorcas tienen pocas brácteas, o éstas están flojas y cubren muy mal las mazorcas, o el diámetro de las mazorcas es pequeño. La calidad de la semilla se mantendrá relativamente alta y solo disminuirá un poco, siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables y no haya plagas que se coman los granos.

## **2.14 Medición de Calidad Física y Fisiológica**

Es importante señalar que los factores que determinan la calidad son los genéticos, fisiológicos, sanitarios y físicos (Moreno *et al.*, 1998). El vigor, la germinación y la viabilidad son parámetros de calidad de la semilla, que le dan un valor comercial.

La máxima calidad fisiológica (germinación y vigor) de las semillas de maíz no siempre coincidió con la máxima acumulación de materia seca, pero se asoció mejor con la aparición de la capa negra (Molina *et al.*, 2003).

### **2.14.1 Viabilidad de semilla**

Desde el punto de vista fisiológico, considera los eventos que ocurren del momento de absorción del agua hasta la emisión de la radícula. Se define como la propiedad que permite a la semilla, habiendo eliminado la dormancia, de germinar en condiciones favorables y dar origen a una planta normal. Se expresa en porcentaje de germinación y porcentaje de plántulas normales y anormales (Mezzalama, 2014; ISTA, 2018).

Antuna *et al.* (2003) consideran que la asociación positiva y significativa entre los caracteres de viabilidad (germinación estándar y emergencia en invernadero) con los de vigor (primer conteo y velocidad de emergencia) permiten inferir un buen establecimiento del cultivo de maíz.

La longevidad de la semilla es la duración de la viabilidad de las semillas. El período de tiempo que los embriones conservan su viabilidad, a menudo denominado vida útil, varía enormemente. Se han reportado períodos que van desde unos pocos días hasta varios miles de años. En general, se puede decir que la viabilidad de la semilla se rige por factores ambientales externos a los que la semilla está expuesta después de la

maduración. Muchas semillas pueden almacenarse durante meses o incluso años bajo condiciones de baja humedad, bajo nivel de oxígeno y baja temperatura. Para otras semillas, el almacenamiento en seco a niveles normales de oxígeno y temperatura es necesario para mantener la viabilidad de las semillas (Bhusal 2019).

### 2.14.2 Prueba de Germinación

La prueba de germinación o porcentaje de plántulas normales, se emplea en los programas de certificación de semillas, como un indicador de la calidad fisiológica de los lotes, pues permite la máxima expresión del potencial de germinación (AOSA, 1983, ISTA, 2018) (Figura 36).

La germinación es el proceso fisiológico mediante el cual emergen y se desarrollan a partir del embrión aquellas estructuras esenciales, para la formación de una planta normal bajo condiciones favorables (Morales, 2012).



**Figura 36.** Prueba de germinación estándar, con el método ISTA 2018 modificado.

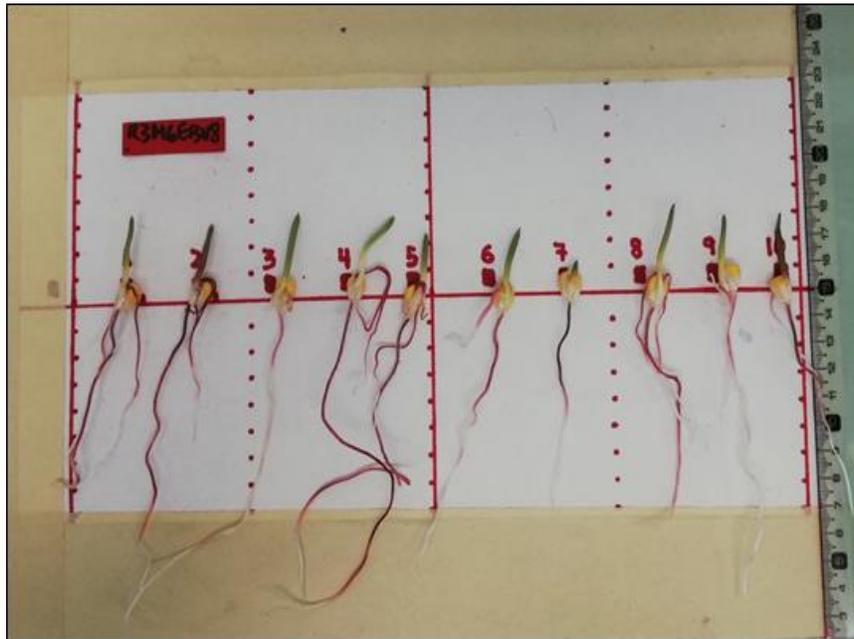
Barros (2003) comenta que habitualmente se ha considerado la germinación como uno de los aspectos más importantes que deben ser evaluados a la hora de determinar la calidad de un lote de semillas. Sin embargo, con los años se ha visto que esto es insuficiente para clasificarlos. Es por esto que ha sido necesario complementar los resultados de la prueba de germinación con otras evaluaciones, como las que se

obtienen a partir de las pruebas de vigor.

Mendoza *et al.* (2004) mencionan que el máximo en germinación y vigor no se alcanza con la madurez fisiológica de la semilla, sino que esto se atribuye a la máxima acumulación de materia seca.

### 2.14.3 Prueba de Vigor de la semilla

El vigor, es un índice del nivel de deterioro fisiológico de las semillas. Se define como la propiedad que determina el potencial de la semilla para obtener una rápida y uniforme germinación, buena emergencia en campo, capacidad de dar un buen establecimiento del cultivo en condiciones de campo diferentes y a veces no óptimas y que tenga buena capacidad de conservación en almacenamiento (Mezzalama,2014; ISTA, 2018) (Figura 37).



**Figura 37.** Prueba de Vigor de la semilla.

El vigor de semilla es un elemento que representa una mayor seguridad para el productor, además el vigor es heredable y puede manejarse genéticamente. Existen varios conceptos para explicar el origen del vigor de la semilla dentro de los que destacan: 1) constitución genética, 2) desarrollo y nutrición de la planta madre, 3) etapa de madurez en la cosecha, 4) tamaño de semilla, 5) integridad mecánica, 6) envejecimiento, y 7) patógenos (ISTA, 2018).

Una alta viabilidad no necesariamente significa buen vigor, pero éste tiene consecuencias prácticas en el establecimiento del cultivo y un bajo vigor reduce la longevidad del germoplasma para su conservación (Copeland & Mc Donald, 2002).

El concepto de "vigor" está referido a una respuesta en condiciones desfavorables. El vigor por sí mismo puede representarse en términos de rapidez de crecimiento y tamaño alcanzado (Perry 1981; Perry, 1983; Moreno *et al.*, 1998; Copeland & McDonald, 2002; Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007). También se puede relacionar con la capacidad para desarrollar una planta vigorosa bajo condiciones desfavorables (Perry, 1983; Moreno *et al.*, 1998; Copeland & McDonald, 2002; Mendoza *et al.*, 2004; Tadeo *et al.*, 2004).

De acuerdo a Espinosa-Calderón *et al.* (2009), el mayor vigor ocurre cuando la semilla se ubica en la madurez fisiológica, después de este punto, la expresión del vigor puede mantenerse en ese nivel alto, si existen las condiciones favorables para ello.

La diferencia en semillas con alto y bajo vigor se detectan sólo en fases iniciales de crecimiento y bajo condiciones adversas, pero no hay suficientes evidencias de que el efecto se conserve para su expresión en rendimiento (Cervantes-Ortiz *et al.*, 2007). El vigor de semillas, permite predecir el comportamiento de un lote de semillas cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para germinación y emergencia. El vigor en plántulas es una característica deseable en todo tipo de semillas, sobre todo cuando las condiciones de siembra y preparación del terreno no son homogéneas o se presentan factores externos, como la compactación del terreno, falta de humedad, topografía accidentada, que afectan el crecimiento de la plántula (Sánchez, 2004).

El Índice de Velocidad de Emergencia (IVE), es la capacidad de la semilla que tiene en emerger en un cierto periodo de tiempo en condiciones buenas y adversas. Indica el vigor que tiene la semilla para lograr un buen establecimiento en campo (Morales, 2012).

Al considerar que las pruebas de vigor deben estimar la calidad de las semillas con mayor confiabilidad que la prueba de germinación, la evaluación de cualquiera de estos factores relacionados estrechamente con el deterioro y que anteceden a la pérdida de viabilidad pueden, teóricamente, servir como pruebas para evaluar el vigor (AOSA, 1983, Alizaga *et al.* 1992).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Ubicación

En la estación experimental “El Batán” del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (19° 31’ 54” N y 98°50’39” O; altitud de 2,276 m) (Figura 38), se sembró en el ciclo primavera-verano 2019 un lote para producir semilla de dos híbridos trilineales de maíz [CHLHY12004 (MAZ-2012-260319) y CHLHY12006 (MAZ-2014-260319)] (SNICS, 2020). Los progenitores femeninos respectivos son las cruzas simples V7/V9 y V8/V9 y V13 fue el progenitor masculino común.



**Figura 38.** Localización geográfica de la parcela de investigación, dentro de las instalaciones del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) Fuente: Google Earth

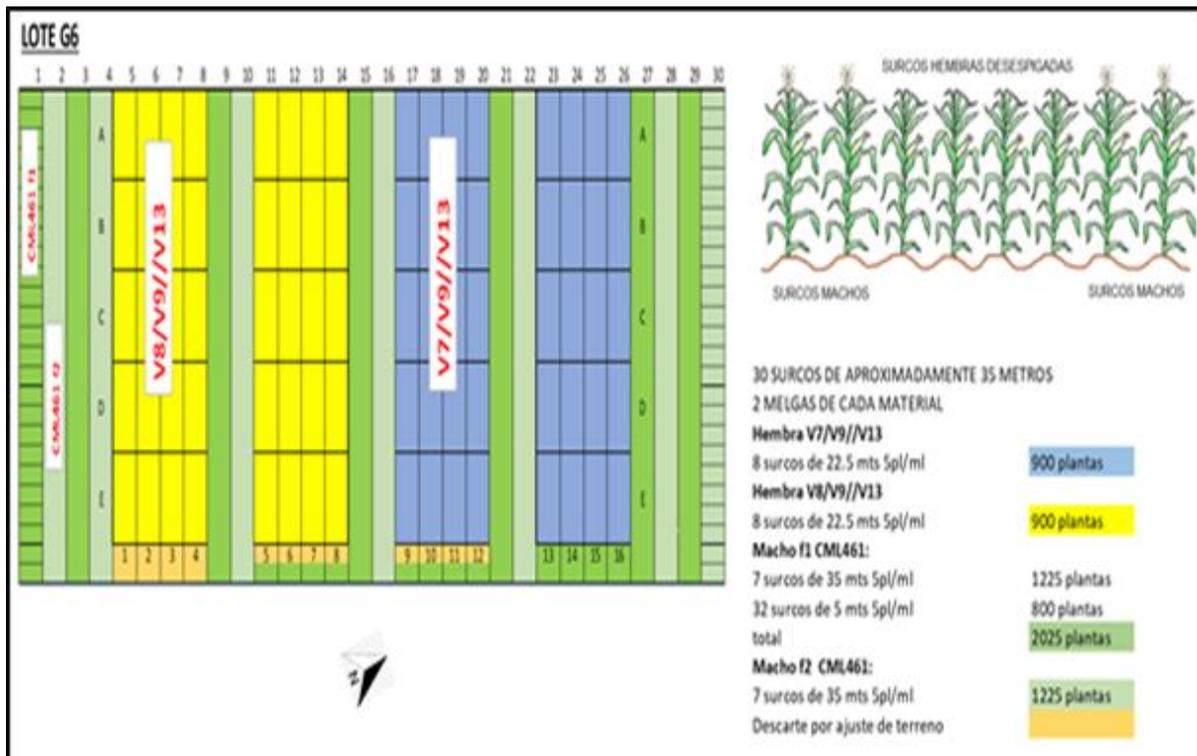
#### 3.2 Material Genético

El consumo de maíz amarillo, durante los últimos años ha experimentado un importante incremento, sobre todo a nivel industrial. La zona de producción de los Valles Altos de México es un nicho importante para este tipo de materiales.

En el Anexo C se enumeran las características de los híbridos trilineales [CHLHY12004 (MAZ-2012-260319) y CHLHY12006 (MAZ-2014-260319)] (SNICS, 2020) objeto de este trabajo, con las consideraciones contempladas por el propio SNICS para la descripción de material vegetativo.

### 3.3 Preparación del lote

Cada progenitor femenino, se sembró en dos parcelas contiguas de 4 surcos de 22.5 m de largo, separadas cada una con dos surcos del progenitor masculino, el cual también se sembró alrededor de las parcelas; además, el lote se aisló en tiempo y distancia a más de 200 m de las parcelas circunvecinas sembradas con menos de 25 días de diferencia. La densidad de población en ambos casos, fue de 62,500 plantas/ha, con una población total de 900 plantas para cada progenitor hembra y 3,250 individuos del progenitor masculino (Figura 43).



**Figura 39.** Distribución de la parcela de investigación

Las labores culturales, fertilización y riegos que se aplicaron, fueron de acuerdo con recomendaciones que usa el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo en las siembras de lotes de investigación, mismas que ya han sido descritas a detalle en el apartado “2.4 Procedimiento estandarizado de producción de semilla del CIMMYT”, y se detallan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Manejo agronómico de lotes experimentales en CIMMYT.

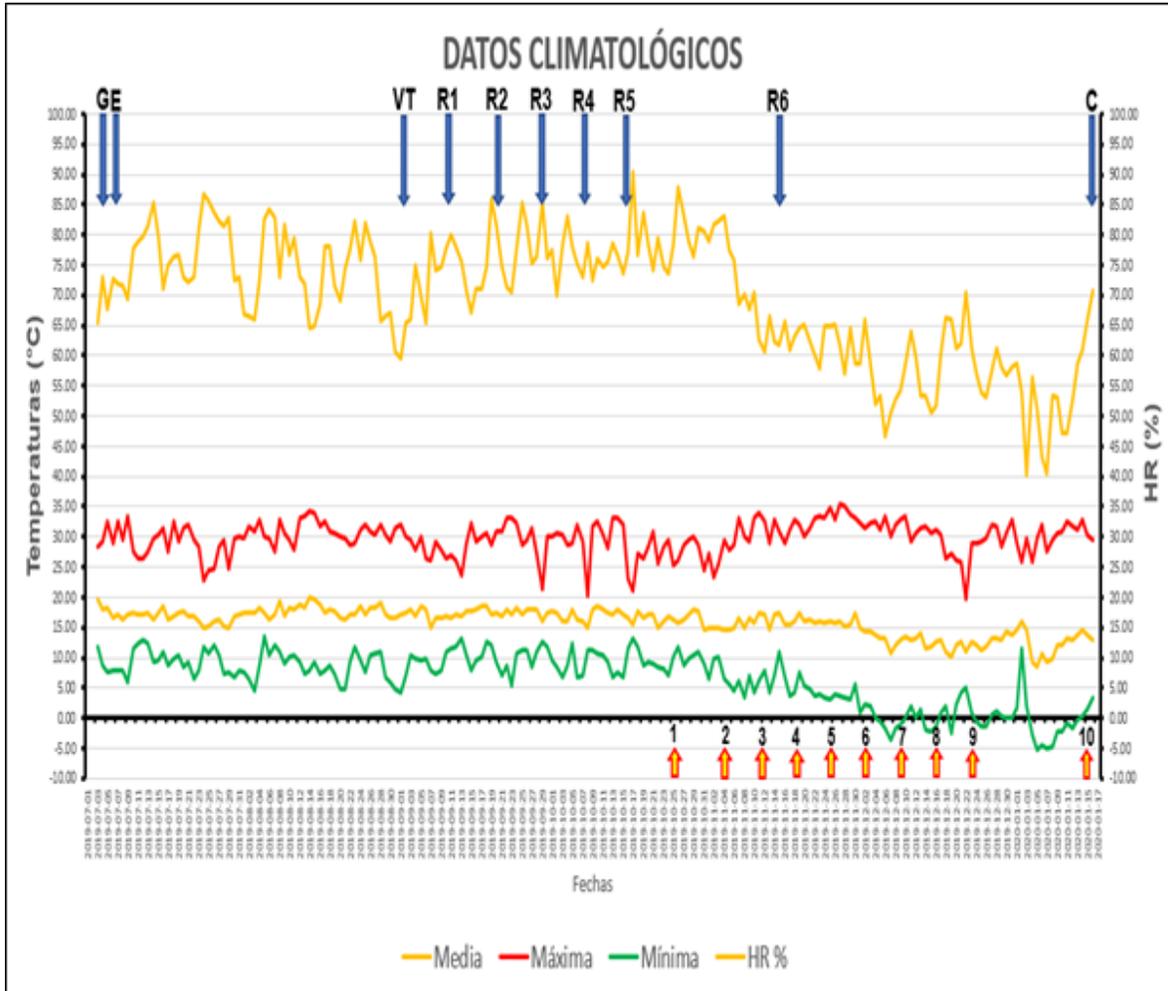
ACTIVIDAD	NOMBRE COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS	OBSERVACIONES
<b>Fertilizaciones</b>				
1 <sup>a</sup>	Urea Superfosfato Triple	N P	20-75-30	De N sólo se aplican 20 U y el P y K se aplica todo en siembra
2 <sup>a</sup>	Cloruro de K Urea	K N	40-00-00	A los 30-35 días después de siembra
3 <sup>a</sup>	Urea	N	40-00-00	Aplicación al inicio de brotes de órganos reproductivos
Foliar	Impulsor	N + micronutrientes + hormonas	1 l/ha	
	Verdeabon	NPK + micronutrientes	2 kg/ha	
<b>Insecticidas</b>				
Al suelo	Lorsbam Palgus Karate	Clorpirifos etil Spinetoram Lambdacialotrina	25 kg/ha. 150 mL/ha 500 mL/ha	Aplicación al momento de siembra 2 aplicaciones después de siembra 2 aplicaciones después de siembra
Foliares	Denim Thiaba	Emamectina Abamectina Tiametoxam	200 mL/ha 300 mL/ha	1 aplicación después del Palgus+Karate Aplicación para insectos chupadores al momento de floración
<b>Herbicidas</b>				
Al suelo	Primagram Gold Doblete Super	Atrazina Paraquat+Diquat	5 l/ha 2 l/ha	Herbicida sellador al momento de siembra Herbicida desecante 2 aplicaciones
Otros	Calixto Extra Sempra 75 GD	Mesotrioni Halosulfuron Metil 75%	1.5 l/ha	Herbicidas para Coquillo
<b>Fungicidas</b>				
Sistémico	Priori-Xtra Tilt	Azoxystrobim+Cypr oconazole Propiconazol	260 cc/ha 300 cc/ha	Sistémico tratamiento preventivo Sistémico tratamiento preventivo
<b>Riegos</b>				
Por Goteo			17 riegos	

### 3.4 Datos climatológicos

Se registró la temperatura y humedad relativa, mediante dos termohigrómetros HOBO MX2301A, cada media hora desde el día de la siembra hasta el de la última

cosecha; cada uno se ubicó en medio de la parcela respectiva de cada progenitor femenino.

Los datos fueron registrados en hoja de cálculo Excel y se realizaron cálculos de temperaturas y humedad relativa diarias, graficándose a continuación en la Figura 40.



**Figura 40.** Datos climatológicos (temperatura en °C y humedad relativa en %) registrados en la parcela de investigación.

Con estos datos, se estimaron los GDD para cada etapa fenológica, mediante el método de temperatura media (Snyder, 1985), usando la ecuación:  $GDD = [(T_{min} + T_{max})/2] - T_b$ , en donde  $T_{min}$  y  $T_{max}$  son las temperaturas mínima y máxima diarias del aire, respectivamente y  $T_b$  es la temperatura base o umbral inferior en donde se puede desarrollar el cultivo ( $T_b = 7\text{ °C}$  para Valles Altos en México) (Hernández y Carballo, 1984) (Figura 41).

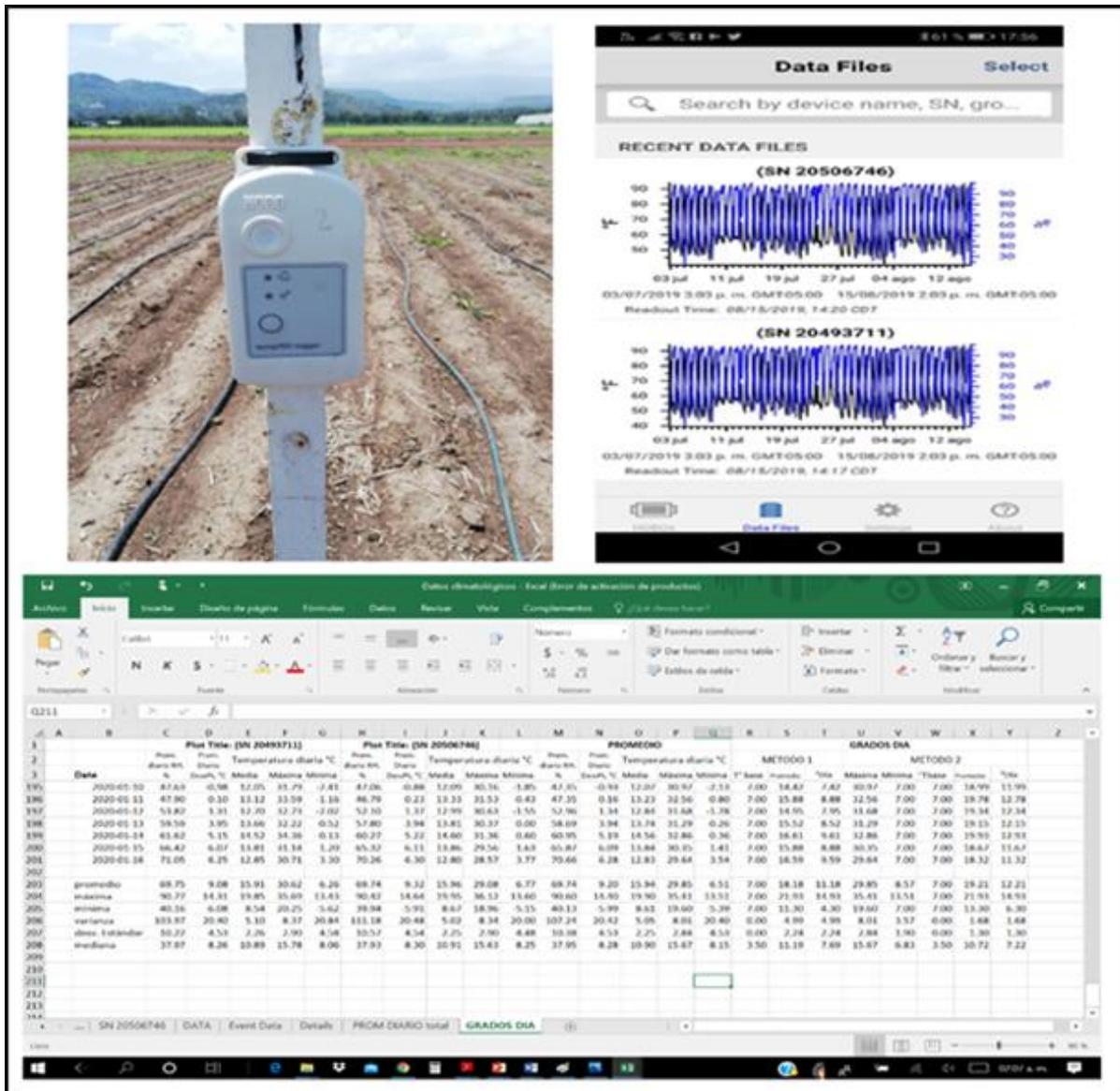


Figura 41. Registro de datos climatológicos y cálculo de Grados Día de Desarrollo.

### 3.5 Establecimiento y polinización

La siembra se realizó a mano, considerando una separación entre plantas de 20 cm. La línea macho V13 se sembró en dos fechas: el 18 y 25 de junio de 2019; mientras que los progenitores femeninos V7/V9 y V8/V9 se sembraron simultáneamente el 28 de junio del mismo año (Figura 42).



**Figura 42.** Establecimiento de la parcela de investigación. a) Semilla tratada; b) Preparación del terreno; c) siembra a cada 20 cm; d) Tapado de la semilla.

El seguimiento fenológico de ambos progenitores, se llevó a cabo semanalmente, de acuerdo con la clasificación de Ritchie & Hanway (1984) (Figura 43).



**Figura 43.** Seguimiento fenológico de los progenitores. a) Germinación; b) Emergencia y primeras etapas vegetativas; c) Etapas vegetativas antes de floración; d) Floración masculina y femenina.

El desespigue de las cruza simples hembra fue manual. La floración masculina se registró cuando el 50% de las plantas presentaban la antesis. Pese a que la caracterización oficial de las cruza simples hembra y del progenitor masculino fue en el ciclo P-V y que la siembra en el presente estudio se realizó en las fechas recomendadas, hubo cierto grado de desincronización en las floraciones, por lo que fue necesario asegurar la mayor polinización posible, mediante el uso de un ventilador mecánico y polinizaciones manuales (Figura 44).



**Figura 44.** Desespigamiento y Polinización. a) Desespigue de progenitores femeninos; b) Uso de sopladora mecánica; c) Recolección de polen; d) Polinización manual.

Las espigas de las plantas masculinas se cubrieron a primera hora de la mañana con bolsas de papel, el polen liberado se recolectó a medio día, y se esparció en las plantas femeninas. Así, se logró obtener un alto grado de mazorcas con llenado de semillas superior al 80% aproximadamente (Figura 44).

### **3.6 Muestreos**

Luego de la fecundación, se cosecharon mazorcas de las cruza simples durante la etapa de llenado de grano, cada semana desde la etapa R4 a la R6 (Ritchie & Hanway, 1984) hasta que la semilla presentó 13% de humedad en campo. Para llevar un control

más estricto del muestreo y asegurar una mejor representatividad, cada parcela se dividió en 20 rectángulos homogéneos. El tamaño de muestra para cada material en cada muestreo fue de 20 mazorcas seleccionadas al azar (Figura 45).



**Figura 45.** Muestreos. a) División de la parcela; b) Inicio de muestreos en etapa R4; c) Primer muestreo 25 Octubre 2019; d) Último muestreo 15 Enero 2020.

Cada mazorca se dividió visualmente en tres estratos: basal, medio y apical, y de cada estrato se extrajo de 1 a 2 hileras de semilla. En total se realizaron 10 muestreos; el primero el 25 de octubre de 2019 y el último el 15 de enero de 2020. Luego, las mazorcas se envasaron en arpillas de polipropileno, y se almacenaron en un cuarto oscuro, seco y fresco, con una temperatura promedio de 16 °C, aireándola con un ventilador convencional (Figura 46).



**Figura 46.** Extracción de semilla y Almacenamiento. a) Preparación de mazorcas; b) División de la mazorca en estratos; c) Obtención de granos por estrato; d) Almacenamiento de mazorcas

### 3.7 Avance porcentual de LL, presencia de CN y humedad de semilla

En el mismo día de cada muestreo, de cada estrato, se hicieron cortes longitudinales de 100 semillas, en una mesa de luz, para registrar el avance porcentual de la LL y de la presencia de la CN. Además, se separaron entre 10 y 13 semillas al azar por estrato y por material, en cuatro repeticiones, a las que se midió el contenido de humedad (ISTA, 2018) (Figura 47).



**Figura 47.** Línea de leche y Capa Negra. a) Parámetros para determinar presencia de Línea de leche y la Capa negra; b) Observación en campo; c) Avance de Línea de leche; d) Presencia de Capa negra.

A cada muestra se le determinó el peso húmedo de la semilla, en una balanza analítica Mettler Toledo mod. NewClassic MS. Posteriormente, las muestras se sometieron al proceso de secado en una estufa de convección Barnstead Thermolyne, a una temperatura constante de 130 °C durante 4 horas. Al término de este periodo, las muestras se pesaron nuevamente, registrándose los datos en el software LabXdirect balance V2.4. Con los datos obtenidos, se determinó el contenido de humedad en cada repetición de cada material (Figura 48).



**Figura 48.** Determinación de Humedad de Semilla. a) Peso húmedo de la semilla; b) Semillas separadas por estrato; c) Secado de semillas en estufa de convección; d) Peso seco de la semilla.

### 3.8 Prueba de germinación y vigor

Posteriormente, la semilla de cada estrato de cada una de las 20 mazorcas, se mezcló para homogenizar la muestra y se separaron 100 semillas por estrato (2 repeticiones de 50 semillas), para realizar la prueba de germinación correspondiente; cabe señalar que la prueba de germinación y sus lecturas finales, se modificó el método sobre el particular de la International Seed Testing Association (ISTA, 2018); se usó el método “Sobre Papel” con papel especial para germinación de semillas humedecido con agua destilada, colocándolas en marco real, en 10 hileras de 5 semillas cada una (Figura 49).



**Figura 49.** Pruebas de Germinación, preparación. a) Separación de la muestra por estratos; b) Siembra en marco real; c) Elaboración de los rollos; d) Rollos por material vegetativo.

Los rollos se colocaron en una cámara de germinación Seedburo Equipment Company Germinator A3920/B, con una temperatura constante de 25 °C y 100% de humedad relativa, con luz artificial todo el tiempo. Las lecturas de germinación fueron a los 4 días de la siembra (como un indicador del vigor de los materiales) y una lectura final a los 7 días de la misma (para obtener el porcentaje de germinación). Los parámetros que se consideraron fueron: porcentajes de semillas germinadas, no germinadas, anormales y muertas (Figura 50).



**Figura 50.** Pruebas de Germinación, lecturas. a) Colocación en cámara de germinación; b) Parámetros de la germinadora; c) Lectura a los 4 días de siembra; d) Lectura a los 7 días de la siembra

### 3.9 Almacenamiento de muestras

Las mazorcas que se obtuvieron en los muestreos, se envasaron en arpillas de polipropileno, y se sometieron a un proceso de secado artificial, llevándose a cabo en un cuarto oscuro, seco y fresco, con una temperatura promedio de 16 °C, aireándola con un ventilador convencional (Figura 51).

### 3.10 Pruebas finales de humedad y vigor de la semilla

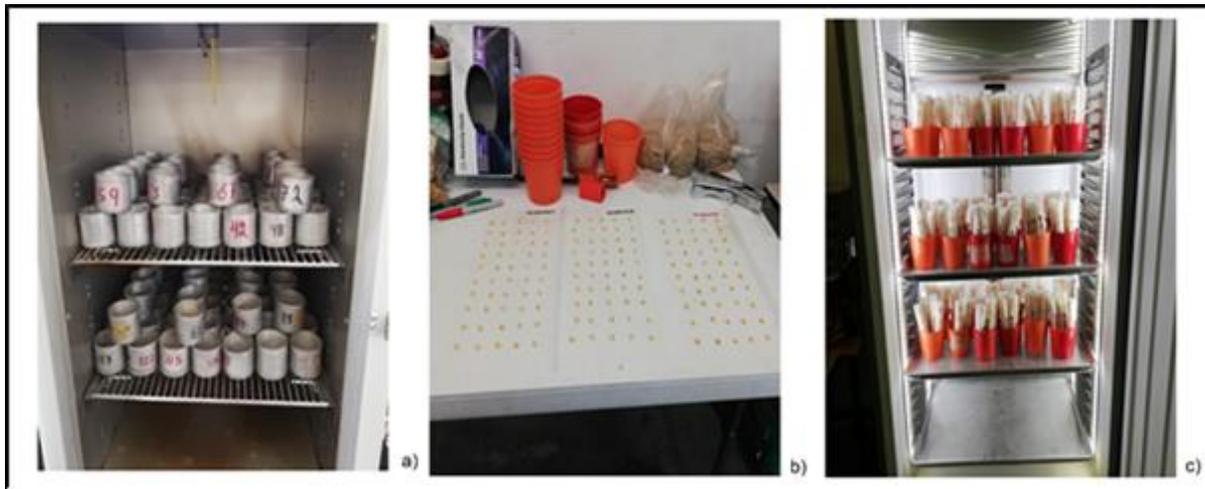
Los muestreos finalizaron una vez que en promedio la semilla alcanzó en campo 13% de humedad; el 25 de enero de 2020 se realizó la prueba para cada muestra por

estrato, y se usó un determinador de humedad portátil marca Mini GAC plus (Figura 51).



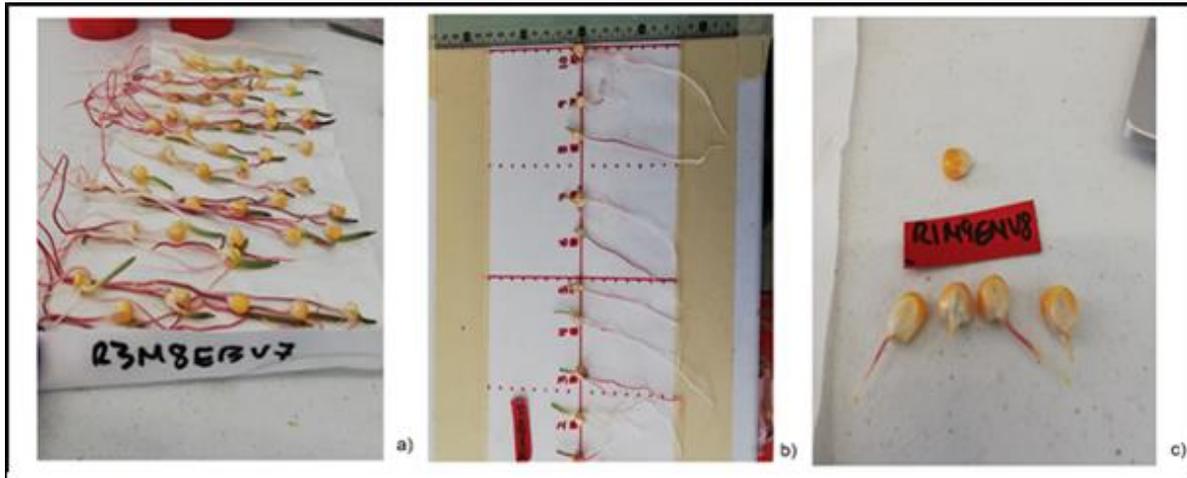
**Figura 51.** Almacenamiento y Pruebas finales de humedad y vigor. a) Almacenamiento de muestras; b) Determinación de humedad de semilla con equipo portátil; c) Preparación de muestras para el proceso de secado.

Diez días después del último muestreo, se sacaron las muestras del cuarto oscuro y se midió nuevamente el contenido de humedad (entre 10 y 11% para ambos progenitores) y el vigor de cada muestra por estrato, por lo que se usó nuevamente el método “Sobre Papel”, sembradas a marco real, para ser colocadas en la cámara de germinación en tres charolas situadas a diferente altura, en tres repeticiones de 50 semillas cada una (Figura 52).



**Figura 52.** Pruebas Finales de Humedad y Vigor. a) Determinación de humedad de semilla; b) Preparación de pruebas de germinación; c) Germinación de muestras.

La lectura de datos de germinación se realizó al cuarto día después de la siembra, cuyos resultados infieren el vigor de los materiales. Adicionalmente, se midió la longitud tanto de la radícula como de la plúmula, en una muestra de 10 semillas germinadas de cada repetición, y cuyos resultados complementan la determinación del vigor de las muestras (Figura 53).



**Figura 53.** Lectura datos de Vigor. a) Lectura de germinación a los 4 días de siembra; b) Medición de Plúmula y Radícula; c) Registro de semillas No germinadas y Anormales.

### 3.11 Análisis estadístico

El experimento se analizó con base en un diseño completamente al azar, se realizó el análisis de varianza para las variantes contenido de humedad, porcentaje de germinación y vigor de la semilla, considerándose las siguientes fuentes de variación: genotipo, fecha de muestreo y estrato de la mazorca, y sus correspondientes interacciones. Se obtuvieron correlaciones entre: contenido de humedad de la semilla, porcentaje de germinación, presencia de LL, presencia de CN, contenido de humedad final de la semilla y porcentaje de germinación a 4 días (vigor).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis estadístico

La varianza y desviación estándar de los datos obtenidos para la LL, la CN y el contenido de humedad de la semilla (Cuadros 2, 3 y 4), indican consistencia en la estimación de esta característica en todos los muestreos.

**Cuadro 2.** Avance porcentual de la “línea de leche” de las dos cruzas simples hembra

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	V7/V9									
Apical	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Medio	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Basal	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Promedio	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V8/V9									
Apical	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Medio	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Basal	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Promedio	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Cuadro 3.** Avance porcentual de la “capa negra” de las dos cruzas simples hembra

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	V7/V9									
Apical	0	0	14	98	99	100	100	100	100	100
Medio	0	0	19	99	100	100	100	100	100	100
Basal	0	0	19	98	99	100	100	100	100	100
Promedio	0	0	17	99	99	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	4.46	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	2.44	0.31	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	V8/V9									
Apical	0	0	16	98	99	100	100	100	100	100
Medio	0	0	21	99	100	100	100	100	100	100
Basal	0	0	18	99	100	100	100	100	100	100
Promedio	0	0	18	99	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	4.13	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	2.35	0.27	0.16	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00

Fechas de los muestreos: 1: 25/oct/19; 2: 04/nov/19; 3: 11/nov/19; 4: 18/nov/19; 5: 25/nov/19; 6: 02/dic/19; 7: 09/dic/19; 8: 16/dic/19; 9: 23/dic/19; 10: 15/ene/20

**Cuadro 4.** Contenido de humedad (%) por muestreo de las dos cruces simples hembra

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	V7/V9									
Apical	52	45	40	36	30	25	21	18	15	14
Medio	52	45	40	37	32	27	23	21	16	13
Basal	53	47	41	37	32	28	25	21	16	14
Promedio	52	46	41	37	31	27	23	20	16	14
Varianza	0.14	1.27	0.38	0.03	0.93	2.08	2.38	2.60	0.24	0.06
Desviación estándar	0.46	1.38	0.75	0.22	1.18	1.76	1.89	1.98	0.60	0.29
	V8/V9									
Apical	54	44	40	34	29	22	16	14	14	13
Medio	54	44	39	34	30	23	17	16	15	13
Basal	56	45	41	34	30	24	18	15	14	13
Promedio	54	44	40	34	30	23	17	15	14	13
Varianza	0.76	0.11	0.82	0.01	0.24	0.88	0.59	0.72	0.28	0.02
Desviación estándar	1.07	0.41	1.11	0.10	0.60	1.15	0.94	1.04	0.65	0.18

Fechas de los muestreos: 1: 25/oct/19; 2: 04/nov/19; 3: 11/nov/19; 4: 18/nov/19; 5: 25/nov/19; 6: 02/dic/19; 7: 09/dic/19; 8: 16/dic/19; 9: 23/dic/19; 10: 15/ene/20

En cuanto a los ANOVA's, se aprecia que, para la variable humedad de semilla a cosecha, hay diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) para los dos factores y para la interacción. Para la variable % de germinación, se aprecian diferencias significativas para el factor muestreo y para la interacción. Por último, en la variable vigor de semilla, solo hay diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 5).

Al analizar la matriz de correlación de las variables en estudio (Cuadro 6), las relaciones humedad al momento de cosecha-porcentaje de germinación y LL-CN son altamente significativas, con un porcentaje mayor al 92%. Las relaciones entre humedad y LL, CN y materia seca, son superiores al 80%; misma situación entre LL-materia seca. Aun con una correlación superior al 76%, se presentan las relaciones germinación con LL, CN y materia seca; en el mismo tenor la relación CN-germinación. Las restantes relaciones no son significativas.

**Cuadro 5.** ANOVA de contenido de humedad, porcentaje de germinación y vigor de la semilla, por genotipo y muestreo de las dos cruzas simples hembras V7/V9 y V8/V9 ( $P \leq 0.01$ )

Concepto	Factor de variación	SC	gl	F	p-valor
Humedad	Genotipo (G)	60.00	1	60.00	<0.0001
	Muestreo (M)	10165.67	9	1129.52	<0.0001
	(G) x (M)	77.33	9	8.59	<0.0001
	Error	40.00	40		
Porcentaje de germinación	Genotipo (G)	9.60	1	0.93	0.3417
	Muestreo (M)	74800.60	9	801.72	<0.0001
	(G) x (M)	848.07	9	9.09	<0.0001
	Error	414.67	40		
Vigor de semilla	Genotipo (G)	380.02	1	10.00	0.0030
	Muestreo (M)	408.02	9	1.19	0.3257
	(G) x (M)	76.82	9	0.22	0.9890
	Error	1519.33	40		

La humedad final de la semilla presenta niveles de correlación superiores al 32% con la presencia de LL; superiores a 20% con la humedad inicial y superiores al 11% con el porcentaje de germinación, CN y materia seca. La prueba de vigor está relacionada en más del 30% con todas las variables consideradas, a excepción de la germinación al momento de cosecha, con un 27%.

**Cuadro 6.** Matriz de correlación de indicadores de madurez fisiológica

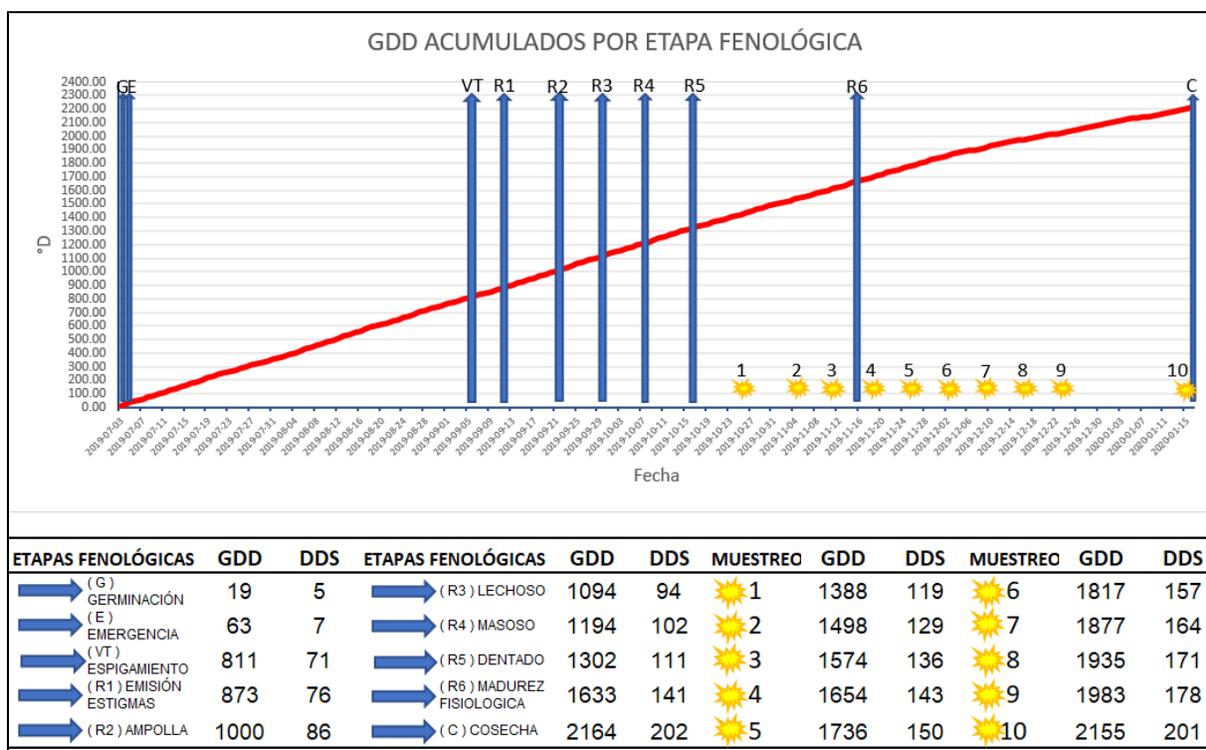
	Humeda d	Germinació n	LL	CN	Materia Seca	Humeda d final	Germinació n 4 días
Humedad	1.00	-0.95**	-0.87**	-0.85**	0.82**	-0.20	-0.32
Germinación		1.00	0.77*	0.80**	-0.79*	0.11	0.28
LL			1.00	0.92**	-0.80**	0.32	0.31
CN				1.00	-0.76*	0.19	0.34
Materia Seca					1.00	-0.15	-0.34
Humedad final						1.00	-0.37
Germinación 4 días							1.00

\*Significativo; \*\*Altamente Significativo

## 4.2 Etapas fenológicas, GDD y DDS

Los cambios en los patrones climáticos demandan conocer con mayor certidumbre la respuesta de los cultivos a condiciones climáticas contrastantes (Flores *et al.*, 2016). La fenología y el desarrollo de la mayoría de los cultivos están relacionados con el tiempo transcurrido desde la fecha de siembra, y cada especie tiene un número definido de GDD requeridos para alcanzar su MF (Ojeda & Sifuentes, 2015). Arazi *et al.* (1993) señalan que las unidades calor son la base para predecir las fases fenológicas de la planta. En consecuencia, se ha aplicado el concepto de GDD para seleccionar variedades de cultivos adaptadas a las diversas zonas agrícolas, definir estrategias en el control de plagas y enfermedades, calendarizar prácticas de manejo agronómico, pronosticar el desarrollo fenológico y para calendarizar el riego (Shayya *et al.*, 1991).

El ciclo fenológico de los progenitores hembra V7/V9 y V8/V9 abarcó un total de 202 días desde siembra hasta la última cosecha. En cuanto a los GDD registrados, fueron un total de 2,164°C. En la Figura 54, se detallan los GDD y DDS para cada etapa fenológica de los progenitores hembra.



**Figura 54.** Grados Día de Desarrollo (GDD) y Días Después de Siembra (DDS) por etapa fenológica.

La fase vegetativa de los materiales abarcó del 18 de junio al 1 de septiembre para el caso del progenitor macho y del 28 de junio al 4 de septiembre para los progenitores femeninos. La emergencia de las plántulas (VE) de la línea macho V13, se presentó entre el 21 y 28 de junio. El comportamiento de los progenitores femeninos V7/V9 y V8/V9, indica que la germinación se registró con 25 y 13 GDD, a los 6 y 5 DDS; la emergencia se presentó; respectivamente, a los 7 y 6 días, con 38 y 25 GDD. El estado vegetativo (de la etapa VE a la VT) abarcó del 4 de julio al 22 de septiembre (de 6 a 86 DDS) (Figura 55 y Cuadro 7).



**Figura 55.** Fases vegetativas de progenitores femeninos. a) V7: Etapas V2-V3; b) V7: Etapas V6-V8; c) V7: Etapas V9-V10; d) V8: Etapas V2-V3; e) V8: Etapas V6-V8; f) V8: Etapas V9-V10.

La fase reproductiva (etapas de la R1 a la R6) inició el 11 de septiembre y terminó el 28 de noviembre (de 75 a 153 DDS y 1773 GDD). La floración masculina (Etapa VT) se llevó a cabo entre el 2 y 22 de septiembre (de 76 a 96 DDS y alcanzó 1001 GDD) y la femenina (Etapa R1) a partir del 11 al 27 del mismo mes (de 75 a 91 DDS, con 1065 GDD). El desespigue de las hembras se realizó el 9, 10 y 11 de dicho mes (73 a 75 DDS) (Figura 56 y Cuadro 7).



**Figura 56.** Fases Reproductivas. a) Floración masculina; b) Floración femenina V7; c) Floración femenina V8; d) Desespigue.

La etapa de MF comprendió del 15 al 28 de noviembre (de 140 a 153 DDS y de 1622 a 1773 GDD). El final del ciclo de cultivo fue el 16 de enero de 2020, un día después del último muestreo (202 DDS, con un total de 2164 GDD) (Figura 57 y Cuadro 7).



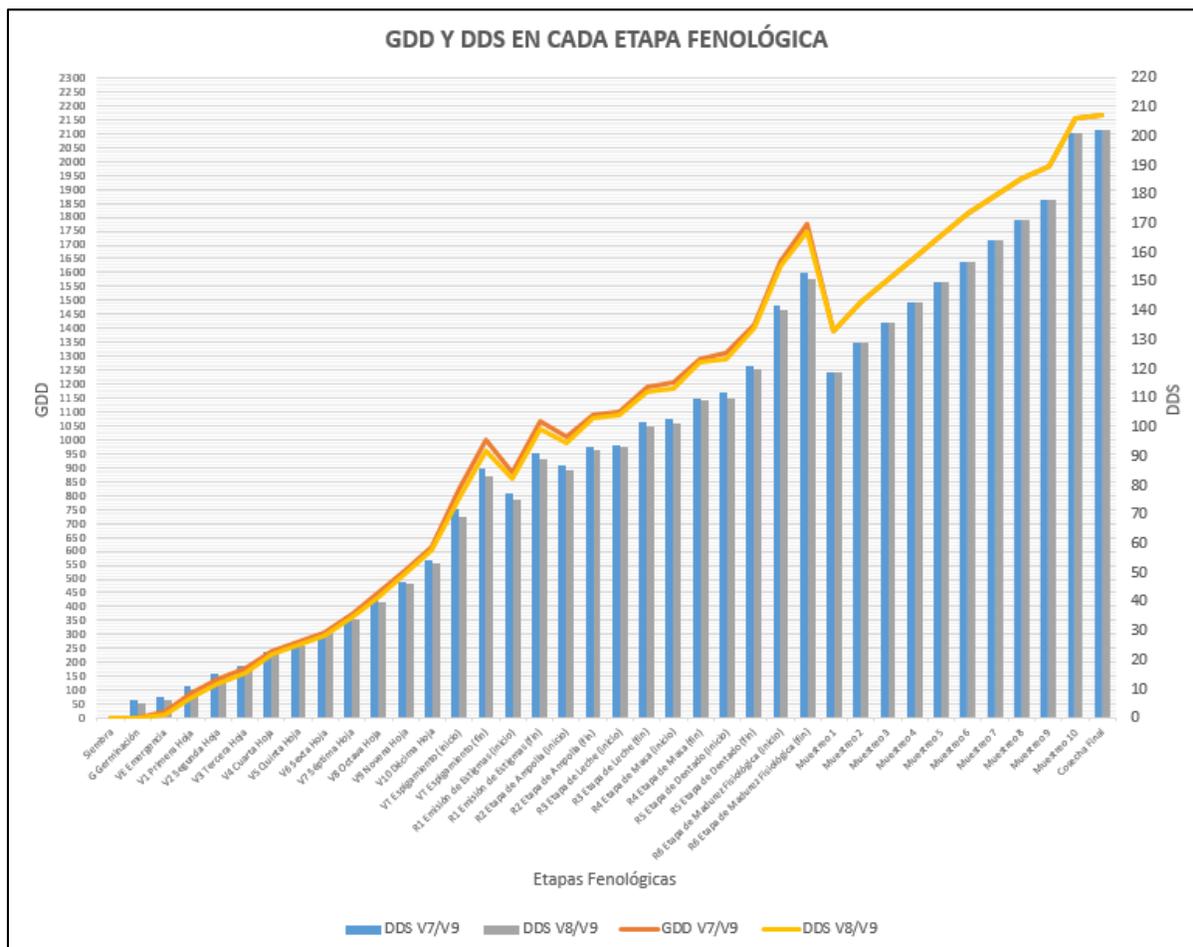
**Figura 57.** Fases reproductivas y Madurez Fisiológica. a) Etapa R2 Ampolla; b) Etapa R4 Masoso; c) Etapa R5 Dentado; d) Muestreo 3; e) Muestreo 9; f) Última cosecha.

**Cuadro 7.** Etapas fenológicas de los progenitores, fechas de muestreo, DDS y GDD.

ETAPA FENOLOGICA	V7/V9			V8/V9			V13 <sup>1/</sup>		
	Fecha	DDS	GDD	Fecha	DDS	GDD	Fecha	DDS	GDD
Siembra	28-06-19	0		28-06-19	0		18/25 06	0	
Germinación	04-07-19	6	25	03-07-19	5	13	21/28 06		
VE Emergencia	05-07-19	7	38	04-07-19	6	25	23/30 06	5	
V1 Primera hoja	09-07-19	11	87	08-07-19	10	75	28-06-19	10	
V2 Segunda hoja	13-07-19	15	138	12-07-19	14	125	02-07-19	14	
V3 Tercera hoja	16-07-19	18	177	15-07-19	17	163	06-07-19	18	50
V4 Cuarta hoja	21-07-19	23	241	20-07-19	22	228	09-07-19	21	87
V5 Quinta hoja	24-07-19	26	273	23-07-19	25	263	18-07-19	30	202
V6 Sexta hoja	27-07-19	28	307	26-07-19	29	295	27-07-19	39	307
V7 Séptima hoja	02-08-19	35	374	01-08-19	34	362	31-07-19	43	350
V8 Octava hoja	08-08-19	41	452	07-08-19	40	438	08-08-19	51	452
V9 Novena hoja	14-08-19	47	531	13-08-19	46	517	13-08-19	56	517
V10 Décima hoja	21-08-19	54	615	20-08-19	53	605	19-08-19	62	595
VT Espigamiento(i)	08-09-19	72	827	05-09-19	69	795	02-09-19	76	758
VT Espigamiento (f)	22-09-19	86	1001	19-09-19	83	962	22-09-19	96	1001
R1 Emisión estigmas(i)	13-09-19	77	884	11-09-19	75	861			
R1 Emisión estigmas(f)	27-09-19	91	1065	25-09-19	89	1039			
R2 Etapa de ampolla (i)	23-09-19	87	1013	21-09-19	85	987			
R2 Etapa de ampolla (f)	29-09-19	93	1087	28-09-19	92	1077			
R3 Etapa de leche (i)	30-09-19	94	1101	29-09-19	93	1087			
R3 Etapa de leche (f)	08-10-19	102	1191	06-10-10	100	1173			
R4 Etapa de masa (i)	09-10-19	103	1205	07-10-19	101	1183			
R4 Etapa de masa (f)	16-10-19	110	1291	15-10-19	109	1281			
R5 Etapa de dentado (i)	18-10-19	112	1313	16-10-19	110	1291			
R5 Etapa de dentado (f)	27-oct-19	121	1411	26-10-19	120	1400			
R6 Etapa de MF (i)	17-11-19	142	1643	15-11-19	140	1622			
R6 Etapa de MF (f)	28-11-19	153	1773	26-11-19	151	1748			
Muestreo 1	25-10-19	119	1388	25-10-19	119	1388			
Muestreo 2	04-11-19	129	1498	04-11-19	129	1498			
Muestreo 3	11-11-19	136	1574	11-11-19	136	1574			
Muestreo 4	18-11-19	143	1654	18-11-19	143	1654			
Muestreo 5	25-11-19	150	1736	25-11-19	150	1736			
Muestreo 6	02-12-19	157	1817	02-12-19	157	1817			
Muestreo 7	09-12-19	164	1877	09-12-19	164	1877			
Muestreo 8	16-12-19	171	1935	16-12-19	171	1935			
Muestreo 9	23-12-19	178	1983	23-12-19	178	1983			
Muestreo 10	15-01-20	201	2155	15-01-20	201	2155			
Cosecha final	16-01-20	202	2164	16-01-20	202	2164			

DDS: Días Después de Siembra; GDD: Grados Día de Desarrollo; (i) inicio; (f) final; 1/ El seguimiento y muestreo del macho V13 se consideró no pertinente a partir de la etapa VT

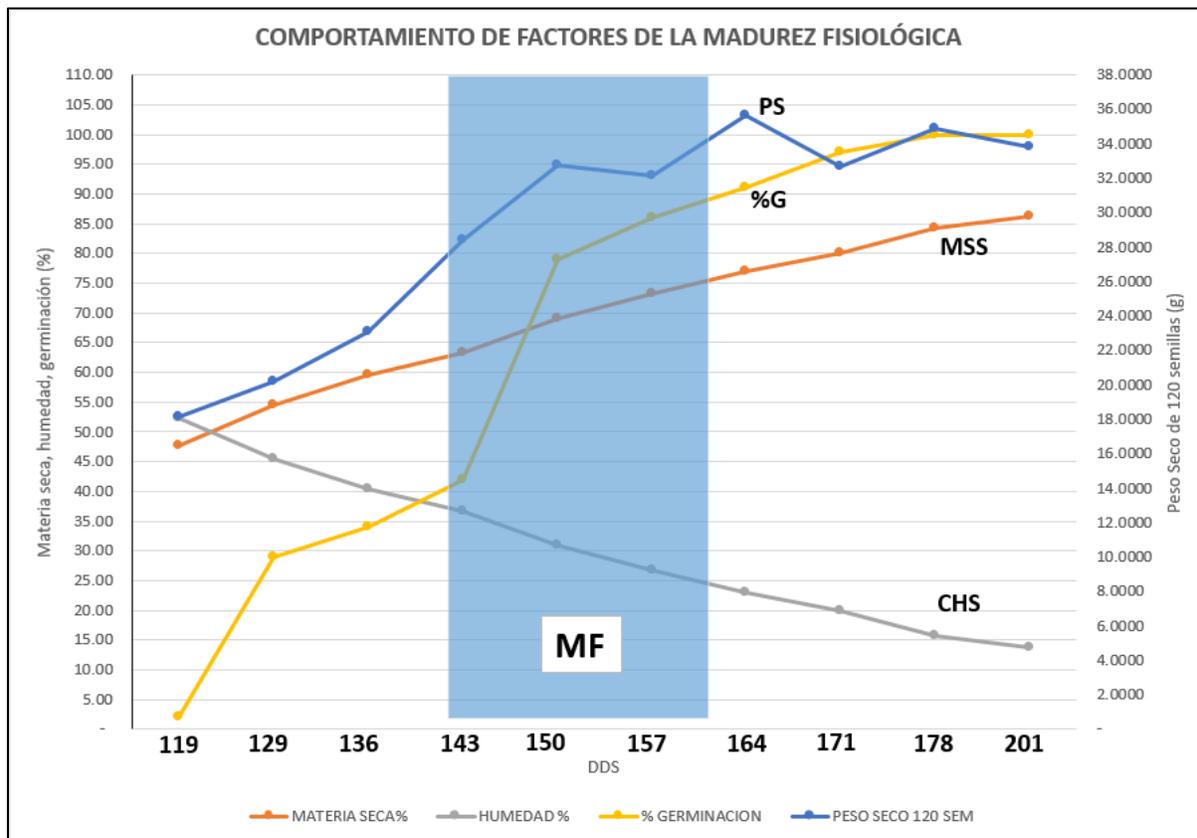
De manera general, en la Figura 58 se presenta la evolución de los GDD y DDS por cada etapa fenológica registrada para cada progenitor femenino.



**Figura 58.** GDD y DDS en cada etapa fenológica de los progenitores femeninos.

Nielsen (1993) indica que la floración femenina del híbrido de maíz Pioneer 3527 en tres fechas de siembra; en Ohio, USA entre mayo y junio de 1991; ocurrió en un rango de 1300 a 1370 GDD; la LL se registró con 2392 GDD en promedio; y la CN se adquirió con un promedio de 2532 GDD y menciona que los GDD a MF serán menores en tanto la fecha de siembra se retrase. Coulter (2018) señala que, aunque no existe un estándar de la industria semillera de EE.UU. para medir la MF, ésta se relaciona estrechamente con el número de GDD requeridos desde la siembra hasta la madurez. Menciona que en general, un híbrido de 95 días a MF necesita entre 2,350 y 2,400 GDD desde la siembra hasta la madurez, y que con cada aumento de un día en MF, aumentan el requisito de GDD en un promedio de 22 GDD.

Al comparar los resultados del presente estudio con los de los investigadores citados, se observa que también hay una relación lineal entre los DDS y los GDD, y que asimismo en la fecha de siembra relativamente tardía que se aplicó, se acortaron los GDD necesarios para alcanzar la MF (Figura 59).



**Figura 59.** Comportamiento de factores de la madurez fisiológica. P (promedio de los dos materiales investigados) PS: peso seco de 120 semillas; %G: porcentaje de germinación; MSS: materia seca de semilla; CHS: contenido de humedad de la semilla; MF (área sombreada): periodo de madurez fisiológica.

Cabe destacar que la madurez fisiológica, de acuerdo a los indicadores de LL y CN, se presentó en un rango 140 hasta 160 DDS, considerando las diferencias entre algunas plantas que ´pudieron ser polinizadas de manera tardía.

Es notable también, que el máximo peso seco de los granos, se presentó con una semana de diferencia, probablemente por efectos del clima, y a la consideración de una fecha de siembra tardía. La tendencia presentada en el porcentaje de germinación, fue evidentemente lineal en la etapa de madurez fisiológica, estabilizándose después del punto de madurez fisiológica.

El uso de los grados día de desarrollo es una herramienta útil para pronosticar el

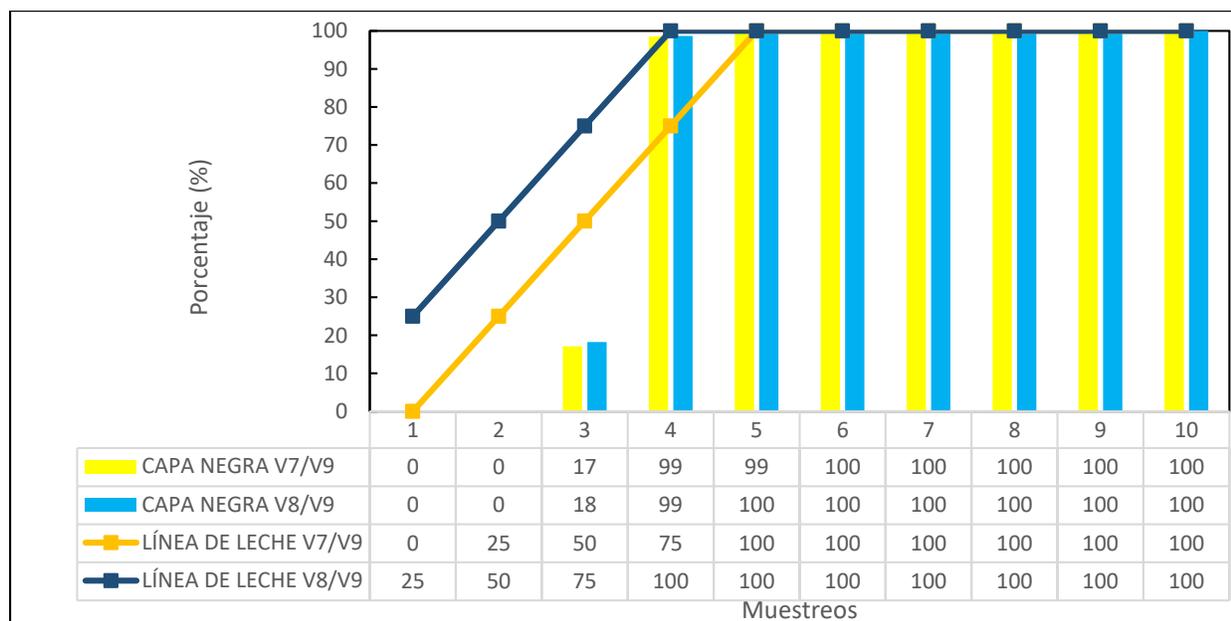
desarrollo fenológico del maíz. Almacenar la semilla bajo condiciones óptimas en diferentes periodos de tiempo, permitirá conocer mejor las relaciones entre los parámetros de MF, la humedad de la semilla a cosecha, y los GDD. Confirmar el comportamiento de los genotipos en estudio, mediante el establecimiento de parcelas de investigación (en una fecha no tan próxima al límite recomendado técnicamente) y realizar un seguimiento del comportamiento de la semilla cosechada en diferentes fechas, mediante el análisis de los parámetros de calidad y vigor, podría proporcionar los criterios necesarios para recomendar a productores de semillas una época oportuna de cosecha.

#### **4.3 Presencia de línea de leche**

En esta variable, solamente hubo diferencias estadísticas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos y muestreos en los tres primeros muestreos, pero no para estratos, lo que puede ser un indicador de madurez uniforme en la mazorca, razón por la cual en el resto del texto los resultados se presentan con base en el promedio de los tres estratos. La LL fue una guía visual durante las tres primeras semanas después de la polinización; las primeras lecturas se presentaron en el progenitor V8/V9 desde el primer muestreo (119 DDS y 1388 GDD) y diez días después se detectó en V7/V9 (129 DDS con 1498 GDD). El 100% de la LL se estabilizó con la misma diferencia en tiempo, a partir la cuarta semana después de la polinización (18 de noviembre) a los 143 DDS con 1654 GDD. (Figura 60 y Cuadro 8).

Estos resultados coinciden con los de Mancera-R. & Ramírez-J. (2014), que registraron en un primer muestreo a los 124 DDS lecturas de la LL cercanas a 20%, a los 138 DDS tuvieron registros de un 70% en promedio, y lecturas superiores al 90% a los 152 DDS. Asimismo, los resultados son comparables con los de Bal *et al.* (1997) y Flores *et al.* (2016), quienes mencionan que la cosecha de forraje verde para elaborar ensilados de maíz se realiza cuando la LL se identifica entre 25 y 75% de avance, intervalo en el cual el ensilado de maíz proporciona mayor ingestión de materia seca digestible y mayor producción de leche, y la cosecha para maíz grano es cuando la lectura es superior a ese porcentaje y en MF. Por el contrario, hay una diferencia considerable de 39 DDS de antelación para tener 100% de LL, con lo que Molina *et al.* (2003) mencionan, al detectar la LL a los 175 DDS con lecturas entre 65 y 70% y los

registros en promedio de más del 90% a partir de los 189 DDS.



**Figura 60.** Avance porcentual de la “capa negra” y de la “línea de leche” de las dos cruza simples hembra V7/V9 y V8/V9 por muestreo

**Cuadro 8.** Avance porcentual de la “línea de leche” de las dos cruza simples hembra.

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V7/V9										
Apical	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Medio	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Basal	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Promedio	0	25	50	75	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V8/V9										
Apical	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Medio	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Basal	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Promedio	25	50	75	100	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fechas de los muestreos: 1: 25/oct/19; 2: 04/nov/19; 3: 11/nov/19; 4: 18/nov/19; 5: 25/nov/19; 6: 02/dic/19; 7: 09/dic/19; 8: 16/dic/19; 9: 23/dic/19; 10: 15/ene/20

#### 4.4 Presencia de capa negra

La CN también presentó diferencias entre genotipos y muestreos, pero no para estratos. La capa negra se empezó a detectar a partir del tercer muestreo (136 DDS) en ambos progenitores femeninos. En el sexto muestreo, el día 2 de diciembre (157 DDS), la CN fue visible en la totalidad de las semillas, observándose que para el caso de V8/V9, la CN fue más evidente una semana antes (Cuadro 9 y Figura 60).

**Cuadro 9.** Avance porcentual de la “capa negra” de las dos cruzas simples hembra

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V7/V9										
Apical	0	0	14	98	99	100	100	100	100	100
Medio	0	0	19	99	100	100	100	100	100	100
Basal	0	0	19	98	99	100	100	100	100	100
Promedio	0	0	17	99	99	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	4.46	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	2.44	0.31	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V8/V9										
Apical	0	0	16	98	99	100	100	100	100	100
Medio	0	0	21	99	100	100	100	100	100	100
Basal	0	0	18	99	100	100	100	100	100	100
Promedio	0	0	18	99	100	100	100	100	100	100
Varianza	0.00	0.00	4.13	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Desviación estándar	0.00	0.00	2.35	0.27	0.16	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00

Los resultados de la investigación, difieren entre 27 y 32 DDS de los de Daynard & Duncan (1969), quienes mencionan que la CN indica el momento en que la semilla alcanza la MF, y señalan que a los 177 DDS (90 días después de floración), algunas semillas ya habían alcanzado la madurez. Por otra parte, Molina et al. (2003) informan que la CN se detectó desde etapas muy tempranas del desarrollo de la semilla, en un primer muestreo (175 DDS) las cuatro variedades de maíz tenían de 5 a 40% de semillas con CN; a los 203 DDS todas las semillas de las cuatro variedades ya mostraban CN.

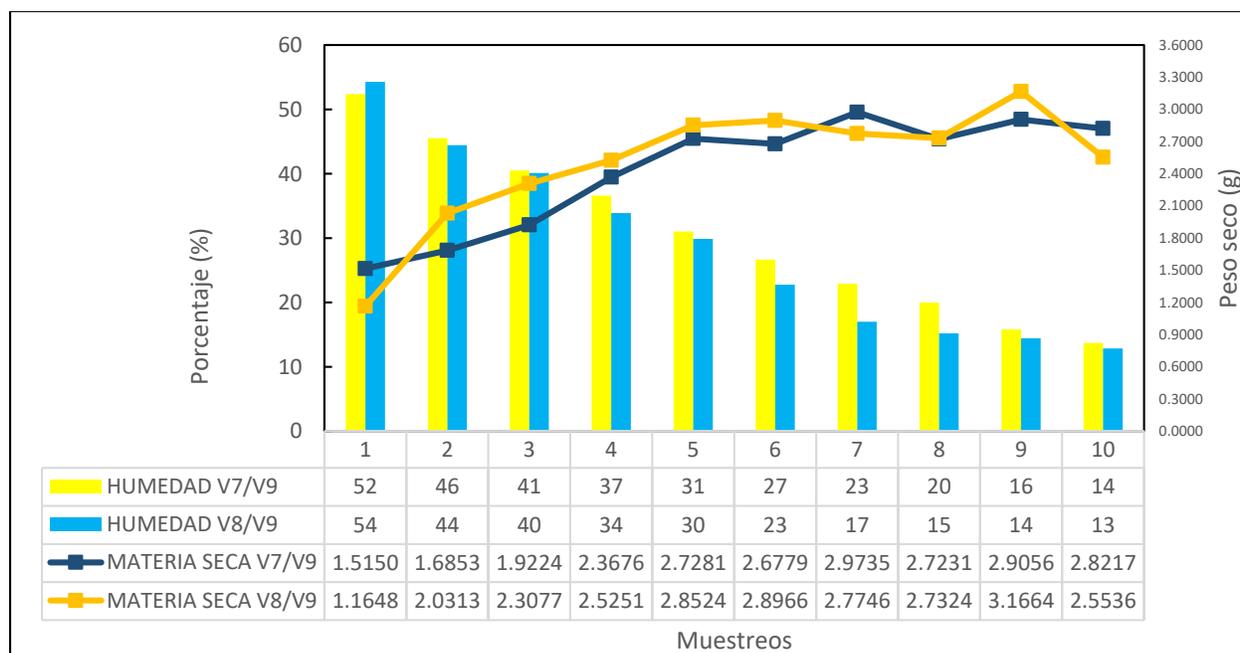
Los datos de este trabajo permiten inferir que los progenitores hembra de esta investigación se comportaron con mayor precocidad. Rench & Shaw (1971) y Vieira et

al. (1995), también señalan que la acumulación máxima de materia seca coincidió con una leve presencia de la CN; además, indican que los granos maduros con CN tenían niveles de humedad que diferían estadísticamente entre variedades y dentro de una variedad sembrada en diferentes fechas.

Los resultados obtenidos en esta investigación, son similares a los obtenidos por Mancera-R. & Ramírez-J. (2014), que concluyen que la presencia de CN se registró a partir de los 145 y hasta los 152 DDS, y coinciden con el máximo peso seco de la semilla.

#### 4.5 Contenido de humedad de la semilla

El ANOVA correspondiente, no marca diferencias significativas para genotipos ni estratos. Los muestreos del contenido de humedad, empezaron el 25 de octubre de 2019 y terminaron el 15 de enero de 2020. El contenido de humedad inicial fue en promedio de 52 y 54% para ambos progenitores femeninos respectivamente, a los 119 DDS. Las lecturas promedio de humedad del último muestreo, fueron 14 y 13% de humedad, para las cruzas simples V7/V9 y V8/V9 respectivamente, alcanzando los 201 DDS (Figura 61 y Cuadro 10).



**Figura 61.** Contenido de humedad (%) y peso seco de la semilla (g) de las dos cruces simples hembra V7/V9 y V8/V9 por muestreo

La acumulación de biomasa en los granos de maíz comienza luego de la fecundación de los óvulos y progresa siguiendo un patrón sigmoideo en el cual se pueden

distinguir tres fases: la fase de latencia, el período de llenado efectivo y la etapa de maduración (Bewley & Black, 1985). La fase de latencia se caracteriza por una activa división celular y diferenciación; se observa un rápido incremento del contenido hídrico mientras que la acumulación de biomasa resulta despreciable (Reddy & Daynard, 1983; Westgate & Boyer, 1986; Jones *et al.*, 1996). En la segunda fase, tanto el volumen como el contenido hídrico alcanzan su máximo valor (Borrás *et al.*, 2003; Gambín *et al.*, 2007), la semilla muestra una acumulación de biomasa a tasa constante para luego declinar coordinadamente con la deposición de biomasa (Westgate *et al.*, 2004; Gambín *et al.*, 2007). En la tercera y última fase, la tasa de acumulación de biomasa decrece hasta que se establece el peso final de la semilla (Borrás & Otegui, 2001; Egli, 2017), los granos alcanzan su máximo peso seco, lo que comúnmente se conoce como MF, y entran en un estado de quiescencia (Saini & Westgate, 2000). Su humedad porcentual habrá declinado entre 35 y 37% (Borrás *et al.*, 2003 y 2004) y continuará haciéndolo hasta alcanzar la madurez comercial, que generalmente estará entre 14 y 12%, según las condiciones ambientales imperantes (Schmidt & Hallauer, 1966).

**Cuadro 10.** Contenido de humedad (%) por muestreo de las dos cruza simples hembra.

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	V7/V9									
Apical	52	45	40	36	30	25	21	18	15	14
Medio	52	45	40	37	32	27	23	21	16	13
Basal	53	47	41	37	32	28	25	21	16	14
Promedio	52	46	41	37	31	27	23	20	16	14
Varianza	0.14	1.27	0.38	0.03	0.93	2.08	2.38	2.60	0.24	0.06
Desviación estándar	0.46	1.38	0.75	0.22	1.18	1.76	1.89	1.98	0.60	0.29
	V8/V9									
Apical	54	44	40	34	29	22	16	14	14	13
Medio	54	44	39	34	30	23	17	16	15	13
Basal	56	45	41	34	30	24	18	15	14	13
Promedio	54	44	40	34	30	23	17	15	14	13
Varianza	0.76	0.11	0.82	0.01	0.24	0.88	0.59	0.72	0.28	0.02
Desviación estándar	1.07	0.41	1.11	0.10	0.60	1.15	0.94	1.04	0.65	0.18

El contenido de humedad del grano al inicio de la MF generalmente se encuentra dentro del intervalo de 25 a 35%, aunque la CN puede presentarse en humedades de hasta un 40%; además, la humedad del grano en la MF varía de año en año y depende

de las condiciones de crecimiento y puede variar de híbrido a híbrido (Nielsen, 2012). Ajayi *et al.* (2001) informan que cambios en el peso seco de las semillas de dos híbridos de maíz tropical, se monitorearon durante la maduración tardía y las semillas se cosecharon con una humedad entre 19 y 43%; la calidad fisiológica de la semilla se evaluó en pruebas de laboratorio y ensayos de campo, y encontraron que las diferencias en las características de emergencia en el campo, el crecimiento posterior a la emergencia y el rendimiento fueron insignificantes; sin embargo, la madurez de las semillas afectó el tamaño del grano y, en consecuencia, el rendimiento de grano del cultivo resultante. Los resultados de las pruebas de laboratorio se correlacionaron bien con el rendimiento en el campo y se recomendaron como buenos indicadores de la calidad de la semilla para fines de siembra en lugares tropicales con condiciones similares a las del estudio.

Molina *et al.* (2003) establecieron una prueba de cuatro variedades de maíz de polinización libre, y en promedio, el contenido de humedad de la semilla presentó una reducción constante, tal y como lo han reportado Egli & Tekrony (1997) e Ibrahim *et al.* (1992), quienes señalan que, para una etapa dada de la formación de las semillas, el contenido de humedad depende de las condiciones del ambiente ya que estas condiciones determinan la velocidad de desecación de las semillas.

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) resaltan que con un contenido de humedad de 33.8% se alcanzó el máximo peso seco de las semillas, y, por ende, la MF, a los 152 DDS, en lo que parece ser un material para Valles Altos, de acuerdo a las imágenes presentadas.

#### **4.6 Porcentaje de germinación**

El análisis de varianza no presenta diferencias significativas entre estratos. Se observan diferencias entre genotipos y muestreos. Las semillas que se cosecharon durante las primeras 4 semanas (143 DDS), no superaron el 45% de germinación en ambos progenitores femeninos (Figura 62 y Cuadro 11).

A partir del quinto muestreo (150 DDS), la germinación varió entre 79 y 99%. En el caso del genotipo V8/V9, el 100% de germinación se estabilizó a partir del octavo muestreo, el 16 de diciembre (171 DDS); mientras que, para V7/V9, este porcentaje se alcanzó una semana después.



**Figura 62.** Porcentaje de germinación de las dos cruas simples hembra V7/V9 y V8/V9, por muestreo y por estrato.

**Cuadro 11.** Porcentaje de germinación por muestra, lectura a los 7 días de siembra de las dos cruas simples hembra.

	MUESTREOS									
ESTRATO/VARIEDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V7/V9										
Apical	5	29	32	38	84	89	91	96	100	100
Medio	2	32	38	38	76	87	91	96	100	100
Basal	0	26	32	51	78	81	92	99	100	100
Promedio	2	29	34	42	79	86	91	97	100	100
Varianza	4.22	6.00	6.72	37.56	11.56	11.56	0.22	2.00	0.00	0.00
Desviación estándar	2.52	3.00	3.18	7.51	4.16	4.16	0.58	1.73	0.00	0.00
V8/V9										
Apical	6	18	22	42	82	95	99	100	100	100
Medio	3	22	27	48	80	93	98	100	100	100
Basal	7	12	16	43	85	91	100	99	100	100
Promedio	5	17	21	44	82	93	99	100	100	100
Varianza	2.89	16.89	18.39	6.89	4.22	2.67	0.67	0.22	0.00	0.00
Desviación estándar	2.08	5.03	5.25	3.21	2.52	2.00	1.00	0.58	0.00	0.00

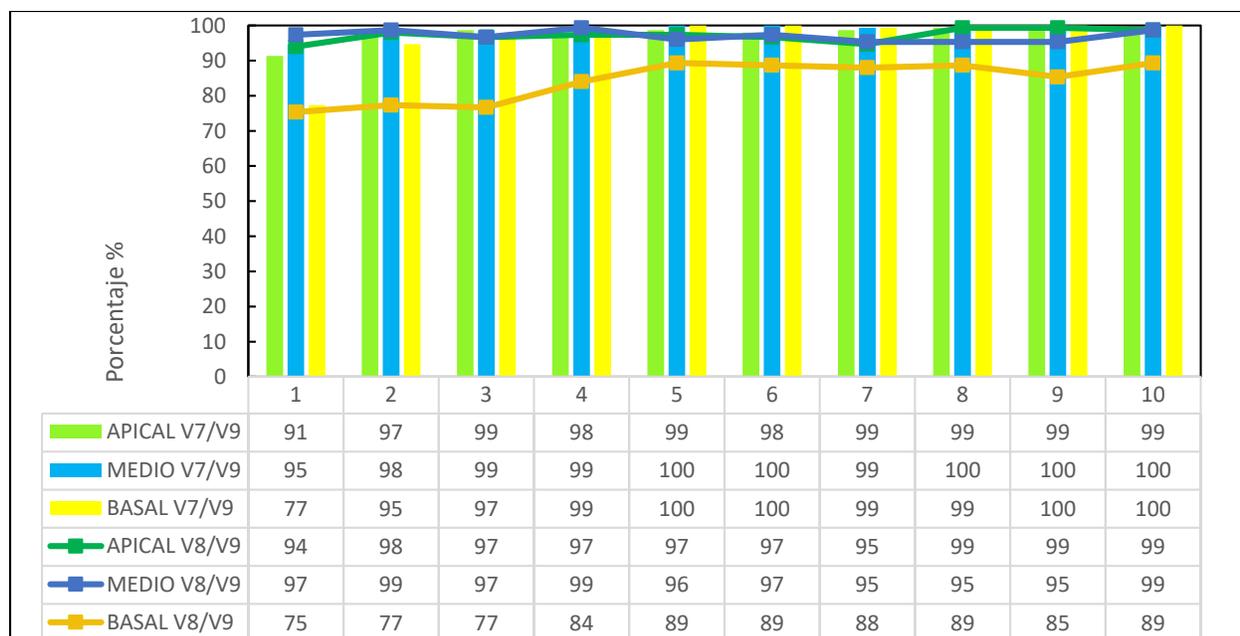
En experimentos llevados a cabo en 1995 y 1996, Molina *et al.* (2003) encontraron que el potencial germinativo se hizo evidente desde el primer muestreo en ambos experimentos. En 1995, a los 175 DDS las semillas en formación alcanzaron el 80% a los 175 DDS, y alcanzaron su máximo nivel germinativo de 95% en el quinto muestreo (203 DDS), día en que se había alcanzado la MF. Se observó que a los 203 DDS se inició la reducción lenta de la capacidad germinativa, que pudo estar asociada con el inicio del proceso de deterioro de la semilla. En 1996, la capacidad germinativa de las semillas creció lentamente de casi 8% en el primer muestreo (123 DDS), a 25% en el sexto (158 DDS), para luego incrementarse rápidamente pues en los siguientes 21 días se alcanzó 80% de germinación.

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) obtuvieron lecturas inferiores al 5% de germinación a los 124 DDS; los máximos porcentajes se registraron en un quinto muestreo a los 152 DDS, con lecturas entre 85 y 88%.

#### **4.7 Vigor de la semilla**

La varianza y desviación estándar de los datos obtenidos para el porcentaje de germinación con lectura a los 4 días de siembra, indican consistencia en la estimación de esta característica en todos los muestreos, a excepción de las lecturas del primer muestreo, con diferencia presentada entre estratos.

La prueba final de porcentaje de germinación con lectura a los 4 días para determinar el vigor de la semilla, que se realizó con una humedad de 10 y 11% para los progenitores V7/V9 y V8/V9 respectivamente, se muestran porcentajes promedio para los tres estratos desde el 88% y un porcentaje de germinación superior al 94% en promedio, a partir de la Muestra 5. Cabe resaltar que los porcentajes presentados en el Muestreo 1 en el caso de la variedad V7/V9, y para las Muestras 1, 2 y 3 del genotipo V8/V9 registraron lecturas del 75 al 77% en el estrato basal de ambos materiales, situación que pudo ser causada por ser la semilla más madura de todas las muestras, al tener 92, 92, 82 y 75 días de cosechada respectivamente (Figura 63 y Cuadro 12).



**Figura 63.** Vigor de la Semilla. Porcentaje de germinación a los 4 días de siembra de las dos cruas simples hembras V7/V9 y V8/V9, por muestreo y por estrato.

**Cuadro 12.** Porcentaje de germinación por muestra, lectura a los 4 días de siembra de las dos cruas simples hembra.

ESTRATO	MUESTREOS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V7/V9										
Apical	91	97	99	98	99	98	99	99	99	99
Medio	95	98	99	99	100	100	99	100	100	100
Basal	77	95	97	99	100	100	99	99	100	100
Promedio	88	96	98	99	100	99	99	99	100	100
Varianza	56.40	1.88	0.40	0.30	0.40	0.89	0.10	0.30	0.40	0.40
Desviación estándar	9.20	1.68	0.77	0.67	0.77	1.15	0.38	0.67	0.77	0.77
V8/V9										
Apical	94	98	97	97	97	97	95	99	99	99
Medio	97	99	97	99	96	97	95	95	95	99
Basal	75	77	77	84	89	89	88	89	85	89
Promedio	89	91	90	94	94	94	93	94	93	96
Varianza	93.73	98.07	88.89	46.32	12.25	15.51	10.96	19.36	34.67	19.36
Desviación estándar	11.86	12.13	11.55	8.34	4.29	4.82	4.06	5.39	7.21	5.39

Mancera-R. & Ramírez-J. (2014) realizaron pruebas de germinación a los 182 DDS en semillas que se cosecharon en 5 muestreos y se almacenaron durante un periodo de un mes, teniendo lecturas en un intervalo de 70% en el primer muestreo a 88% de germinación en el quinto muestreo. En una prueba de vigor realizada a semillas con contenido de humedad de 13, 16 y 18%, Alizaga *et al.* (1992) obtuvieron porcentajes de germinación de 92, 85 y 76%, en lecturas que se realizaron a los 4 días.

## V. CONCLUSIONES

1.- Las diferencias entre genotipos y entre estratos fueron significativas en los primeros tres muestreos en cuanto a la presencia de la LL y al vigor de la semilla.

2.- El avance en la línea de leche y la presencia de la capa negra son indicadores confiables sobre la madurez fisiológica de la semilla.

3.- En los dos genotipos, el contenido de humedad y el porcentaje de germinación de la semilla, se estabilizaron entre el cuarto y quinto muestreo, a partir de los 143 días después de la siembra.

4.- La madurez fisiológica de los materiales en estudio, se alcanzó a los 150 días después de siembra, 75 días después de la polinización, con 1,736 grados día de desarrollo, cuando los genotipos registraron en promedio un porcentaje de humedad a cosecha de 31 y 30%, y alcanzaron porcentajes de germinación de 79 y 82% respectivamente.

5.- La cruz simple hembra V8/V9 fue dos días más precoz en floración masculina y femenina que V7/V9 y esta diferencia se mantuvo hasta completar la línea de leche. Sin embargo, ambas alcanzaron 100% de la capa negra simultáneamente, por lo que el avance de la LL puede ser un mejor indicador visual de madurez fisiológica de la semilla que la presencia de la CN.

6.- El 100% de capa negra no garantiza la máxima germinación de la semilla.

7.- El vigor de la semilla es similar, independientemente de la humedad a la cosecha, una vez que ésta se almacena y reduce su humedad a 12%.

8.- El uso de los Grados Día de Desarrollo es una herramienta útil para pronosticar el desarrollo fenológico del maíz, por lo que se debe de contar con la información climatológica completa del sitio en específico en donde se establecerá el cultivo y así determinar las mejores estrategias a seguir en cuanto a planificación de las labores culturales, riego y fertilización.

9.- Conocer las relaciones entre los parámetros de MF, la humedad de la semilla a cosecha, y los GDD, podrán proporcionar los criterios necesarios para recomendar a productores de semillas una época oportuna de cosecha.

10.- Se recomienda para estudios posteriores, confirmar el comportamiento de los genotipos en estudio, mediante el establecimiento de parcelas de investigación en una fecha no tan próxima al límite recomendado técnicamente y realizar un seguimiento del comportamiento de la semilla cosechada en diferentes fechas, mediante el análisis de los parámetros de calidad y vigor, después de haber sido almacenadas bajo condiciones óptimas en diferentes periodos de tiempo.

## VI. LITERATURA CITADA

- Adams, C.A. and R.W. Rinne, (1980). Moisture content as a controlling factor in seed development and germination. *International Review of Cytology* 68, 1–8.
- Afuakwa, J. J., and R. K. Crookston. 1984. Using the kernel milk line to visually monitor grain maturity in maize. *Crop Science* 24(4):687-691.
- Ajayi, S.A., and M. Fakorede. 2000. Physiological maturity effects on seed quality, seedling vigour and mature plant traits of maize in a tropical environment. *Seed Science and Technology*. 28. 301-319.
- Ajayi, S. A., M. A. B. Fakorede, G. Rühl, and J. M. Greef. 2001. Defining seed quality by seed maturity and crop performance. *Journal of New Seeds* 3(2):49-71. DOI: 10.1300/J153v03n02\_04
- Aldrich S R (1943) Maturity measurements in corn and an indication that grain development continues after premature cutting. *J. AmerSoc. Agron.* 35:667-680.
- Alizaga, R., F. Sterling, y J. Herrera. 1992. Evaluación del vigor en semillas de maíz y su relación con el comportamiento en el campo. *Agronomía Costarricense* 16(2):203-210.
- Allen R. G., L. S. Pereira, M. Smith, D. Raes, and J. L. Wright. 2005. FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 131: 2-13.
- Antuna G., O., F. Rincón S., E. Gutiérrez del R., N. A. Ruiz T. y L. Bustamante G. 2003. Componentes genéticos de caracteres agronómicos y de calidad fisiológica de semillas en línea de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26 (1): 11-17.
- AOSA. 1983. Association Of Official Seed Analysts. 1983. Seed vigour testing handbook. Contribution No. 32 to the handbook on seed testing. 88 p.

- Arazi, Y., S. Wolf, and A. Marani. 1993. A prediction of developmental stages in potato plants based on the accumulation of heat units. *Agricultural Systems* 43(1):35-50. DOI: 10.1016/0308-521X(93)90091-F
- Arista-Cortes, J., A. Quevedo, B.P. Zamora, R. Bauer, K. Sonder, O. Lugo. 2018. Temperaturas base y grados días desarrollo de 10 accesiones de maíz de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9 (5): p. 1023 - 1033.
- Arnold, C. Y. 1959. The determination and significance of the base temperature in a linear heat unit system. *Proc. Ame. Soc. Hort. Sci.*, 74: 430 - 445.
- Bal, M. A., J. G. Coors, and R. D. Shaver. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. University of Wisconsin, Madison 5370. *Journal of Dairy Science* 80(10):2497-2503. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76202-7
- Barros W., M. M. 2003. Pruebas de vigor de semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y su correlación con la emergencia. Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal Departamento de Ciencias Vegetales. 53 p.
- Bellon, M.R., A.F. Barrientos-Priego, P. Colunga-García Marín, H. Perales, J.A. Reyes Agüero, R. Rosales Serna, y D. Zizumbo-Villarreal. 2009. Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. In: Sarukhán, J. (coord. gen.). R. Dirzo, R. González, y I.J. March, (comps.). *Capital natural de México vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. México, D.F. pp. 355-382.
- Bewley, J.D., and M. Black. 1985. *Seeds: Physiology of Development and Germination*. Springer US, Plenum, New York, USA. pp:35-115. DOI: 10.1007/978-1-4899-1002-8
- Bhusal, T.N. 2019. A Lecture Note On Principle And Practices Of Seed Science And Technology. Sam Higginbottom University of Agriculture Science and Technology, (on line) [https://www.academia.edu/19212034/Seed\\_production\\_technology](https://www.academia.edu/19212034/Seed_production_technology) (URL accessed on jul 2020).
- Bilanski, W. K. 1966. Damage resistance of seed grains. *Trans. ASAE* 9:360–363.

- Bolaños, J., y H. Barreto. 1991. Análisis de los componentes de rendimiento de los ensayos regionales de maíz de 1990. In: Análisis de los Resultados Experimentales del PRM 1990, vol. 2, CIMMYT, Guatemala. pp:9-27.
- Bolaños, J. y G. O. Edmeades. 1993. Eight cycles of selection for drought tolerance in lowland tropical maize. I. Responses in yield, biomass and radiation utilization. *Field Crops Res.* 31:233-252.
- Bonhomme, R., M. Derieux, Edmeades, G.O. 1994. Flowering of diverse maize cultivars in relation to temperature and photoperiod in multilocation field trials. *Crop Science* 34(1):156-164.
- Bonilla B., N. (2014). Guía Técnica Buenas Prácticas de Acondicionamiento de Semillas de Granos básicos; Infraestructura, y Equipamiento. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria.
- Borlaug, N. (1970). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. Conferencia en ocasión de la entrega del Premio Nobel de la Paz 1970. (on line) [http://www.profmex.org/mexicoandtheworld/volume13/1winter08/borlaug\\_np.html](http://www.profmex.org/mexicoandtheworld/volume13/1winter08/borlaug_np.html).
- Borrás, L., and M.E. Otegui. 2001. Maize kernel weight response to postflowering source-sink ratio. *Crop Science* 41(6):1816-1822. DOI: 10.2135/cropsci2001.1816
- Borrás, L., G. A. Slafer, and M.E. Otegui. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Research* 86:131-146. DOI:10.1016/j.fcr.2003.08.002
- Borrás, L., M.E. Westgate, and M.E. Otegui. 2003. Control of kernel weight and kernel water relations by post-flowering source-sink ratio in maize. *Annals of Botany* 91:857-867. DOI: 10.1093/aob/mcg090
- Brooking, I. R. 1990. Maize ear moisture during grain filling and its relation to physiological maturity and grain-drying. *Field Crops Research* 23(1):55-68. DOI: 10.1016/0378-4290(90)90097-U

- Brown D.M. 1969. Crop heat units for corn and other warm season crops in Ontario. Ministry of Agriculture and Food and Rural Affairs. Agdex 111/31. pp 93-119. <https://www.sojafaerderring.de/wp-content/uploads/2014/02/Berechnung-CHU-Uni-Guelph-Ontario.pdf>
- Brown D. M. 1975. Heat Units for corn in Southern Ontario. Ontario Ministry of Agriculture and Food. Agedex Factsheet. 11/31.
- Carter, M.W.; C.G.Poneleit, C.G. 1973. Black layer maturity and filling period variation among inbred lines of corn (*Zea mays* L.). Crop Science, Madison, v.13, n.4, p.436-439.
- Castillo A, C.C. 1997. Unidades calor y predicción de etapas de desarrollo en progenitores de híbridos de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 117 p.
- Castro J., J. A. Hódar, and J. M. Gómez. 2006. Seed size In: Handbook of Seed Science and Technology. Basra, A. S. (ed.). CRC Press, Binghamtom, New York, USA. 812 p.
- CEDRSSA Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. LXII Legislatura, Cámara de Diputados. 2015. Las semillas en México.
- Cervantes-Ortiz, F.; García–De los Santos, G.; Carballo–Carballo, A.; Bergvinson, D.; Crossa, J. L.; Mendoza–E, M. y Moreno, M. E. 2007. Herencia del vigor de plántula y su relación con caracteres de planta adulta en líneas endogámicas de maíz tropical. Agrociencia. 41:425–433.
- Chazarreta, Y. 2018. Mejoramiento genético en maíz: efectos sobre los determinantes fisiológicos del llenado y secado del grano en híbridos comerciales cultivados en fechas de siembra contrastantes. Tesis de Licenciatura en Genética, Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires, Arg. 47 p.
- CIMMYT. 1987. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Reseña de la investigación de maíz. El Batán, Texcoco, México, pp: 16-29.

- Cirilo, A.G. & F.H. Andrade. 1994. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *Crop Sci.* 34:1044-1046.
- Copeland , L.D. 1976. *Principles of Seed Science and Technology*. Minneapolis, Burgess Publishing Company. p. 149-184
- Copeland, L. D., and M. B. McDonald. 2002. *Principles of Seed Science and Technology*. Kluwer Academic Publishers. Norwell, Massachusetts. 488 pp. In *Annals of Botany*, Matthews, S. (ed.). Volume 89, Issue 6, 1 June 2002, p. 798, <https://doi.org/10.1093/aob/mcf127>
- Coulter, J. 2018. Selecting corn hybrids for grain production. University of Minnesota Extension. (on line) <https://extension.umn.edu/corn-hybrid-selection/selecting-corn-hybrids-grain-production>. (URL accessed Apr 2020).
- Cross, H.Z.; Zuber, M.S. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agronomy Journal*, Madison, 64(4): p.351-355.
- Daynard, T.B. 1972. Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, n.6, p.716-719.
- Daynard, T. B, and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Science* 9(4):473-476. DOI: 10.2135/cropsci1969.0011183X000900040026x
- Delouche, J.C.; Baskin, C.C. 1973. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seeds Science and Technology*. 1(2): 427-452.
- Derieux, M., Bonhomme, R. 1982. Heat unit requirements for maize hybrids in Europe; results of the European FAO sub-network: I. sowing-silking period. *Maydica* 27:59-77.
- Domínguez-García I.A., J. R. Altamirano-Cárdenas, A. F. Barrientos-Priego y A.V. Ayala-Garay. 2019. Análisis del sistema de producción y certificación de semillas en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 42 (4): 347 - 356.

- Donnet, L.; D. López; J. Arista; F. Carrión; V. Hernández; A. González. 2012. El potencial de mercado de semillas mejoradas de maíz en México. Programa de Socioeconomía Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, CIMMYT. Documento de trabajo No. 8. 30 p.
- Donnet M.L.; López-Becerril I.; Dominguez, C.; Arista-Cortés, J. Analysis of the sector structure and the public-private partnership of maize seed in Mexico. *Agron. Mesoam.* 2020, 31(2):367-383. DOI: <https://dx.doi.org/10.15517/am.v31i2.34894>
- Edmeades, G.O., H.R. Lafitte, and S.C. Chapman. 1992. Predicting the phenology of tropical maize: effects of photoperiod and temperature. CIMMYT, México.
- Egli, D. B. 2017. Seed Biology and the Yield of Grain Crops. Plant and Soil Sciences Faculty Book Gallery 5. CAB International, Wallingford, Oxfordshire, UK. pp:18-76.
- Egli D. B., and D M Tekrony. 1997. Species differences in seed water status during seed maturation and germination. *Seed Science Research* 7:3-11. DOI: 10.1017/S0960258500003305
- Ellis, R.H., R. J. Summerfield, G.O. Edmeades, and E.H. Roberts. 1992. Photoperiod, temperature and the interval from sowing to tassel initiation in diverse cultivars of maize. *Crop Science* 32:1225-1232
- Espinosa-Calderón, A., M. Tadeo-Robledo, L. E. Tinoco-González, R. Martínez, C. Tellez, I. González-Rojo, R. Valdivia. F. Caballero-Hernández. M. Sierra-Macías, N. Gómez, A. Palafox, y B. Zamudio. 2009. Épocas de Cosecha, Productividad y Tamaño de Semilla con Relación al Vigor de dos Híbridos de Maíz. *Agric. Téc. Méx* 35 (2): pp.169-177.
- Espinoza, A., Ortega, D. y R. Urbina. 2002. Evaluación de Híbridos de Maíz (*Zea mays* L.) de Grano Blanco y Amarillo en Ambientes Contratantes de Nicaragua. In: Síntesis de Resultados Experimentales del PRM. (6): 32-38.
- Fassio A., A. I. Carriquiry, C. Tojo, R. Romero. 1998. MAÍZ: Aspectos sobre fenología. Serie Técnica No. 101, INIA La Estanzuela. Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA, Montevideo, Uruguay. 59 p.

- FIFONAFE Fideicomiso Fondo Nacional de Fomento Ejidal. 2010. Portal de Gerenciamiento de Núcleos Agrarios. Documento: Producción de maíz bajo condiciones de temporal en el estado de México y bajo condiciones de riego en el estado de Guanajuato. p. 1
- Fischer K. S., and A. F. E. Palmer. 1984. Tropical maize. In: P. R. Goldsworthy and N. M. Fischer (eds.) *The Physiology of Tropical Field Crops*. 1984. John Wiley and Sons, NewYork, USA. pp:213-248. DOI: 10.1017/S0014479700013259.
- Flores Gallardo H., W. Ojeda Bustamante, H. Flores Magdaleno, E. Mejía Sáenz, y E. Sifuentes Ibarra. 2012. Grados día y la programación integral del riego en el cultivo de papa. *Terra Latinoamericana*. 30: 59-67.
- Flores G. H., A. Castillo, S. Santana, R. Jiménez, y P.A. Domínguez. 2017. Recomendaciones para la producción de grano y forraje de Maíz bajo riego en Durango. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo., noviembre de 2017 Folleto técnico 96. 29 p.
- Flores G. H., P. A. Domínguez, M. P. Narváez, F. Zavala, S. Santana, y R.V. García. 2016. Predicción fenológica en cultivos agrícolas bajo tiempo térmico. INIFAP. Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana, Durango, Dgo., noviembre de 2016 Folleto técnico 85. 28 p.
- Gambín, B. L., L. Borrás, and M. E. Otegui. 2007. Kernel water relations and duration of grain filling in maize temperate hybrids. *Field Crops Research* 101:1-9. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.09.001
- García, P. A. D. y López, C. C. 2002. Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(4):381-386.
- García-López, J.I; N.A. Ruíz-Torres, R.H.; Lira-Saldivar, I.; Vera-Reyes, B.; Méndez Argüello. 2016. Técnicas para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas. In *Agronano Tecnología: Nueva Frontera de la Revolución Verde*. Lira-Saldivar, R.H. y Méndez-Argüello, B. (eds). pp. 129-140.

- García-Rodríguez, J.J., M.A. Ávila-Perches, F.P. Gámez-Vázquez, M. de la O-Olán, A.J. Gámez-Vázquez. 2018. Calidad Física y Fisiológica de Semilla de Maíz Influenciada por el Patrón de Siembra de Progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41 (1): 12 pp.
- Gilmore, E. & J. Rogers, (1958) Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.*, 50 (5): 611-615
- Hall, R. 1995. Using the Relative Maturity Rating System for Selecting Corn Hybrid Maturity. Extension Extra. Paper 313. South Dakota State University, USA.
- Harrington, J. F. (1972) Seed storage and longevity. In: *Seed Biology*. Kozlowski, T.T. (ed). Volume III. Academic Press. New York. pp:145-245.
- Heisey, P. W., y G. O. Edmeades. 1999. Maize production in Drought-Stressed Environments: Technical Options and Research Resources Allocation. Part I. In: CIMMYT. *World Maize Facts and Trends 1997/98*. CIMMYT. Mexico D.F. pp: 1-12.
- Hernández, L. A., y A. Carballo C., 1984. Caracterización de genotipos de maíz de valles altos por sus requerimientos de unidades calor. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 44:42-48.
- Hernández, H. y C.F. Soto. 2012. Influencia de tres fechas de siembra sobre el crecimiento y la relación fuente-demanda del cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Cultivos Tropicales* 33 (1): pp- 28-34.
- Herter,U. and J. S. Burris. 1989. Effect of drying rate and temperature on drying injury of corn seed. *Can. J. Plant Sci.* 69:763–774.
- Hilhorst H W M, P E Toorop (1997) Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. *Adv. Agron.* 61:111-165.
- Hill, K., M. Hill, N. Pyke and N. Johnson. 1999. Maize grain quality-1998 results. FAR Arable Update, No. 13 (February).

- Hillson M T, L H Penny (1965) Dry matter accumulation and moisture loss during maturation of corn grain. *Agron. J.* 57:150-53.
- Hunter, J.L. Relationship between the stage for corn seed maturation and assimilate supply, assimilate uptake and seed quality. 1989. Thesis (PhD) - University of Kentucky. 140 p.
- Hunter, J.L.; D.M. TeKrony; D.F. Miles; D.B. Egli. 1991. Corn Seed Maturity Indicators and their Relationship to Uptake of Carbon-14 Assimilate. *Crop Science* 31(5):1309-1313. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100050045x>
- Ibrahim A. E., D. M. Tekrony, D. B. Egli, and D. A. Van Sanford. 1992. Water content and germination of immature wheat kernels. *Seed Science and Technology* 20:39-46.
- INEGI. Instituto Nacional de Geografía e Informática. 2017. Encuesta Nacional Agropecuaria 2017. (on line) <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2017/> (URL accessed on jul 2020).
- Iñiguez-Covarrubias, M., W. Ojeda-Bustamante y A. Rojano-Aguilar. 2011. Metodología para la determinación de la evapotranspiración integrada y la capacidad de canales en una zona de riego. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias de UNCuyo.* 43: 175-191.
- ISTA International Seed Testing Association. 2018. International Rules for Seed Testing 2018.
- Jones, R. J., B. M. N. Schreiber, and J. A. Roessler. 1996. Kernel sink capacity in maize: genotypic and maternal regulation. *Crop Science* 36(2):301-306. DOI: [10.2135/cropsci1996.0011183X003600020015x](https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020015x)
- Kelly A., F. 1988. *Seed Production of Agricultural Crops.* Longman Scientific and Technical - John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.

- Kiesselbach, T.A. 1949. The Structure and Reproduction of Corn. University of Nebraska Press, Lincoln, Nebraska, USA.
- Kiniry, J.R. 1991. Maize phasic development. In Modelling plant and soil systems. Ed. by J. Hanks and T. Ritchie. Madison, Wis., ASA. Agronomy Monograph no. 24. p. 55-70.
- Kiniry, J.R., Ritchie, J.T. y Musser, R.L. 1983. Dynamic nature of the photoperiod response in maize. *Agronomy Journal*, 75: 700-703.
- Knittle K. H., and J. S. Burris. 1976. Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. *Crop Sci.* 16:851-855.
- Lafitte, H.R. 1994. Identificación de Problemas en la Producción de Maíz Tropical. CIMMYT Guía de Campo. p. 38.
- Lee. Ch. 2011. Corn Growth Stages and Growing Degree Days: A Quick Reference Guide. University of Kentucky, College of Agriculture. (on line) <http://www2.ca.uky.edu/agcomm/pubs/agr/agr202/agr202.pdf> (URL accessed on jul 2020)
- López, J. E., T. Diaz, T. Watts Thorp, C., J. C. Rodríguez, A.E. Castellanos, L. Partida, & T.D.J. Velázquez. 2015. Evapotranspiración y coeficientes de cultivo de chile bell en el Valle de Culiacán, México. *Terra Latinoamericana*, 33(3), 209-219.
- Lorens, G.F., Bennett, J.M., Loggale, L.B. 1987. Differences in drought resistance between two corn hybrids : II. component analysis and growth rates. *Agronomy Journal* 79 (5): 808-813.
- Luna, M., M. A. Hinojosa R., Ó. J. Ayala G., F. Castillo G. y J. A. Mejía C. 2012. Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35: 1-7.
- MacRobert, J. F. 2014. Administración de empresas productoras de semilla en África. Traducción Alma McNab. CIMMYT, México, D.F. pp. 114-115.

- MacRobert, J. F., P. Setimela, J. Gethi y M. W. Regasa. 2015. Manual de Producción de Semilla de Maíz Híbrido, CIMMYT. 36 p.
- Magalhaes, A., Silva, W.J. 1987. Determinantes genético-fisiológicos da produtividade do milho: melhoramiento y produção do milho. Sao Paulo, Fundação Cargill. 425 p.
- Mancera-R. A., y A. Ramírez-J. 2014. Determinación de la madurez fisiológica en semilla de maíz (*Zea mays* L) mediante ganancia de peso seco y métodos alternos. Agroproductividad 7(1):50-57.
- Márquez-Sánchez, F. 2018. De las variedades criollas de maíz a los híbridos transgénicos. II: la hibridación. Centro Regional Universitario de Occidente, Dirección de Centros Regionales Universitarios, Universidad Autónoma Chapingo. En: Agricultura, Sociedad y Desarrollo, Vol 6 No. 2 Pp.161-162
- Martínez A., D. 2015. Ecofisiología del Cultivo de Maíz. In: Garay, J.A. y Cruz, J. (eds.) El Cultivo de Maíz en San Luis. Información técnica No. 188. 1ª Ed. Pp. 7-31.
- MasAgro. 2012. Modernización Sustentable de la Agricultura Tradicional. SAGARPA / CIMMYT. (on line) <https://masagro.mx/es/componentes/masagro-maiz> (URL accessed Jun 2020).
- Mendoza E., M., L. Latournerie., E. Moreno., G. Castañón., J. Cruz C., C. León., J. G. García. 2004. Cambios en la calidad de las semillas de maíz durante su desarrollo y maduración. Agronómica Mesoamericana 15 (2): 155-160.
- Mezzalama, M. (2014). Calidad de la Semilla. Laboratorio de Sanidad de Semillas de Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (on line) <https://repository.cimmyt.org/bitstream/handle/10883/18109/58348.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (URL accessed Apr 2020)
- Molina M., J. C., V. A. González, A. Carballo, M. Livera, F. Castillo, y M. L. Ortega. 2003. Cambios en la calidad fisiológica y su asociación con la madurez de la semilla de maíz durante su formación. Revista Fitotecnia Mexicana 26(4):271-277.

- Morales, M. 2012. Efecto del Ambiente en Atributos Físicos y Fisiológicos del Maíz Criollo. Tesis Profesional de Maestría en Tecnología de Granos y Semillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. P.p. 97.
- Moreno, M. E.; B.M. Vázquez, R.A. Rivera, M.R. Navarrete, y V.F. Esquivel. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sce. Technol.* 26: 439-448.
- Narwal, S. S.; Poonia, S.; Singh, G. and Malik, D. S. 1986. Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays* L.). *Agric. For. Meteorol.* 38(1):47-57.
- Neild, R. y M.W. Seeley. 1987. Applications of growing degree days in field corn production. In: *Agrometeorology of the maize crop*. WMO N° 481. p. 426-436. Geneva, Switzerland.
- Nielsen, R. L. (Bob). 1993. Relative hybrid maturity: are GDD ratings better than 'days to maturity'?. In: *Proceedings of the integrated crop management Conference 17. Dec 2nd 1993*. Iowa State University. Iowa, USA. pp:117-123. DOI: 10.31274/icm-180809-431
- Nielsen, R. L. (Bob). 2012. Interpreting corn hybrid maturity ratings. *Corny News Network*. Purdue University, Department of Agronomy. West Lafayette, Indiana, USA. (online) <https://www.agry.purdue.edu/ext/corn/news/timeless/HybridMaturity.html> (URL accessed Apr 2020).
- Obrador J. 1984. Cosecha de granos. Trigo, maíz, frijol y soya. Serie: Tecnología Postcosecha 2. Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Santiago, Chile. 60 p.
- Ojeda B. W., e I. E. Sifuentes 2015. Tiempo térmico y fenología de los cultivos. In: *Calendarización del riego: teoría y práctica*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México. Anexo B-3. pp:365-378.
- Ojeda B.W., E. Sifuentes Ibarra, D.C Slack, y M. Carrillo. 2004. Generalization of irrigation scheduling parameters using the growing degree days concept: application to a potato crop. *Irrigation and Drainage*. 53: 251-261.

- Ojeda B.W., E. Sifuentes Ibarra, y H. UnlandWeiss. 2006. Programación integral del riego en maíz en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*. 40: 13-25
- Paredes W. 2019. Mejoramiento genético en plantas. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. (on line) [https://www.infoagro.com/documentos/mejoramiento\\_genetico\\_plantas.asp](https://www.infoagro.com/documentos/mejoramiento_genetico_plantas.asp) (URL accessed Jan 2020)
- Pereira C. S., B. Fernández L., R. Lorenzana R., M. Barreal, y G. Flores. 2015. Consellos para un bo ensilado do millo: o momento de corte. Centro Investigacións Agrarias Mabegondo (CIAM)-INGACAL, Galicia, España. (on line) <https://www.campogalego.com/consellos-para-un-bo-ensilado-do-millo-o-momento-de-corte/> (URL accessed Apr 2020).
- Peretti A. 1994. Manual para análisis de semillas. Hemisferio Sur, S. A. Buenos Aires, Argentina. 281 p.
- Pérez-López F.J., R. Lobato-Ortiz, J. de J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, J. de J. López-Reynoso, y T. Cervantes-Santana. 2014. Líneas homocigóticas de maíz de alto rendimiento como progenitoras de híbridos de cruce simple. *Revista Agrociencia* 48 (4).
- Perry, D. A. 1981. Introduction: Methodology and application of vigour test. In: Handbook of vigour test methods. Perry, D. A. (ed.) International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. p. 3-7.
- Perry, D. A. 1983. The concept of seed vigor and its relevance to seed productions techniques. In: seed production Hebblewait. P. D. Butterworth publishers.
- Poehlman, J.M. 1979. Mejoramiento genético de las cosechas. Limusa. México. 206 p.
- Pollock, B.M. and E.E. Roos. 1972. Seed and Seedling Vigor. In *Seed Biology, Importance, Development, and Germination*. Kozlowski, T.T. (ed). P. 313-387.

PUCCH. Pontificia Universidad Católica de Chile. 2020. Etapa de llenado de granos. (on line) [http://www7.uc.cl/sw\\_educ/cultivos/cereales/maiz/llenado.htm](http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/maiz/llenado.htm)

Purseglove, J.W. 1972. Tropical Crops: Monocotyledons. Longman, London.

Quemé, J. L. y M. R. Fuentes. 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en diferentes ambientes de México, Centroamérica, El Caribe y Venezuela. In: Informe de PCCMCA, 1991. PRM – ICTA, Guatemala, C. A. p.61.

Ramírez-Díaz, J.L., A. Ledesma-Miramontes, V. A. Vidal-Martínez, N. O. Gómez-Montiel, J. A. Ruiz-Corral, G. A. Velázquez-Cardelas, J. Ron-Parra, Y. Salinas-Moreno y L. A. Nájera-Calvo. 2015. Selección de maíces nativos como donadores de características agronómicas útiles en híbridos comerciales. Revista Fitotecnia Mexicana. 38 (2) Pp. 119-131.

Rawson, H. M. and H. Gómez. 2001. Trigo Regado. FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.

Reddy, V.M., and T. B. Daynard. 1983. Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica* 28:339-355.

Rench, E.E. 1973. Climatic influences on and indices of *Zea mays* L. growth and development. Ph.D. Dissertation. Ames, Iowa State University. Dissertation Abstracts pp. 74-571.

Rench, E.E., and R. H. Shaw. Black layer development in corn. 1971. *Agronomy Journal*, Madison 63(2): 303-305. DOI: 10.2134/agronj1971.00021962006300020031x

Ritchie, S.W., J. J. Hanway, and G.O. Benson. 1984. How a corn plant develops. Special Report No. 48, Iowa State University, Iowa, USA. (on line) <http://www.virtual.chapingo.mx/dona/paginaCBasicos/howgrowcorn.pdf> (URL accessed Apr 2020).

- Ritchie, T. y D.S. Nesmith. 1991. Temperature and crop development. In: J.Hanks y J. T. Ritchie (eds.). Modeling plant and soil systems. ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin. Agronomy Monograph, 31:5-29.
- Ruiz, J. A.; Sánchez, J. J. and Goodman, M. M. 1998. Base temperature and heat unit requirement of 49 mexican maize races. *Maydica*. 43(4):277-282.
- Ruiz, M.A. 2018. Las Unidades Calor. UNISEM. (on line) <https://semillastodoterreno.com/2018/11/las-unidades-calor#:~:text=Plantas%20y%20animales%2C%20incluidos%20insectos,calor%20a%20trav%C3%A9s%20del%20tiempo> (URL accessed on jul 2020).
- SADER – ASERCA - CIMA. 2020. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural-Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios-Centro de Información de Mercados Agroalimentarios. (on line) <https://www.cima.aserca.gob.mx/> (URL accessed on jul 2020).
- SADER / SIAP. 2019. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural / Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (on line) [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435882/Mapa\\_con\\_la\\_estimaci\\_n\\_de\\_superficie\\_sembrada\\_de\\_cultivos\\_b\\_sicos\\_2019.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435882/Mapa_con_la_estimaci_n_de_superficie_sembrada_de_cultivos_b_sicos_2019.pdf) (URL accessed on jul 2020).
- SAG. Secretaría de Agricultura y Ganadería. 1961. Ley Federal sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas.
- SAGAR. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural. 1996. Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV).
- SAGARPA. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Ruar, Pesca y Alimentación. 2007. Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas.
- Saini, H.S., and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy* 68:59-96. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60843-3

- Samperio, G. 2009. Germinación de semillas: Manual de divulgación para uso en instituciones de educación. Asociación hidropónica mexicana. (on line) [http://www.ceiba.org/documents/CFTCpropman\(SP\).pdf](http://www.ceiba.org/documents/CFTCpropman(SP).pdf).
- 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. FES–Cuautitlán. UNAM. México, D. F.
- Santibañez, Q. F. y P. Fuenzalida. 1992 . Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción del maíz. In: Congreso Nacional de Maíz, 5° , Reunión Sudamericana, 2°. Pergamino, 1992. Conferencia. Pergamino. A.I.A.N.B.A
- SARH. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 1991. Reforma a la Ley Federal sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas.
- Schmidt, J.L., and A.R. Hallauer. 1966. Estimating harvest date of corn in the field. *Crop Science* 6:227-231. DOI: 10.2135/cropsci1966.0011183X000600030003x
- Shaw, R.H. 1955. Climatic requirement. In *Corn and corn improvement*. Ed. by G.F. Sprague. New York, Academic Press. Agronomy no. 5. p. 315-339.
- Shaw, R.H. 1988. Climatic requirement. In *Corn and Corn Improvement*. Ed. by G.F. Sprague and J.W. Dudley. 3. ed. Madison, ASA. Agronomy no. 18. p. 609-638.
- Shaw R H, and W E Loomis (1950) Bases for the prediction of corn yield. *Plant Physiol.* 25:225-244.
- Shayya, W. H., V. F. Bralts, and T. R. Olmsted. 1991. Irrigation scheduling based on growing degree days. ASAE Paper No. 91-2643. St. Joseph, Michigan, USA. 23 p.
- Sierra, M. M.; C. A. Palafox, M. Rodríguez, C. A. Espinosa, M. N. Gómez, H. K. Caballero, F. S. Barrón, M. A. Zambada, y C.G. Vázquez. 2008. H-520 híbrido Trilineal de Maíz para el Trópico Húmedo de México. *Agric. Téc. Méx.* 34:119-122.

Slafer, G.A.; L.G. Abeledo; F.G. González; D.J. Miralles; A.G. Kantolic; R. Savin; E.M. Whitechurch. 2006. Grain number determination in major grain crops. In: Handbook of Seed Science and Technology. Basra, A. S. (ed.). CRC Press, Binghamton, New York, USA. 795 p.

SNICS. 2019. Boletín Informativo de Producción de Semilla Calificada por el SNICS. Ciclos agrícolas OI 2018-PV 2019.

SNICS. 2020. Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas. 28 de marzo de 2020.

Snyder R. L. 1985. Hand calculating degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* 35(1-4):353-358. DOI: 10.1016/0168-1923(85)90095-4

Suraj Ch. 2014. Identification of specific visual indicators of seed maturity. School of crop production technology. Suranaree University of Technology, India. (on line) <https://fdocuments.in/document/identification-of-specific-visual-indicators-of-seed-maturity-suraj-chhetri-school-of-crop-production-technology-suranaree-university-of-technology.html> (URL accessed Apr 2020).

Tadeo, R. M.; C.A. Espinosa, C. A.; M.R. Martínez, G. Srinivasan, D. Beck, J. Lothrop, J.L. Torres, y R.S. Azpiroz. 2004. Puma 1075 y Puma 1076 híbridos de maíz de temporal para los Valles Altos de México (2200 a 2600 m). *Rev. Fitotec. Mex.* 27(2):211–212.

Taiz I., y E. Zeiger. 1991. *Plant physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Co. Inc. Redwood City, Cal., U S A. 559 p.

Taiz, L. and Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates. Sunderland, Massachusetts.USA. 764 p.

Tekrony, D. M. and J.L.Hunter. (1995), Effect of seed maturation and genotype on seed vigour in maize. *Crop Science*, 35, 857-862.

Tekrony, D.M., J.L. Hunter, J.L.; R.D. Vieira. 1994. Relationship of black layer maturity to seed vigor across several maize genotypes. In: ASA/CSSA/SSSA Annual Meetings,

86., 1994. Seattle. Agronomy abstracts... Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.177.

Thuy, N. X., M. A. Choudhary and J. G. Hampton. 1999. The effects of high drying temperature and tempering on development of stress cracks and germination of maize seed (*Zea mays* L.). *Seed Sci. Technol.* 27:507–515.

Tillmann, M. A. A., V. D. C. de Mello e G. R. M. Rota. 2003. Análise de sementes. In: *Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. T. S. Peske, M. D. Rosenthal e G. R. M. Rota Editora Rua. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil. pp:138-223.

Toledo, R.E. 2014. Etapas de desarrollo del cultivo de maíz. Departamento Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (on line) <https://es.slideshare.net/rubentoledo144/etapas-de-desarrollo-de-cultivo-de-maiz> (URL accessed Apr 2020).

Tollenaar, M. 1977. Sink source relationship during reproductive development in maize: a review. *Maydica* 22(2):49-75.

Tollenaar, M.; T.B. Daynard y R.B. Hunter. 1979. Effect of temperature on rate of leaf appearance and flowering date in maize. *Crop Science* 19(3):363-366.

Totis de Z. L.E. 2012. Requerimientos Agroclimáticos del Cultivo de Maíz. In: Eyhérbide, G. H. (ed.) *Bases para el Manejo del Cultivo de Maíz*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pergamino, Argentina. 299 Pp.

Trzeciak dos Santos, C.; V.A. Dalpasquale; C.A. Scapim; A. de Lucca e Braccini and F. C. Krzyzanowski. 2006. Milk Line as an Indicator of the Harvesting Time of Three Hybrid Seeds of Corn (*Zea mays* L.). *Brazilian archives of Biology and Technology.* 48(2) : pp. 161-170.

UCANR-IPM University of California Agriculture & Natural Resources, Integrated Pest Management Program. 2020. (on line) <http://ipm.ucanr.edu/WEATHER/ddconcepts.html> (URL accessed Apr 2020).

- Urbina, R., y G.O. Edmeades, 1993. La fenología del maíz. Síntesis de resultados experimentales del PRM. CIMMYT, Guatemala.
- Vega, C.R.C., F.H. Andrade, V.O. Sadras, S.A. Uhart, and O.R. Valentinuz. 2001. Seed number as a function of growth. A comparative study in soybean, sunflower, and maize. *Crop Science* 41:748-754.
- Vieira, R. D., L. Minohara, N.M. de Carvalho, and M.C.M. Bergamaschi. 1995. Relationship of black layer and milk line development on maize seed maturity. *Scientia Agricola* 52(1):142-147. DOI:10.1590/S0103-90161995000100023
- Villaseca S. 1987. Requerimiento de suelo y clima del maíz. No. 43. Instituto de Investigación Agropecuaria La Platina, Santiago, Chile. Pp 38-40.
- Wang J. Y. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology*. 41:785-790.
- Warrington, I.J., and E.T. Kanemasu. 1983. Corn growth response to temperatura and photoperiod: I. seedling emergence, tassel initiation and anthesis. *Agronomy Journal* 75(5):749-754.
- Westgate, M.E. 1999. Reproductive Development in Grain Crops during Drought.
- Westgate, M.E., and J. S. Boyer. 1986. Water status and the developing grain of maize. *Agronomy Journal* 78(4):714-719. DOI: 10.2134/agronj1986.00021962007800040031x
- Westgate, M.E., M. E. Otegui, and F.H. Andrade, 2004. Physiology of the corn plant. In: *Corn: Origin, History, Technology and Production*. Wayne Smith, C., J. Bertrán, and E. C. A. Runge (eds.). Jhon Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, pp:235-271.
- Yzarra T.W., I. Trebejo y V. Noriega. 2009. Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (*Zea mays*, L.) en la costa central del Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* (1), 1-10

Yzarra T.W., I. Trebejo y V. Noriega. 2010. Evaluación del efecto del clima en la producción y productividad del maíz amarillo duro en la costa central del Perú. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Dirección General de Agrometeorología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 90 p.

## ANEXOS

### ANEXO A. Procedimiento estandarizado de producción de semilla del CIMMYT

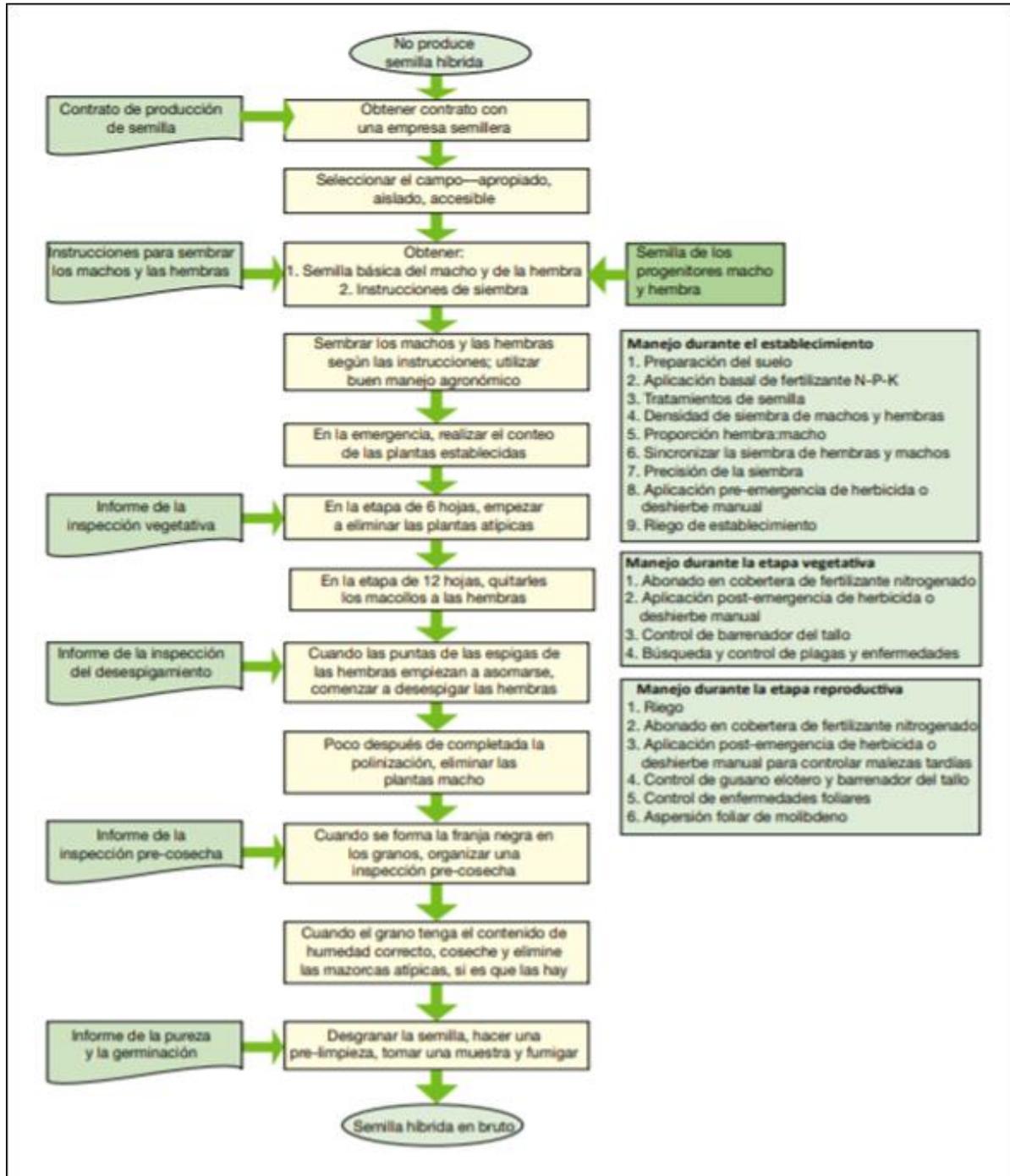


Figura A1. Diagrama de flujo de la producción de semilla de maíz híbrido, para un productor. Fuente: CIMMYT 2015.

## Procedimientos previos

### 1) Selección de un campo de producción de semilla

Las mejores parcelas de una finca se deben usar para la producción de semilla híbrida, pero hay otros factores que considerar, incluidos los siguientes: a) Accesibilidad: para facilitar inspecciones, labores y cosecha; b) Antecedentes de cultivo: el cultivo anterior no debe haber sido maíz; c) Aislamiento: campo aislado de parcelas de maíz contaminantes, ya sea por distancia o por fecha de siembra; d) Tamaño de la parcela: debe tener un tamaño máximo de 10 a 40 hectáreas, para facilitar labores (parcela más pequeña, incrementa riesgo de contaminación con polen foráneo, parcela con mayor tamaño no permite un desespigue con eficiencia; e) Mapa del campo; f) Registro del cultivo de semilla ante autoridades.

### 2) Selección de progenitores

En términos sencillos, un híbrido de maíz resulta cuando una planta de maíz fecunda a otra que genéticamente no está emparentada con la primera. Esta semilla posee una configuración genética única, resultado de ambos progenitores, y produce una planta con ciertas características (Figura 21).

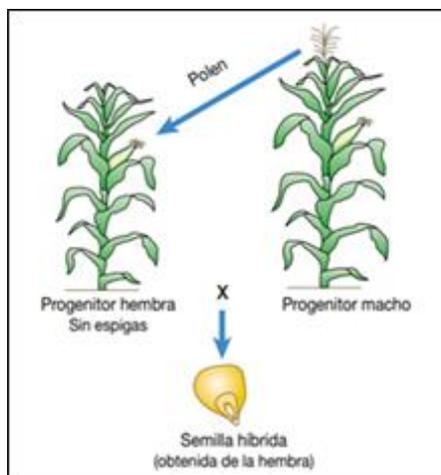


Figura A2. Proceso de hibridación. Fuente: CIMMYT, 2015.

En la producción de semilla prebásica, básica y certificada, los reglamentos y procedimientos que hay que seguir deben estar incluidos en las normas nacionales de semilla del país en que ésta se producirá. El propósito de la certificación es producir semilla con un nivel aceptable de pureza genética y una calidad específica en cuanto al

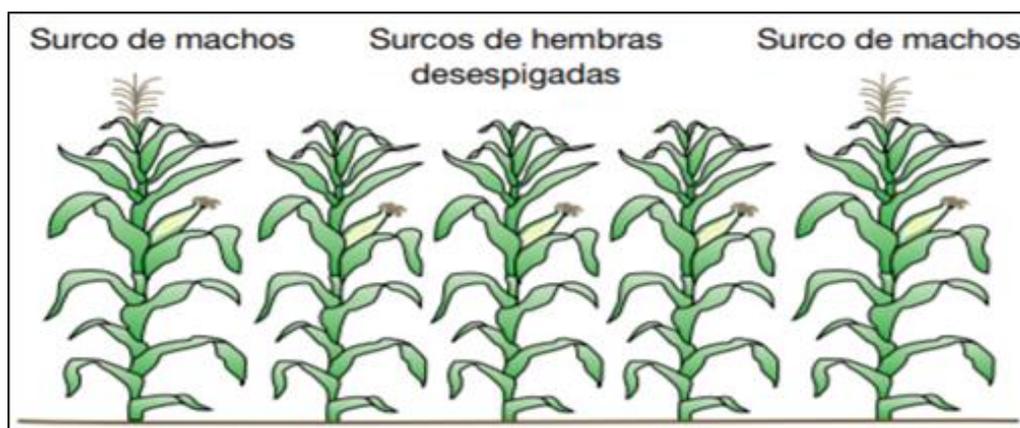
porcentaje mínimo de germinación (generalmente del 90% en el maíz), la máxima humedad de la semilla (12.5%) y la pureza mínima de la semilla (99% de pureza con menos del 3% de defectos totales). La pureza genética y altos rendimientos estarán garantizados si se utilizan progenitores de semilla apropiados que pertenecen a la clase correcta (Figura 22).

Tipo de híbrido	Progenitor hembra	Progenitor macho	Rendimiento de semilla	Precio de la semilla	Características de los híbridos	Rendimiento de grano
Simple	Línea endogámica	Línea endogámica	El más bajo	Alto	Uniforme	El más alto
Triple	Híbrido simple	Línea endogámica	Alto	Moderado	Apenas variable	Alto
Doble	Híbrido simple	Híbrido simple	El más alto	Bajo	Muy variable	De moderado a alto
Mestizo	VPL	Línea endogámica	Moderado	Bajo	Muy variable	Moderado
Intervarietal	VPL	VPL	De moderado a alto	Bajo	Muy variable	De moderado a bajo

**Figura A3.** Tipos comunes de híbridos de maíz y sus características. Fuente: CIMMYT 2015.

### 3) Siembra del campo de producción

La proporción de surcos hembra a surcos macho en el campo normalmente es de 3:1, en el caso de las cruzas simples y triples, pero puede llegar a ser de 8:1, en el caso de los híbridos dobles (Figura 23). La proporción que en realidad se siembra depende de varios factores, principalmente de la producción de polen del macho, la altura de la espiga del macho en relación con el estigma de la hembra y el tamaño de la planta femenina. Además, la producción de polen del macho y la emisión de estigmas de la hembra deben coincidir; habrá que ajustar las fechas de siembra de cada componente a fin de asegurar la sincronización de la floración de los dos progenitores.



**Figura A4.** Representación diagramática que muestra los surcos de machos y hembras, en un campo de producción de semilla de maíz híbrido. Fuente: CIMMYT 2015

## **Manejo de cultivo**

### 1) Manejo agronómico

Como la semilla tiene mayor valor que el grano, el nivel de manejo también debe ser mayor. Habrá que poner atención a las prácticas de campo que mejoran el rendimiento y minimizar los factores que reducen el rendimiento. Además, es necesario emplear procedimientos seguros al utilizar las máquinas o al aplicar fertilizantes y químicos.

Los principios generales de un buen manejo agronómico se resumen así:

a) Realizar muestras de suelo del campo de producción de semilla y obtener un informe acerca de los nutrientes que hay en el suelo y la fertilización recomendada.

b) Si el suelo es ácido, aplicación de cal junto con calcio y magnesio en proporciones apropiadas, seis meses antes de la siembra, según el contenido de arcilla en el suelo, el pH y los resultados de las pruebas de suelo.

c) Aplicación de fertilizantes que contienen fósforo, potasio y la tercera parte de todo el fertilizante nitrogenado justo antes o en el momento mismo de la siembra. La eficacia de estos fertilizantes es mayor cuando se aplican en bandas, junto y debajo de la semilla, sin estar en contacto.

d) Observar el crecimiento para detectar síntomas de deficiencia de nutrientes y, en su caso, corregirla aplicando fertilizantes foliares o edáficos.

e) Ciertos herbicidas utilizados en el maíz, especialmente los grupos de las sulfonilureas y las cloroacetamidas, pueden ser tóxicos para las líneas endogámicas y cuando se aplican los herbicidas postemergencia, se recomienda aplicarlos en bandas.

f) Programar la siembra de forma tal que la floración ocurra cuando se espera que llueva y evitar que el cultivo madure cuando esté lloviendo.

g) Sembrar los dos progenitores en los momentos recomendados, lograr la densidad de plantas correcta y una emergencia uniforme, teniendo en cuenta el contacto entre la semilla y el suelo, la profundidad de siembra y las condiciones de humedad del suelo, y evitando la compactación.

h) Cuidar las plagas del suelo y las enfermedades de las plántulas que afectan el establecimiento del cultivo y aplicar los tratamientos de semilla o los plaguicidas recomendados al suelo.

i) Monitoreo del cultivo durante todo el ciclo y control de las malezas

j) La segunda aplicación de nitrógeno pueden hacerse en dos abonados laterales en cobertera, uno en la etapa de 4 a 5 hojas y el otro en la etapa de 8 a 10 hojas

k) En el momento de la floración, revisar los estigmas de las hembras para detectar barrenadores del tallo y plagas que se alimenten de los granos en desarrollo

l) Vigilar la falta de agua durante las cuatro semanas que dura la floración, el rendimiento mejorará significativamente si se aplica riego.

m) En la etapa vegetativa tardía o a principios del llenado de grano, se hacen aplicaciones foliares de los fungicidas recomendados para combatir las enfermedades.

n) Cosechar la semilla lo antes posible, teniendo en cuenta las instalaciones de secado y los requerimientos del procesamiento. Si se reduce el tiempo que la semilla madura permanece en el campo, la calidad de la semilla mejora porque disminuyen las infestaciones de plagas y las enfermedades.

### 2) Eliminación de plantas atípicas

Durante el crecimiento vegetativo del cultivo de semilla, inspeccionar el campo para detectar plagas, malezas y enfermedades, y controlarlas si fuera necesario. Desde la etapa de 6 hojas hasta la de 12, y antes de que las espigas emerjan, eliminar las plantas atípicas de los surcos macho y hembra. Las plantas atípicas generalmente se pueden identificar porque son más altas o más bajas, porque llegan a la floración antes o después de lo debido, o porque sus características son muy distintas de las normales.

El raleo debe realizarse antes de que el cultivo sea contaminado genética o físicamente y en momentos que favorezcan la identificación visual.

### 3) Desespigamiento

En la producción de semilla de maíz híbrido, el desespigamiento de las plantas hembras debe hacerse según la norma establecida y de manera oportuna. Cualquier retraso al realizar el desespigamiento (o si éste se hace de manera inadecuada y quedan restos de espigas o plantas sin desespigar), causará que la pureza genética de la semilla híbrida se vea gravemente disminuida y podría ser causa de que no se dé la certificación.

Cabe señalar las siguientes consideraciones: a) Las espigas de las plantas hembra deben ser eliminadas antes de que comiencen a producir polen; b) Hay que comenzar a desespigar cuando 3 ó 4 cm del extremo superior de la espiga se asomen por encima del cogollo foliar; c) Hay que continuar desespigando todos los días, hasta haber

terminado; d) Es esencial realizar una supervisión estricta del campo para evitar las irregularidades en la emergencia y dificultad de arrancar las espigas; e) El desespigamiento puede tomar de dos a tres semanas, dependiendo del tamaño del campo, la uniformidad del cultivo y la mano de obra disponible; f) Si se elimina más de una hoja junto con la espiga, esto reducirá el rendimiento.

#### 4) Sincronización de la floración

Lo ideal es que las plantas machos comiencen a producir polen cuando los primeros estigmas de las hembras aparecen y que produzcan polen todo el tiempo que los estigmas de las hembras estén emergiendo. Sin embargo, las plantas hembras y machos no siempre toman la misma cantidad de tiempo para llegar a la floración debido a que tienen distintas tasas de crecimiento y a las variaciones ambientales. Además, la producción de polen puede durar menos que el tiempo que las hembras necesitan para llegar a la emisión plena de estigmas. Cualquier falta de sincronización entre la floración de los machos y la de las hembras reduce el rendimiento y expone al progenitor hembra a ser contaminado con polen foráneo. La producción de polen y la emisión de estigmas pueden durar entre 7 y 14 días.

#### 5) Eliminación de los machos

Eliminar los machos del campo tan pronto como sea posible después de la polinización. Cortar las plantas machos por la base y retirarlas del campo o dejarlas en los surcos para que se pudran. Si los machos son eliminados después de la polinización, esto garantiza que no habrá semilla de los machos que se mezcle con la de las hembras durante la cosecha. El rendimiento de las hembras también mejora porque llega más luz a los surcos de las hembras y, además, la competencia por el agua se reduce.

#### 6) Inspecciones del cultivo de semilla

Las inspecciones regulares del cultivo de semilla son un requerimiento normal de la certificación de semilla. Los inspectores de semilla visitan el campo de 3 a 6 veces durante el ciclo a fin de asegurar que el cultivo cumpla con todas las normas de certificación.

### **Procedimientos finales y postcosecha**

#### 1) Cosecha de la semilla de maíz

Cuando el cultivo llega a la madurez fisiológica, el contenido de humedad de la semilla es de 30 a 35%, y todavía hay vestigios verdes en los tallos y hojas. A partir de la madurez fisiológica, la semilla se seca según lo permita el medio ambiente. Cuanto más seco y caliente el medio ambiente, más expuesta al aire está la semilla y más rápido disminuye su humedad. El secado en el campo también es más rápido si las mazorcas tienen pocas brácteas, o éstas están flojas y cubren muy mal las mazorcas, o el diámetro de las mazorcas es pequeño. La calidad de la semilla se mantendrá relativamente alta y solo disminuirá un poco, siempre y cuando las condiciones ambientales sean favorables y no haya plagas que se coman los granos.

La calidad de la semilla se deteriora cuando la temperatura del aire es alta, cuando hay mucha humedad (humedad relativa alta) o presencia de enfermedades o barrenadores del grano. Esto significa que el cultivo debe cosecharse tan pronto como sea posible después de la madurez fisiológica.

### 2) El desgrane

Lo ideal es hacer el desgrane a mano con el fin de mantener una alta calidad de semilla, pero esto no siempre es factible desde el punto de vista económico. Un trabajador puede desgranar hasta 100 kg de semilla de maíz al día. Las desgranadoras o segadoras-trilladoras de alta velocidad astillan y rompen la semilla, por tanto, deben ser operadas a baja velocidad y ajustadas para que la semilla no se dañe. Para reducir el daño, lo mejor es frotar las mazorcas para quitarles la semilla. Cuando sea posible, deben utilizarse desgranadoras mecánicas para separar la semilla de materiales no deseables como los olotes y las brácteas.

### 3) Almacenamiento de la semilla

Después del desgrane, la semilla en bruto se puede almacenar hasta que es transportada a la planta de la empresa semillera. La semilla en bruto se puede almacenar en sacos o suelta, pero nunca se debe almacenar semilla que no tenga un contenido de humedad lo suficientemente bajo como para mantener la calidad, es decir, menos del 13%. Sin embargo, el tiempo que la semilla se puede almacenar sin dañarse, aun si su contenido de humedad es bajo, depende de la temperatura ambiente y la humedad relativa. Cuanto más bajas sean la temperatura ambiente y la humedad relativa, más tiempo se puede almacenar la semilla con un deterioro mínimo.

## ANEXO B. Descripción de los estados fenológicos de una planta de maíz.

**Cuadro B1.** Aspectos fisiológicos y agronómicos de los estados fenológicos del maíz (Fuente de imágenes: Toledo, 2014).

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
VE	Coleóptilo emerge de la superficie del suelo	Meristemo apical debajo de la superficie del suelo. El crecimiento de las raíces seminales decrece y comienza el desarrollo de raíces nodales en nodos inferiores.	Preparación suelo para garantizar buena emergencia con humedad y temperatura adecuadas. Plántula muy sensitiva al microambiente. Absorción de nutrientes ocurre solo con raíces seminales.



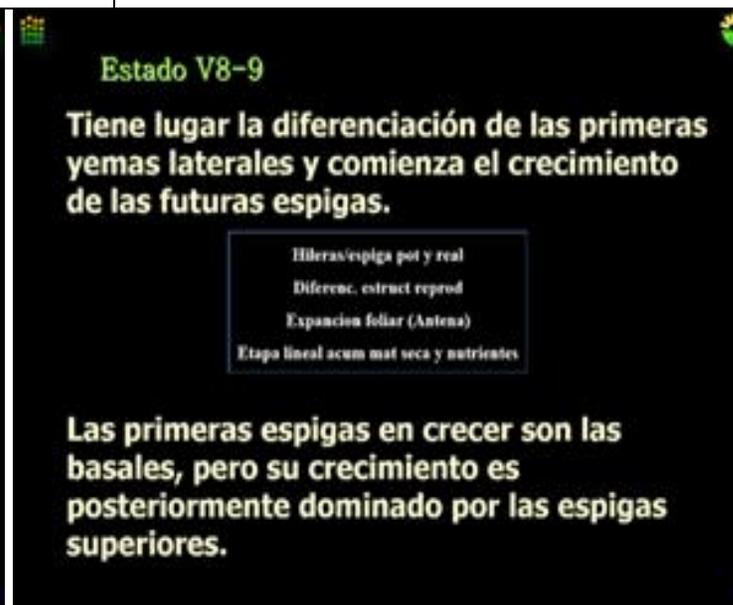
Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
V3	Visible el cuello de la hoja 3	<p>Meristemo apical aun debajo de la superficie del suelo.</p> <p>El crecimiento de las raíces seminales cesa, y se acentúa el de raíces nodales.</p> <p>Se inician hojas cada 1.5 días (25 °C).</p> <p>Planta aún inductiva al fotoperiodo</p>	<p>Temperatura superficial crítica para la plántula.</p> <p>Daño al follaje no afecta al meristemo apical ya que aún está bajo suelo.</p> <p>El buen establecimiento de las plántulas es vital para el control de malezas y obtención de la densidad deseada</p>



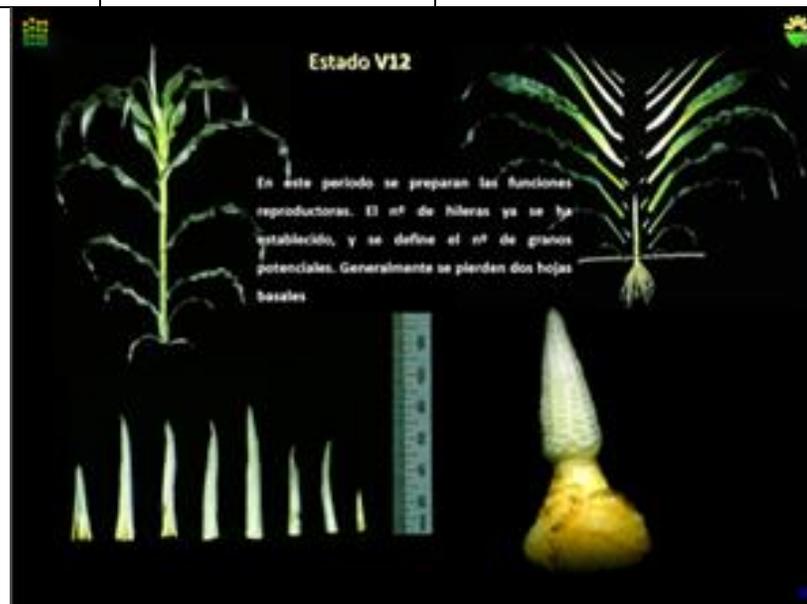
Continúa...

Estadío	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
V9	Visible el cuello de la hoja 9	Flor masculina en rápido crecimiento. Iniciación en orden acropetal de meristemos laterales en axilas de hojas inferiores y conversión de meristemos laterales en jilotes en orden basipetal. Rápido crecimiento del cultivo, expansión del follaje y captura de un cada vez más alto porcentaje de la radiación disponible. Desarrollo de raíces nodales en nodos adicionales.	Tasa de crecimiento del cultivo aún mayor debido a mayor interceptación de radiación (60%). Expansión rápida del follaje y absorción de nutrientes. Iniciación de óvulos en jilotes (número por hilera). Aporque y fertilización adicional.



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
V12 A V15	Visible el cuello de las hojas 12 a 15	<p>Jilotes en fase de iniciación de óvulos.</p> <p>Espiga en rápido crecimiento y en competencia por recursos con los jilotes.</p> <p>Follaje y cultivo en rápida expansión</p> <p>Captura casi total de radiación disponible.</p> <p>Jilotes inferiores abortan.</p>	<p>El follaje captura casi toda la radiación y la acumulación de biomasa entra a la fase lineal.</p> <p>Estreses ambientales reducen el número de óvulos y mazorcas por planta.</p> <p>Potencial de rendimiento relacionado a la duración de fases fenológicas del jilote.</p> <p>Alta demanda de nutrientes y humedad por cultivo.</p>



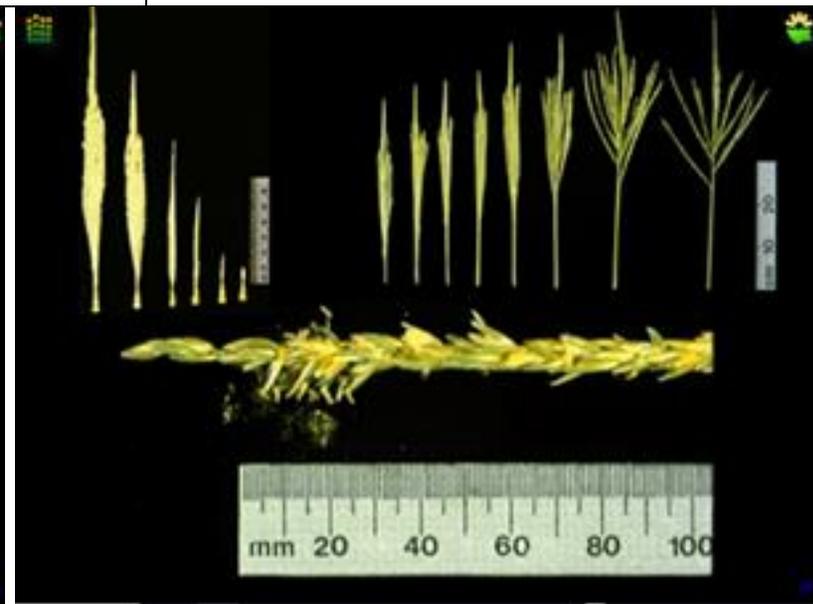
Continúa...

Estadío	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
V18 A V22	Visible el cuello lie las hojas 18 a 22	Espiga a punto de emergencia. Fase rápida de crecimiento de óvulos en jilotes iniciados. Expansión follaje casi cesa y la cobertura del suelo es casi completa. Raíces nodales crecen en nodos arriba de la superficie del suelo.	Fase de desarrollo del jilote muy sensitiva a estreses ambientales. Altos requerimientos de nutrientes y humedad. El estrés afecta más a la floración femenina, retardando la emisión de los estigmas y reduciendo el rendimiento.



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
VT	Visible la Última rama de la espiga, pero aún los estigmas no han emergido	Espiga totalmente expuesta. Derramamiento de polen por 1-2 semanas. Altura final y número final de hojas establecido.	El rendimiento es muy susceptible al estrés ambiental. Ovulos en estado rápido de crecimiento. Follaje intercepta 90% de la radiación. Tasa máxima de crecimiento del cultivo



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R1	Emisión de los estigmas	Estigmas emergen para ser polinizados. El grano de polen toma 24 h para fertilizar óvulo.	El número de óvulos fertilizados por jilote se determina. Estrés causa polinización pobre y bajo número de granos por planta. Absorción de K cesa después de R1.



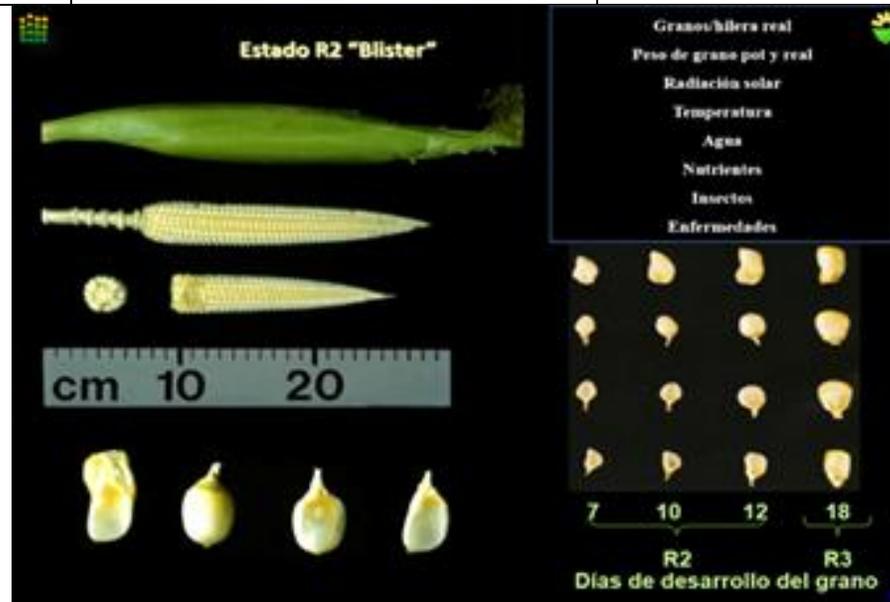
- El rocío de la noche y la primera luz del día favorece la liberación de polen
- Los óvulos de las flores femeninas producen estilos alargados terminando en estigmas. Su aspecto es de pelos coloreados que sobresalen en forma de cabellera por el extremo de la mazorca
- El polen llega a los estilos fecundándolos

**LA FECUNDACIÓN**  
Se produce en el estadio R1. Los anteros de la gameta liberan polen durante el día, aproximadamente, coincidiendo con la aparición de los estilos femeninos.

	Días							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Liberación de polen	■	■	■	■	■	■	■	■
Aparición de estilos y estigmas		■	■	■	■	■	■	■

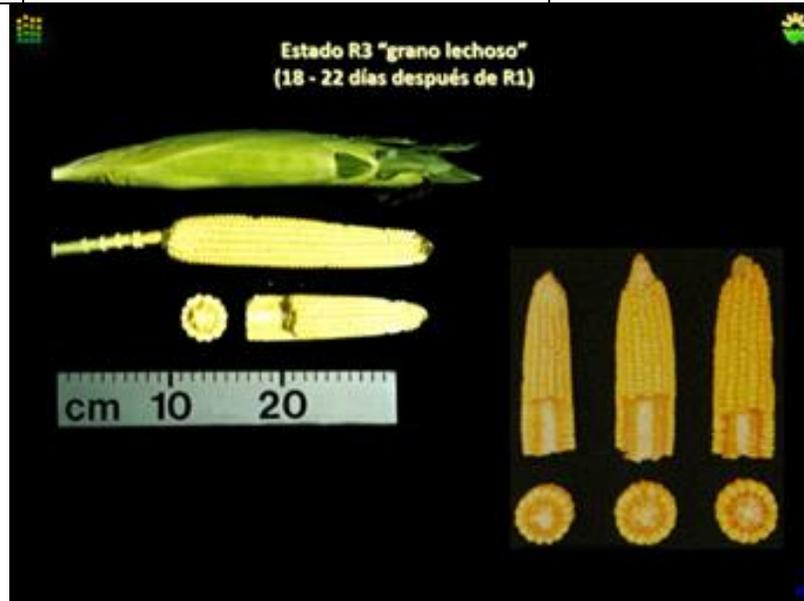
Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R2	Etapa de ampolla. (10-12 d después de fertilización)	<p>El endospermo está lleno de líquido claro y el grano parece una ampolla.</p> <p>Se puede observar el embrión. Este tiene 101 meristemos apicales y la primera hoja formada.</p> <p>Estigmas se oscurecen y degeneran.</p> <p>Comienza fase lineal de acumulación en grano.</p>	<p>El almidón comienza a acumularse en los granos.</p> <p>Redistribución del N y P hacia el grano ocurre de otras partes de la planta.</p> <p>Senescencia de hojas inferiores.</p> <p>Grano con 85% humedad.</p>



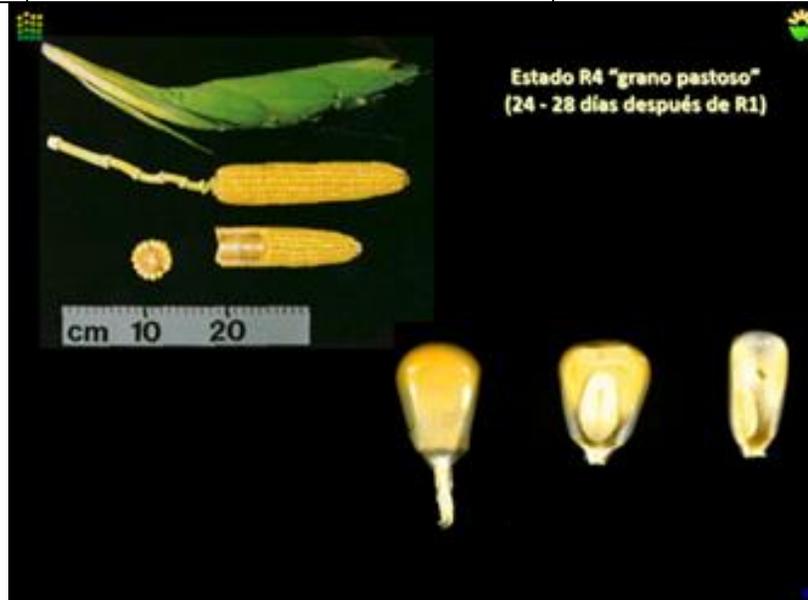
Continúa...

Estadío	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R3	Etapa de leche. (18-22 d después de fertilización)	Líquido claro lechoso en endospermo Concentración alta de azúcares. El embrión comienza a crecer rápidamente y termina la división celular. Estigmas muertos.	Comienza la fase lineal de llenado de grano con tasa cerca de 5-6 mg por día. Grano con 80% humedad.



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R4	Etapa de masa. (24-28 d después de fertilización)	<p>Grano se llena con sustancia blanca pastosa.</p> <p>Embrión tiene 4 hojas y ha crecido mucho de R3.</p> <p>Acumulación de almidón en endospermo</p> <p>Almidón seco o endurecido se deposita de la corona hacia la base del grano formando la línea de leche.</p> <p>Desarrollo de la línea de leche indicador del estadio fenológico.</p>	<p>Removilización de nutrientes de la planta hacia los granos.</p> <p>Senescencia rápida de las hojas.</p> <p>Número final de granos determinado.</p> <p>Grano con 70% humedad.</p>



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R5	Etapa de dentado. (35-42 d después de fertilización)	La parte superior del grano se llena con almidón seco	Removilización de nutrientes de la planta hacia los granos. Senescencia más rápida de las hojas. Grano con 50-60% humedad



Continúa...

Estadio	Descripción	Eventos Fisiológicos	Manejo agronómico
R6	Madurez fisiológica. (55-65 d después de fertilización)	Los granos alcanzan su peso máximo. La línea de almidón seco ha avanzado hasta la base formando la capa negra y esta es visible. La planta se auto-destruye.	Final del cultivo Grano con 30-35% humedad. Perdida adicional de humedad depende de clima.



**Nota:** no todas las plantas de un campo llegan al mismo tiempo a un estado. Por esta razón, se dice que el cultivo ha llegado a la etapa Vn ó Rn cuando al menos el 50% de las plantas están en esa etapa.

## ANEXO C. Descriptores del material genético.

**Cuadro C1.** Descriptores de las cruzas simples hembra

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13		
1	12 (S)	Primera hoja.	Coloración de la vaina por antocianinas.	débil	3 ( )	50%		
				media	5 ( )	50%		
2	14	Primera hoja.	Longitud (cm).	corta	2.6-3.0	3 ( )	0%	10%
				mediana	3.6-4.0	5 ( )	42%	58%
				larga	4.6-5.0	7 ( )	58%	28%
				muy larga	> 5.5	9 ( )	0%	4%
3	14	Primera hoja.	Ancho (cm).	estrecha	0.6-0.9	2 ( )	24%	48%
				mediana	1.0-1.3	3 ( )	66%	46%
				ancha	1.4-1.7	4 ( )	10%	6%
4	14	Primera hoja.	Relación largo / ancho.	pequeña	1.5-3.0	3 ( )	36%	42%
				mediana	3.1-4.5	5 ( )	64%	58%
5 (+)	14	Primera hoja.	Forma de la punta.	redonda		3 ( )	4%	2%
				redonda a espatulada		4 ( )	48%	60%
				espatulada		5 ( )	48%	38%
6 (+)	61	Hoja	Ángulo entre la hoja y el tallo (en la hoja justo arriba de la mazorca superior).	pequeño	$\pm 25^\circ$	3 ( )	100%	100%
7 (+)	61	Hoja	Forma característica de la hoja (en la hoja justo arriba de la mazorca superior).	rectilínea		1 ( )	0%	20%
				ligeramente curvada		3 ( )	64%	32%
				curvada		5 ( )	36%	48%
8	61	Hoja	Ángulo de inserción de las hojas por arriba de la mazorca principal (ángulo formado entre la nervadura central y el eje del tallo).	erecta	$\leq 30^\circ$	1 ( )	72%	84%
				semierecta	31-60°	2 ( )	28%	16%
9	61	Hoja	Ángulo de inserción de las hojas abajo de la mazorca principal (igual que en el descriptor número 8)	semierecta	31-60°	2 ( )	0%	100%
10	61	Hoja	Ondulación del margen laminar (en la hoja de la mazorca principal).	ausente		1 ( )	0%	4%
				ligeramente ondulado		2 ( )	90%	92%
				fuertemente ondulado		3 ( )	10%	4%
				siempre presentes		3 ( )	100%	100%
11	65	Hoja	Arrugas longitudinales en la hoja de la mazorca principal.	siempre presentes		3 ( )	100%	100%

Continúa...

Cuadro C1. Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13
12	65	Hoja	Color de la lámina en la hoja de la mazorca principal.	verde oscuro	3 ( )	100% 100%
13	65-71	Hoja	Coloración de la vaina en la hoja de la mazorca principal.	verde	2 ( )	42%
				rojiza	4 ( )	58% 84%
14	65-71	Hoja	Coloración de la vaina (en las tres primeras hojas de la base del tallo).	verde claro	1 ( )	50%
				verde	2 ( )	34% 42%
				rojiza	4 ( )	16% 8%
15	65-71	Hoja	Coloración de la aurícula en la hoja de la mazorca principal.	verde claro	2 ( )	80%
				verde	3 ( )	20% 26%
16	65-71	Hoja	Pubescencia sobre el margen de la vaina de la hoja de la mazorca principal.	ausente	1 ( )	0%
				escasa	3 ( )	26% 38%
				intermedia	5 ( )	74% 2%
17	65	Tallo	Grado de zigzag. Desarrollo longitudinal en zigzag.	ausente o muy ligero	1 ( )	46%
				ligero	2 ( )	64% 94%
18	65	Tallo	Número de macollos por planta (ahijamiento).	ausentes	1 ( )	100% 100%
19	65-71	Tallo	Coloración de nudos.	ausente	1 ( )	34%
				tenue	3 ( )	62% 38%
				intermedia	5 ( )	4% 0%
20	65-75 (S)	Tallo	Coloración de antocianinas en raíces adventicias.	intermedia	5 ( )	34%
				fuerte	7 ( )	64% 76%
				muy fuerte	9 ( )	2% 18%
21	65-75	Tallo	Longitud media de entrenudos superiores (cm)	larga (14.1-18.0)	7 ( )	80%
				muy larga (>18.0)	9 ( )	20% 8%
22	65-75	Tallo	Longitud media de entrenudos inferiores (cm).	larga (11.1-15.0)	7 ( )	2%
				muy larga (> 15.0)	9 ( )	98% 100%
23	65-71	Tallo	Diámetro medio (en la parte media del entrenudo de la mazorca principal –mm–).	pequeño (10.1-15.0)	2 ( )	0%
				medio (15.1-20.0)	3 ( )	84%
				grande (20.1-25.0)	4 ( )	14% 2%
				muy grande (> 25.0)	5 ( )	2% 0%

Continúa...

Cuadro C1. Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13	
24	65- 71	Espiga	Cubrimiento de panoja por hoja	ausente	1 ( )	38%	68%
			bandera, cuando el 50% de plantas	poca (+- 25%)	3 ( )	24%	32%
			se encuentren en floración	media (+- 50%)	5 ( )	24%	0%
			masculina.	mucha (> 75%)	7 ( )	14%	0%
25	65	Espiga	Floración masculina (cuando el 50% de las plantas se encuentren liberando polen en el tercio medio del eje principal de la espiga). Indicar la nota correspondiente a los días a floración media en la zona principal de adaptación. VA = Valles Altos	73-79	3 ( )	98%	66%
			80-86	4 ( )	2%	34%	
26	65	Espiga	Coloración de las antocianinas en la base de las glumas (en el tercio medio del eje principal).	débil	3 ( )	16%	0%
(*)	(S)			media	5 ( )	42%	36%
(+)				fuerte	7 ( )	42%	64%
27	65	Espiga	Coloración de las antocianinas en las glumas, excluyendo la base (en el tercio medio del eje principal).	débil	3 ( )	18%	6%
				media	5 ( )	46%	28%
				fuerte	7 ( )	30%	62%
				muy fuerte	9 ( )	6%	4%
28	65	Espiga	Coloración de antocianinas de las anteras (en anteras frescas del tercio medio del eje principal).	ausente o muy débil	1 ( )	28%	38%
				débil	3 ( )	64%	56%
				medio	5 ( )	8%	6%
29	65	Espiga	Densidad de espiguillas (en el tercio medio del eje principal).	laxo	3 ( )	30%	4%
				medio	5 ( )	50%	40%
				denso	7 ( )	20%	56%
30	65	Espiga	Forma. Definida por el ángulo formado entre el eje principal y las ramas laterales (en el tercio inferior de la espiga).	compacta ( $\pm 25^\circ$ )	3 ( )	76%	90%
				semiabierta ( $\pm 50^\circ$ )	5 ( )	24%	10%
31	65	Espiga	Posición de ramas laterales (en el tercio inferior de la espiga).	rectilíneas	1 ( )	8%	12%
				ligeramente curvadas	3 ( )	86%	88%
				medianamente curvadas	5 ( )	6%	0%
				(*)	(S)	(+)	

Continúa...

Cuadro C1. Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13
32 (*)	65	Espiga	Número de ramas laterales primarias.	muy alto (> 12)	6 ( )	100% 100%
33	65	Espiga	Ramas secundarias.	ausentes presentes	1 ( ) 9 ( )	0% 2% 100% 98%
34	65	Jilote	Floración femenina (cuando el 50% de las plantas muestre estigmas de más de 1 cm de longitud). Indicar la nota correspondiente a los días a floración media en la zona principal de adaptación. VA = Valles Altos	73-79 80-86	3 ( ) 4 ( )	22% 6% 78% 94%
35 (*)	65 (S)	Jilote	Coloración de antocianinas en los estigmas.	presente	9 ( )	100% 100%
36 (*)	65 (S)	Jilote	Intensidad de coloración por antocianinas (en los estigmas del jilote principal).	débil media fuerte	3 ( ) 5 ( ) 7 ( )	84% 12% 16% 46% 0% 42%
37	65	Jilote	Coloración en la base de los estigmas del jilote principal.	rosa	3 ( )	100% 100%
38	65	Jilote	Desarrollo de filodios (grado de abundancia y/o desarrollo).	ausente o muy poco	1 ( )	100% 100%
39	65	Hoja	Coloración de antocianinas en la vaina (en la parte media de la planta).	débil media	3 ( ) 5 ( )	58% 70% 42% 30%
40	65	Espiga	Longitud de la panoja (medida del nacimiento de la rama más baja al ápice de la panoja –cm–).	mediana (27.1-35.0) larga (35.1-43.0)	5 ( ) 7 ( )	0% 16% 48% 84%
41 (*)	65	Espiga	Longitud del eje principal por encima de la rama lateral más alta (cm).	media (16.1-22.0) larga (22.1-28.0) muy larga (> 28.0)	5 ( ) 7 ( ) 9 ( )	0% 12% 64% 88% 36% 0%
42	65	Espiga	Longitud del pedúnculo. Es la longitud existente entre en nudo de la hoja bandera y la rama lateral más baja de la espiga (cm).	Media (12.1–20.0) Larga (20.1–28.0) Muy larga (>28.0)	5 ( ) 7 ( ) 9 ( )	14% 48% 86% 48% 0% 4%

Continúa...

Cuadro C1. Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13	
43	71	Espiga	Longitud de ramas laterales (cm).	corta (10.1-15.0)	3 ( )	0%	6%
				media (15.1-20.0)	5 ( )	0%	52%
				larga (20.1-25.0)	7 ( )	64%	42%
				muy larga (>25.0)	9 ( )	36%	0%
44.1 (*)	75	Planta	Solamente en líneas: Longitud (incluyendo espiga –cm–).				
44.2 (*)	75	Planta	Solamente híbridos y variedades de polinización libre: Longitud (incluyendo espiga –cm–).	alta (221-300)	7 ( )	84%	94%
				muy alta (> 300)	9 ( )	16%	6%
45	75	Planta	Relación entre la altura del punto de inserción de la mazorca principal y la altura de la planta.	pequeña (0.26-0.45)	3 ( )	56%	14%
				media(0.46-0.65)	5 ( )	44%	86%
46	85	Planta	Altura de la mazorca desde la superficie del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca principal (cm).	media (101-120)	5 ( )	30%	0%
				alta (121-160)	7 ( )	70%	100%
47	75	Hoja	Ancho de lámina (en la hoja de la mazorca principal –cm–).	estrecha 5.1-8.0	3 ( )	40%	68%
				mediana 8.1-11.0	5 ( )	60%	32%
48	92	Planta	Número de mazorcas por planta, expresado como porcentaje (número de mazorcas entre número de tallos principales por 100).	0- 20%	1 ( )	100%	100%
49	92	Mazorca	Longitud del pedúnculo de la mazorca principal. Distancia comprendida desde el nudo de inserción en el tallo, hasta la base de la mazorca (cm).	muy corto (< 5.0)	1 ( )	0%	2%
				corto (5.1 - 14.0)	3 ( )	100%	98%
50 (*)	92	Mazorca	Longitud de la base al ápice (en la mazorca principal, sin brácteas o totomoxtle –cm–).	media (15.1-20.0)	5 ( )	76%	92%
				larga (20.1-25.0)	7 ( )	24%	8%
51	92	Mazorca	Diámetro (en la parte central de la mazorca principal –cm–).	muy grande (> 7.0)	9 ( )	100%	100%
52	92	Mazorca	Forma de la mazorca principal.	cónica-cilíndrica	2 ( )	90%	78%
				cilíndrica	3 ( )	10%	22%

Continúa...

Cuadro C1. Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13	
53	92	Mazorca	Número de hileras en la mazorca principal.	pocas (12 - 16) media (18 - 22)	3 ( ) 5 ( )	60% 40%	32% 68%
54	92	Mazorca	Número de granos por hilera (en la mazorca principal).	pocos (21-30) medio (31-40)	3 ( ) 5 ( )	38% 62%	32% 68%
55	93	Mazorca	Disposición de hileras de granos (en la mazorca principal).	recta en espiral	1 ( ) 3 ( )	90% 10%	80% 20%
56	92	Mazorca	Tipo de grano en el tercio central de la mazorca principal.	crystalino semicristalino semidentado (intermedio)	1 ( ) 2 ( ) 3 ( )	0% 95% 5%	24% 76% 0%
(*)	(S)						
57	92	Mazorca	Color del grano en la mazorca principal (aparición externa, sin desgranar).	amarillo amarillo obscuro	4 ( ) 5 ( )	20% 80%	0% 100%
(*)	(S)						
58	92	Mazorca	Color dorsal del grano (en la mazorca principal).	amarillo amarillo oscuro	4 ( ) 5 ( )	20% 80%	0% 100%
(*)	(S)						
59	92	Mazorca	Color del endospermo (en la mazorca principal).	amarillo	2 ( )	100%	100%
60	92	Mazorca	Forma de la corona (en la mazorca principal).	convexa hendida	1 ( ) 2 ( )	92% 8%	100% 0%
61	93	Mazorca	Coloración de las glumas por antocianinas (en el olote de la mazorca principal).	ausente (blanco)	1 ( )	100%	100%
(*)							
62	93	Mazorca	Intensidad del color de las glumas por antocianinas (en el olote de la mazorca principal).	ausente o muy débil	1 ( )	100%	100%
63		Tipo de androsterilidad		ninguna	5 ( )	100%	100%
64		Carácter braquítico		ausente	1 ( )	100%	100%
65		Área de adaptación principal.		valles altos (2151-2500 msnm)	6 ( )	100%	100%
(*)							
66		Área de adaptación secundaria.					

Continúa...

**Cuadro C1.** Continuación...

Núm	Estado	Características	Nivel	Nota	V8/V9 //V13	V7/V9 //V13
67		Estación de crecimiento principal.	primavera – verano	3 ( )	100%	100%
68		Estación de crecimiento secundaria.				
69		Régimen hídrico recomendado para su cultivo.	riego total  temporal	1 ( )  4 ( )	5%  95%	5%  95%