



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN

"TOLERANCIA A HERBICIDAS Y SU EFECTO EN EL VIGOR  
DE GENOTIPOS DE MAIZ DE CALIDAD PROTEINICA (QPM)"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA AGRICOLA**

**P R E S E N T A :**

**VAZQUEZ MARIANO FLOR DE LIZ**

ASESORA: M.C. MARGARITA TADEO ROBLEDO



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



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

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

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

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

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

"Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)"

que presenta la pasante: Flor de Liz Vazquez Mariano  
con número de cuenta: 9854083-9 para obtener el título de:  
Ingeniera Agrícola

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

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 26 de Febrero de 2004

PRESIDENTE

Ing. Miguel Angel Bayardo Parra

VOCAL

M.C. María Magdalena Ofelia Grajales Muñiz

SECRETARIO

M.C. Margarita Tadeo Robledo

PRIMER SUPLENTE

Ing. Hilda Carina Gómez Villar

SEGUNDO SUPLENTE Dr. Alejandro Espinosa Calderón

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Calixto (q.p.d.) y Narcisa, por darme la vida, gracias por creer en mí, por ser un ejemplo a seguir y por demostrarme que la superación logra cualquier meta.

A Delfino por estar conmigo y por su apoyo incondicional en este trabajo.

A Ivanna Nichte, mi princesa, por ser la motivación más importante en mi vida.

A mis hermanos: Lidia, Cali, Fernando, Irma, Lourdes, Roberto, Ismael y Bernardo por compartir la vida a lado de mis padres.

A Alfredo (q.p.d.), por estar conmigo desde cualquier lugar del cielo.

A los profesores de esta institución que con su esfuerzo y dedicación lograron que esta semilla germinara.

A los compañeros de generación, con quienes compartí momentos buenos y malos durante la carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por ser un semillero de conciencias y fuente de la investigación científica que el país requiere.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por compartir sus instalaciones conmigo y permitirme adquirir gran parte de conocimientos esenciales en mi formación académica, así como encontrar en ella amistad y respeto.

A Probetel por la beca otorgada para que esta tesis llegara a buen término.

A CIMMYT por proporcionar los materiales genéticos utilizados en este trabajo.

A la M. C. Margarita Tadeo por dirigir y orientar esta investigación, por su apoyo incondicional, pero sobre todo por su apreciable amistad; no la defraudaré.

De forma muy especial al Dr. Alejandro Espinosa Calderón por sus valiosos comentarios en el análisis de resultados de este trabajo.

A la maestra Celia Valencia por su apoyo para que se me otorgara la beca.

A Rafael, Gustavo y Raúl por su ayuda en los trabajos realizados durante la fase experimental y en especial por su amistad incondicional.

A los integrantes del jurado: M. C. Ofelia Grajales Muñoz, Ing. Hilda Carina Gómez Villar y Ing. Miguel Bayardo Parra por sus comentarios acertados en la elaboración de esta tesis.

A Blanquita, por su ayuda en el llenado a máquina de los formatos necesarios.

## INDICE

INDICE DE CUADROS	iii
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Maíces de Calidad Proteínica (QPM)	4
2.2 Germinación	7
2.2.1 Etapas de la germinación	8
2.2.2 Porcentaje de germinación	10
2.2.3 Pruebas de germinación	10
2.3 Vigor de semillas	11
2.3.1 Definición del vigor	11
2.3.2 Factores que determinan el vigor de las semillas	11
2.3.3 Importancia del vigor de la semilla	12
2.4 Pruebas de vigor	13
2.4.1 Prueba de frío ( <i>cold test</i> )	14
2.4.2 Prueba de Cloruro de amonio	15
2.4.3 Prueba de Hidróxido de sodio	15
2.4.4 Prueba de la tasa de crecimiento de plántulas	15
2.4.5 Prueba de velocidad de emergencia	15
2.4.6 Prueba de envejecimiento acelerado	16
2.4.7 Prueba de ladrillo molido	16
2.4.8 Prueba de vigor con tetrazolio	16
2.4.9 Prueba de la tasa de respiración	17
2.4.10 Prueba de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (GADA)	17
2.4.11 Prueba de conductividad eléctrica	17
2.5 Importancia de las malezas en el cultivo del maíz	17

2.6	Herbicidas hormonales	18
2.6.1	2,4-D amina	20
2.6.2	Mecanismo de acción del herbicida 2,4-D amina	21
2.6.2.1	Sintomatología	21
2.7	Efectos de los herbicidas sobre las funciones de la planta	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS		27
3.1	Localización	27
3.2	Material genético	27
3.3	Diseño experimental	28
3.4	Establecimiento de la cama de siembra	28
3.5	Manejo agronómico	29
3.5.1	Siembra	29
3.5.2	Riegos	29
3.5.3	Aplicación del herbicida	29
3.6	Cosecha	29
3.7	Variables evaluadas para definir el vigor de los genotipos	30
3.7.1	Plántulas emergidas diariamente	30
3.7.2	Velocidad de emergencia	30
3.7.3	Longitud de raíz y plúmula	30
3.7.4	Peso fresco de raíz y plúmula	30
3.7.5	Peso seco de raíz y plúmula	30
3.7.8	Efecto de toxicidad	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		32
4.1	Análisis de Varianza	32
4.2	Prueba de comparación de medias	35
4.3	Prueba de germinación	39
V. CONCLUSIONES		41
VI. BIBLIOGRAFIA		42

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Líneas e híbridos de maíz de calidad proteínica (QPM), evaluados bajo tratamiento de herbicida. FESC, UNAM. 2003.	28
Cuadro 2. Escala de calificación de daño ocasionado por herbicida para la evaluación genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM). FESC, UNAM. 2003.	31
Cuadro 3. Cuadros medios y significancia estadística obtenidos en los análisis de varianza de cada una de las variables involucradas en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".	33
Cuadro 4. Cuadros medios obtenidos en los análisis de varianza de las variables herbicida y genotipo por herbicida involucradas en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".	34
Cuadro 5. Comparación de genotipos bajo tratamiento medio de herbicida y sin herbicida, para las variables peso seco de radícula y peso seco de plúmula en el estudio "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".	36
Cuadro 6. Comparación genotipos bajo tratamiento medio de herbicida y sin herbicida para las variables velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula y daño en el estudio "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".	37

Cuadro 7.	38
Comparación de tratamiento de herbicida (con y sin aplicación) bajo la media de ocho genotipos, para las variables peso fresco de radícula, peso fresco de plúmula, peso seco de radícula y peso seco de plúmula. FESC, UNAM. 2003.	
Cuadro 8.	39
Comparación de tratamiento de herbicida (con y sin aplicación) bajo la media de ocho genotipos, para las variables velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula y daño. FESC, UNAM. 2003.	
Cuadro 9.	39
Porcentaje de germinación para los genotipos usados en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".	

## RESUMEN

En la FESC, UNAM en 2003, para determinar las diferencias en tolerancia a 2,4-D en su forma amina de híbridos y líneas de maíz de calidad proteínica QPM, así como su efecto en el vigor, se evaluaron ocho genotipos, incluyéndose siete QPM y un híbrido de calidad normal (testigo). El experimento se llevó a cabo bajo condiciones de invernadero. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial, analizándose líneas: CML145, CML144, CML156, CML150, híbridos: (CML156 x CML145) x CML150, (CML145 x CML144) x CML150 y CML144 x CML145, así como el testigo normal H-50, los cuales fueron sometidos a la aplicación de herbicida (hierbamina), así como a la ausencia de aplicación.

Las variables evaluadas para determinar el vigor de los genotipos fueron: Peso seco de radícula, peso seco de plúmula, peso fresco de radícula, peso fresco de plúmula, velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula, así como daño por aplicación de herbicida.

De acuerdo con los resultados obtenidos y la discusión de los mismos se formularon las siguientes conclusiones:

1. Con respecto a la respuesta a la aplicación de herbicida los genotipos presentaron poco daño, expresando cierta tolerancia, siendo la línea CML156 quien presentó menor daño y la cruce CML144 x CML145 la que tuvo mayor daño. El testigo no mostró daño a la aplicación del herbicida, lo cual es interesante si se considera que se utilizó una sobredosis de hierbamina (5 l/ha).

2. En cuanto a la velocidad de emergencia el testigo (H-50) de calidad normal fue superior con respecto a las líneas e híbridos (cruzas simples y

trilineales) de calidad proteínica QPM, siendo la línea CML145 la que presenta menor velocidad de emergencia.

3. La mayor acumulación de materia seca se dio en el testigo H-50 con 0.502gr y en la cruce (CML156 x CML145) CML150 con 0.464gr, seguidos de la cruce (CML145 x CML144) CML150 con 0.372gr.

4. Con respecto a la longitud de plúmula se presentó una diferencia significativa entre el H-50 y la línea CML145, siendo el testigo quien supero a todas las cruza y las líneas de estudio.

5. Considerando el porcentaje de germinación, la velocidad de emergencia y la acumulación de materia seca el H-50 se considera como el más vigoroso de los genotipos, seguido por las cruza (CML156 x CML145) CML150 y (CML156 x CML145) CML150.

6. El porcentaje de germinación para el testigo (H-50) de calidad normal y la línea de calidad proteínica (QPM), denominada CML 145 estuvieron por debajo del 85% , mientras que los genotipos que si sobrepasaron la norma se encuentran las líneas CML150 y CML 144.

## I. INTRODUCCIÓN

El maíz es el cultivo más importante en México, cada año se siembran 8.5 millones de hectáreas, su producción representa el 60% con respecto a la producción total de granos. Cada mexicano consume 330 gramos cada día, la tortilla aporta 59% de la energía es decir 1363 k calorías y 39% de la proteína que son 29 gramos, sin embargo la proteína de maíz es deficiente en la proporción de lisina y triptofano, aminoácidos esenciales, para el ser humano y para los animales, en ausencia o limitación de estos elementos, no es posible completar las funciones metabólicas, tampoco el crecimiento y desarrollo (Espinosa *et al.*, 2001).

Como alternativa al problema de desnutrición y baja producción de maíz, el maíz de calidad proteínica, representa una posibilidad real para avanzar hacia mejores escenarios, este maíz tuvo su origen en el llamado Opaco 2. Los maíces desarrollados a partir del tipo Opaco 2, poseían la misma cantidad total de proteínas, pero contenían el doble de los aminoácidos esenciales. Estos maíces al ser de textura harinosa, su peso de grano y rendimiento en campo fue muy bajo, además de ser fácilmente atacados por las plagas.

Los trabajos del Dr. Surinder Vasal con la colaboración de la Dra. Evangelina Villegas, permitieron desarrollar un nuevo tipo de maíces, con la calidad proteínica, eliminando las desventajas iniciales del maíz opaco 2. Estos maíces ahora se conocen mundialmente, como Maíz de Calidad Proteínica (QPM), con las líneas progenitoras, disponibles, se formaron gran cantidad de híbridos y variedades de maíz QPM. El CIMMYT ha promovido estos tipos de maíces en distintos países: Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras, Brasil, China, India, Sudáfrica, Ghana, Zimbabwe, etc.

Los maíces QPM duplican la cantidad de aminoácidos del tipo lisina y triptofano, además son 73.5 por ciento más digeribles que los del grano común. Estos porcentajes

hacen que su proteína tenga una calidad 90 por ciento similar a la que aporta la leche. En el organismo los aminoácidos contribuyen a crear proteínas, que el cuerpo usa para regenerar sus células y son indispensables para el crecimiento infantil.

Si bien se ha avanzado en las características favorables de los maíces QPM, estos han presentado ciertas desventajas en cuanto a vigor y en vida de anaquel o almacenamiento, en comparación con los maíces comunes, aun cuando lo anterior no ha sido confirmado en trabajos convencionales, se considera que algunos materiales QPM podrían ser poco vigorosos, perdiendo con rapidez su viabilidad para el establecimiento en campo. Un aspecto que ha llamado la atención es la necesidad de confirmar que las líneas de maíz QPM, sean fácilmente manejadas ante la aplicación de herbicidas hormonales tales como 2,4-D en su forma amina y ester, ya que estos se usan para el control de malezas post- emergentes, con lo cual se afecta la traslocación de nutrientes de semilla a plántula.

Es necesario complementar información que permita el aprovechamiento óptimo de los maíces de calidad proteínica (QPM) disponibles, en este sentido se ha detectado que una de las líneas podría ser sensible ante la aplicación de ciertos herbicidas, por lo cual es conveniente evaluar a este genotipo así como al híbrido donde participa esta línea (CML145).

Los daños ocasionados por herbicidas en la planta repercuten principalmente en el tiempo de desarrollo, así como en el vigor de las semillas, y su recuperación dificulta la sincronía de la polinización, en el caso de emplearse como progenitores para producir semilla u obtener nuevas líneas o variedades.

La calidad de las semillas está determinada por la germinación y el establecimiento de plántulas en el campo, pero, éstas dependen en gran medida del vigor de las semillas, por lo cual es de interés su investigación. El vigor está definido como la suma total de aquellas propiedades que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la

semilla o lote de semillas durante su germinación y emergencia de plántula. (ISTA, 1997).

Por la importancia que tiene el control de malezas en el manejo del cultivo de maíz, es necesario determinar la tolerancia a herbicidas hormonales de diferentes genotipos, con énfasis en la etapa de plántula, considerando el vigor de la misma.

### **1. 1. OBJETIVOS:**

1. Determinar diferencias en tolerancia a 2,4,D en su forma Amina, de híbridos y líneas endogámicas de maíz de calidad proteínica (QPM), en comparación con híbridos de maíz de calidad normal.
2. Definir el efecto del herbicida 2,4,D –Amina sobre el vigor de híbridos y líneas endogámicas de maíz de calidad proteínica (QPM), en comparación con híbridos de maíz de calidad normal.

### **1. 2. HIPÓTESIS**

1. La tolerancia ante la aplicación de 2,4-D en su forma amina es diferencial dependiendo de híbridos y líneas endogámicas de maíz de calidad proteínica (QPM) e híbridos de maíz de calidad normal a los que se les de tratamiento.
2. La aplicación del herbicida 2,4-D Amina afecta en forma diferente el vigor de híbridos y líneas endogámicas de maíz de calidad proteínica (QPM) e híbridos de maíz de calidad normal.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Maíces de Calidad Proteínica (QPM).

El maíz es el cultivo más importante en México, cada año se siembran 8.5 millones de hectáreas, su producción representa el 60% con respecto a la producción total de granos, es fundamental para los mexicanos, en la alimentación ya que se consumen 120 kilogramos por persona por año. Cada mexicano consume 330 gramos cada día, la tortilla aporta 59% de la energía es decir 1363 k calorías y 39% de la proteína que son 29 gramos, sin embargo la proteína de maíz es deficiente en la proporción de lisina y triptofano, aminoácidos esenciales, para el ser humano y para los animales, en ausencia o limitación de estos elementos, no es posible completar las funciones metabólicas, tampoco el crecimiento y desarrollo. Lo anterior explica en parte que en México haya 31 millones de personas con desnutrición, la distribución geográfica de la desnutrición esta relacionada, con las serranías y la ubicación de los 10 millones de indígenas, así como los núcleos de población de escasos ingresos en las ciudades (Espinosa *et al.*, 2001).

Como alternativa al problema de desnutrición y baja producción de maíz, el maíz de calidad proteínica, representa una posibilidad real para avanzar hacia mejores escenarios, este maíz tuvo su origen en el llamado Opaco 2: producto de un mutante descubierto en 1963, en la Universidad de Purdue, Estados Unidos de América, por Mertz, Bates y Nelson (1964), Mertz *et al* (1965), en un maíz procedente de Perú. Los maíces desarrollados a partir del tipo Opaco 2, poseían la misma cantidad total de proteínas, pero contenían el doble de los aminoácidos esenciales. Estos maíces al ser de textura harinosa, su peso de grano y rendimiento en campo fue muy bajo, además de ser fácilmente atacados por las plagas. Las desventajas propiciaron que en todos los países, en 1975, se abandonaran las investigaciones con Opaco 2, los trabajos del Dr. Surinder Vasal con la colaboración de la Dra. Evangelina Villegas, permitieron desarrollar un nuevo tipo de maíces, con la calidad proteínica, eliminando las desventajas iniciales

del maíz opaco 2. Estos maíces ahora se conocen mundialmente, como Maíz de Calidad Proteínica (QPM), con las líneas progenitoras, disponibles, se formaron gran cantidad de híbridos y variedades de maíz QPM. El CIMMYT ha promovido estos tipos de maíces en distintos países: Guatemala, El Salvador, Nicaragua, Honduras, Brasil, China, India, Sudáfrica, Ghana, Zimbabwe, etc., para México el INIFAP, definió un grupo de variedades e híbridos, los cuales fueron intensivamente evaluados en todo el país, de estos materiales se definieron los mejores, de los cuales se ha producido semilla, así como realizado con base en ellos distintos trabajos de investigación, para apoyar de manera paralela su uso y difusión masiva, en este esfuerzo el Dr. Hugo Córdova y sus colaboradores han tenido un papel muy relevante (Ortega, *et al.*, 2001).

Con base en los trabajos que desarrolla el INIFAP, se estima que en México sería factible la utilización a corto plazo de los maíces de calidad proteínica, en superficies cercanas a las 300 mil hectáreas y paulatinamente elevar el uso de este tipo de maíces. Sin embargo para ello se requiere integrar esfuerzos entre organismos e instituciones para organizar eficientemente la operación de programas de producción de semillas, evaluación de los híbridos actuales y nuevos materiales, promoción y validación, estudios de estos maíces como forraje, etc., que permita obtener los resultados deseados (Espinosa *et al.*, 2001).

En forma paralela es necesario complementar información que permita el aprovechamiento óptimo de los maíces de calidad proteínica (QPM) disponibles, en este sentido se ha detectado que una de las líneas podría ser sensible ante la aplicación de ciertos herbicidas, por lo cual es conveniente evaluar a este genotipo así como al híbrido donde participa esta línea (CML145).

El maíz común contiene un total de 10 por ciento de proteínas, compuesto a su vez por una quinta parte de aminoácidos (lisina y triptofano) que son útiles al organismo; el restante son cuatro tipos de proteína zeína, sin utilidad para el cuerpo. El

logro de los investigadores del CIMMYT consiste en bloquear uno de los cuatro tipos de zeína para ser ocupada por proteínas útiles.

El resultado del bloqueo, es que los maíces QPM duplican la cantidad de aminoácidos del tipo lisina y triptofano, además son 73.5 por ciento más digeribles que los del grano común. Estos porcentajes hacen que su proteína tenga una calidad 90 por ciento similar a la que aporta la leche. En el organismo los aminoácidos contribuyen a crear proteínas, que el cuerpo usa para regenerar sus células y son indispensables para el crecimiento infantil.

Aparte de evaluar las distintas variedades, en los centros de investigación nacionales como INIFAP e internacionales como CIMMYT, se continúan trabajos para obtener nuevas cruces y así cubrir las regiones maiceras de México y otros países con los maíces de calidad proteínica (QPM). En forma usual se utilizan diversos esquemas de mejoramiento, obteniendo líneas y nuevas combinaciones, es decir híbridos y variedades.

Si bien se ha avanzado en las características favorables de los maíces QPM, estos han presentado ciertas desventajas en cuanto a vigor y en vida de anaquel o almacenamiento, en comparación con los maíces comunes, aun cuando lo anterior no ha sido confirmado en trabajos convencionales, se considera que algunos materiales QPM podrían ser poco vigorosos, perdiendo con rapidez su viabilidad para el establecimiento en campo. Un aspecto que ha llamado la atención es la necesidad de confirmar que las líneas de maíz QPM, sean fácilmente manejadas ante la aplicación de herbicidas hormonales tales como 2,4-D en su forma amina y ester, ya que estos se usan para el control de malezas post- emergentes, con lo cual se afecta la traslocación de nutrientes de semilla a plántula.

Los daños ocasionados por herbicidas en la planta repercuten principalmente en el tiempo de desarrollo, así como en el vigor de las semillas, y su recuperación dificulta la

sincronía de la polinización, en el caso de emplearse como progenitores para producir semilla u obtener nuevas líneas o variedades.

## **2.2 Germinación**

Se define a la germinación como la emergencia y desarrollo de aquellas estructuras esenciales que provienen del embrión, y que manifiestan la capacidad de la semilla para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Moreno, 1996).

Camacho (1994) considera que la germinación es el proceso mediante el que un embrión adquiere el metabolismo necesario para reiniciar el crecimiento y transcribir las porciones del programa genético que lo convertirá en una planta adulta.

La germinación es un proceso de cambio: el cambio de una estructura inactiva viviendo de abastecimiento mínimo, a una planta que crece activamente, destinada a llegar a la autosuficiencia antes que los materiales de reserva de la semilla se terminen (Duffus, 1985).

De acuerdo con Hartmann y Kester (1980), para que la germinación se realice se necesita que la semilla sea viable, se tenga temperatura, humedad y aireación adecuadas y se eliminen los bloqueos fisiológicos presentes en la semilla.

Dado los antecedentes acerca del metabolismo fisiológico que comprenden los procesos metabólicos, celulares y fisiológicos –incluyendo los que se accionan durante el crecimiento celular y morfogénesis- es posible formular un concepto más real de la germinación de la semilla:

*La germinación es una etapa del desarrollo de la planta que se caracteriza por un metabolismo fisiológico muy acelerado (Grajales, 2004).*

### 2.2.1 Etapas de la germinación

Para Copeland (1976) los eventos que ocurren en la germinación son los siguientes:

1. Imbibición del agua
2. Activación enzimática
3. Ruptura de la cubierta seminal y emergencia de la plántula
4. Establecimiento de la plántula

Bewley y Black (1994) mencionan que son tres las fases principales por la que pasa el proceso de germinación:

1. Imbibición de la semilla.
2. Inicio del metabolismo activo en el embrión, seguido rápidamente por el crecimiento y diferenciación del embrión, apoyado por la utilización del material de reserva embrionaria inmediata.
3. Crecimiento continuo del embrión, apoyado por el flujo de productos de la hidrólisis de los cotiledones o reserva alimenticia extraembrionaria tal como el endospermo. Esta fase continúa hasta que la planta se establece como un organismo fotosintético o muere por haberse terminado la reserva alimenticia.

La semilla del maíz está formada por el embrión que es una planta en miniatura y está formada por la radícula, plúmula, coleótilo y escutelum: el endospermo que contiene las reservas que alimentan a la planta y el pericarpio que es la capa externa de la semilla, tienen la función de proteger el embrión. El endospermo y el embrión son las estructuras fundamentales de la semilla. El embrión formará la plántula y la planta adulta. Cuando la semilla germina las reservas se van agotando, al agotarse completamente la cubierta de la semilla se desintegra (Reyes, 1990).

Aunque es una simplificación, los fisiólogos vegetales hablan de cuatro estadios: (1) la hidratación o imbibición, durante la cual el agua entra al embrión e hidrata proteínas y otros coloides, (2) la formación o activación de enzimas, que da lugar a un

incremento en la actividad metabólica, (3) el alargamiento de células de la radícula seguida por la protusión radicular de la testa de la semilla ( la germinación propiamente dicha) y (4) el subsecuente crecimiento de la plántula (Salisbury, 1994).

Para mejor comprensión de esta etapa del desarrollo de la planta, se distinguen tres fases en la germinación:

1. Imbibición
2. Reactivación del metabolismo celular
3. Morfogénesis de radícula

### **Imbibición**

Consiste en la entrada de agua a la semilla, gobernada por el gradiente o la diferencia de potenciales hídricos dentro y fuera de ésta. El potencial hídrico externo debe ser mayor al interno y mientras más tiempo permanezca este gradiente de potencial hídrico, mayor sería la velocidad y el porcentaje de imbibición.

El agua en la semilla favorece la organización estructural de las membranas, la activación del fitocromo y la activación de RNA mensajeros preexistentes, así como las hidrolasas tipo zimógeno. El agua continúa su acción para favorecer la permanencia de fitocromos activos que conducen a la liberación de giberelinas del embrión e inducen la producción de nuevas hidrolasas que continúan manteniendo el metabolismo celular activo (Grajales, 2004).

### **Reactivación del metabolismo celular**

Representa la segunda fase de la germinación, ocurre una activación general del metabolismo celular sabiendo que es la suma de todos los procesos metabólicos, los cuales se clasifican en los que comprenden la biosíntesis (anabolismo) y los de la biodegradación (catabolismo). Esta última fase es la que primero se acciona e incluye el catabolismo de las proteínas de reserva, los lípidos de reserva, los almidones y la fitina,

que es una reserva de fósforo y otros minerales; además se lleva a cabo la ruptura de la testa y la entrada de oxígeno a la semilla (Grajales, 2004).

### **Morfogénesis de radícula**

Una vez que el metabolismo celular está siendo activado, el eje embrionario transporta los productos metabólicos (metabolitos) formados a las células meristemáticas del embrión para utilizarlos en la biosíntesis de las macromoléculas, que a su vez servirán a la formación de organelos y reestructuración a fin de que la célula meristemática quede lista para la división celular o mitosis.

Posteriormente, algunas de las nuevas células entran a la fase G<sub>0</sub>, en que se presenta el alargamiento celular y permite un aumento de tamaño, continúa con su desarrollo al entrar al proceso llamado diferenciación celular, en donde ocurre la especialización de las células. Las células especializadas en una misma función se reconocen y se unen para formar tejidos; a su vez estos se organizan y forman la radícula, terminando la etapa de la germinación.

Así, durante la etapa germinativa, en la semilla se efectúan procesos metabólicos, fisiológicos y celulares que componen en conjunto el metabolismo fisiológicos y que durante la germinación se caracterizan por estar muy acelerado (Grajales, 2004).

#### **2.2.2 Porcentaje de germinación**

Es un valor definido en función del número y porcentaje de plántulas normales (con estructuras esenciales que indican capacidad para producir plantas normales en condiciones favorables) Moreno (1996).

#### **2.2.3 Pruebas de germinación**

Es el índice de calidad más conveniente y usado a nivel mundial, el objetivo de definir la germinación es obtener información con respecto al valor de la semilla con propósito agrícola y para comparar el valor de diferentes lotes (Moreno, 1996).

EL porcentaje de germinación frecuentemente no es similar con el porcentaje del establecimiento en campo, lo cual se debe al vigor que se requiere para emerger en campo, a diferencia de la germinación bajo condiciones favorables en la cámara de germinación. (Moreno, 1996).

## **2.3 Vigor de semillas.**

### **2.3.1 Definición del vigor.**

El vigor es una característica de la semilla que relaciona aspectos bioquímicos y factores externos (Ching, 1973), para Thomson (1979), es la capacidad de germinación en porcentaje, establecidas en condiciones favorables de campo, pero por otro lado se manifiesta que el porcentaje de germinación no es una prueba de vigor totalmente confiable (Ramos, 1993).

La definición de la ISTA, (Moreno, 1996). El vigor de la semilla es la suma total de aquellas propiedades de la semilla que determinan el nivel de actividad y comportamiento de la semilla o lote de semillas durante la germinación y emergencia de plántulas. Las semillas que se comportan bien se clasifican como de alto vigor y las que se comportan mal se les denota de bajo vigor.

### **2.3.2 Factores que determinan el vigor de las semillas**

Entre los factores que afectan el vigor se encuentran, la constitución genética, tamaño, peso y gravedad específica de la semilla, integridad física, deterioro e infección por patógenos (Osorio, 1987). Copeland (1976), dice que el vigor puede estar determinado por el desarrollo morfológico normal de la planta, el rendimiento del cultivo y el almacenamiento. Por otra parte dentro de la constitución genética, considera la maduración de la semilla, uniformidad en maduración a la cosecha y tamaño de la semilla como factores importantes; como factores exógenos considera la temperatura ambiental y humedad disponible, fertilidad del suelo, daños mecánicos, densidad de población, edad de la semilla y ataque de microorganismos (Ramos, 1993).

Como factores endógenos se señala a la germinación y al desarrollo, ya que son el resultado del aumento en la actividad de síntesis de proteínas, enzimas y ATP por lo que existe influencia directa del ATP con el tamaño de la semilla (Chig, 1982).

### **2.3.3 Importancia del vigor de la semilla**

El vigor es muy importante en el concepto de rendimiento de campo ya que es un factor definitivo en la calidad (Perry, 1981). El vigor de la semilla, es dentro de los factores de calidad el más importante ya que está estrechamente relacionado con una germinación más rápida y uniforme, así como con las plántulas más vigorosas que subsecuentemente tendrán mayor capacidad competitiva, esperándose que esta característica se refleje en el rendimiento (Delouche y Cadwell, 1962).

Gómez (1993), cita a Milton (1981) considera que la diferencia de vigor en la semilla durante la emergencia, cuando las condiciones ambientales no son las adecuadas, puede traducirse posteriormente en baja capacidad de ahijamiento, menor crecimiento, alteración en el ciclo de cultivo y diferencia en el rendimiento entre lotes; cuando las condiciones son las adecuadas, la diferencia entre lotes se reduce, pero se ha observado que lotes vigorosos presentan germinación más uniformes, mayor capacidad competitiva y posiblemente algún incremento en el rendimiento.

Considerando características como emergencia y establecimiento, el vigor de la semilla es importante para especies de semilla chica, como las gramíneas forrajeras, entre otras, donde la velocidad de emergencia y la mayor capacidad competitiva inicial es fundamental para obtener buenos rendimientos (Perry, 1981).

Villaseñor (1984) considera al vigor como un factor importante dentro del análisis de la calidad de la semilla, siendo factible emplearse como un carácter de selección para mejorar el vigor de plántulas y posiblemente el rendimiento; sin embargo, aún no se conoce claramente cuáles son los factores más importantes involucrados en esta

característica y como mejorarla. Al respecto, Bean (1980) afirma que es posible mejorar el vigor de las plantas mediante selección y cruzamiento.

Tadeo y Espinosa (2002) señalan que la importancia del vigor radica en que permite predecir el comportamiento de un lote de semillas cuando las condiciones del ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia. Además, una semilla vigorosa tiene mayor longevidad.

## **2.4 Pruebas de vigor**

Las pruebas de vigor varían de acuerdo al concepto de vigor empleado, pero es difícil discutir las por separado. Sin embargo, se considera que la prueba ideal debería ser rápida, fácil de ejecutar, sin necesidad de un equipo completo, igualmente útil para evaluar semillas individualmente como para poblaciones y además debe ser capaz de determinar mínimas diferencias en vigor. La mayoría de las pruebas han resultado correlacionadas con las pruebas de germinación en laboratorio o en campo (Copeland, 1976).

En la definición que la ISTA le da al vigor (Moreno, 1996) se engloban los procesos que han sido directamente relacionados con las diferencias en el vigor de las semillas:

1. Procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación, tales como reacciones enzimáticas y actividad respiratoria.
2. Velocidad y uniformidad de la emergencia de la plántula en el campo.
3. Capacidad de emergencia de las plántulas bajo condiciones desfavorables del medio ambiente.

Entre las causas de la variabilidad del vigor de las semillas se citan las siguientes:

- Genotipo.
- Medio ambiente y nutrición de la planta.

- Estado de madurez en el momento de la cosecha.
- Tamaño, peso y peso volumétrico.
- Daño físico.
- Deterioro y envejecimiento.
- Patógenos.

Por lo tanto evaluar el vigor de las semillas es de gran utilidad para predecir el comportamiento de un lote cuando las condiciones del medio ambiente no son del todo favorables para la germinación y emergencia de las plántulas (Moreno, 1996).

Las pruebas de vigor se han dividido en dos tipos: las pruebas directas, en las cuales se simulan condiciones por las que pasan las semillas en el campo, con la ventaja que se evalúan todos los factores que afectan el vigor; y las pruebas indirectas, que son las que miden ciertos atributos fisiológicos de la semilla, y que son medidos en el laboratorio y relacionados con el establecimiento en el campo. La ventaja de las pruebas indirectas es que pueden reproducirse con mayor facilidad.

McDonal (1975) divide las pruebas de vigor en tres categorías:

Físicas: En las que se miden características físicas de la semilla.

Fisiológicas: A las que utilizan algunas medidas de germinación o crecimiento.

Bioquímicas: Las que determinan reacciones químicas involucradas en procesos celulares.

Las pruebas de vigor más utilizadas son las siguientes (Moreno ,1996):

#### **2.4.1 Prueba de frío (*cold test*)**

Esta es una de las más antiguas en la evaluación de vigor de semillas y quizá sea la más usada. Consiste en poner las semillas en toallas de papel absorbente (o en suelo) a temperaturas de 9 a 10° C por un periodo de tiempo específico, después se les aplican condiciones desfavorables para la germinación.

Finalmente se evalúa el vigor mediante el porcentaje de germinación, longitud de plúmula, peso fresco o peso seco.

#### **2.4.2 Prueba de Cloruro de amonio**

Las semillas se remojan se remojan por 1 ó 2 horas en bajas concentraciones de  $\text{NH}_4\text{CL}$  (+/- 5%) a temperaturas de +/- 40° C. Después de este periodo las semillas son removidas de la solución, lavadas y puestas a germinar de acuerdo a los procedimientos estándar de germinación. Este método fue efectivo para diferenciar semillas de alto y bajo vigor en trébol. Además se ha encontrado una alta correlación entre esta prueba y el grado de establecimiento en campo, en sorgo.

#### **2.4.3 Prueba de Hidróxido de sodio**

Se pone a remojar las semillas en soluciones de  $\text{NaOH}$  de diferentes concentraciones por dos minutos; después del remojo las semillas son lavadas inmediatamente y puestas a germinar en condiciones favorables.

#### **2.4.4 Prueba de la tasa de crecimiento de plántulas**

Este procedimiento es simple y conveniente para hacerlo en conjunto con la prueba estándar de germinación. Las tasas de crecimiento de plántulas pueden ser medidas de varias formas; se puede medir la parte del tallo, sólo la raíz, o ambas partes. Esta prueba consiste en poner a germinar la semilla en condiciones óptimas de humedad y temperatura, y se realizan las mediciones en un intervalo de tiempo fijado. Las plántulas que tengan mayor longitud se consideran como las más vigorosas.

#### **2.4.5 Prueba de velocidad de emergencia**

Consiste en sembrar las semillas en algún sustrato o suelo. Al iniciar la emergencia, se cuenta diariamente el número de plántulas emergidas por tratamiento, posteriormente se calcula la velocidad de emergencia por medio de la siguiente fórmula:

$$V. E = (X_1)/1 + (X_2)/2 + (X_3)/3 + \dots + (X_{i-1})/n-1 + (X_i)/n$$

Donde:

X = número de plántulas emergidas por día.

n = número de días después de la siembra.

i = 1,2,3,.....n-1,n

#### **2.4.6 Prueba de envejecimiento acelerado**

Esta prueba consiste en someter a las semillas a temperaturas de 40 a 50 °C y 100% de humedad relativa por un determinado tiempo. Las condiciones específicas y el periodo usado varían con la especie. Después de los tratamientos, el lote que resulte con mayor porcentaje de germinación será el de mayor vigor.

#### **2.4.7 Prueba de ladrillo molido**

El método consiste en utilizar una capa de 2 a 3 cm de ladrillo molido de 2 a 3 mm de diámetro, colocada sobre la semilla, a una temperatura y humedad óptimas para su germinación; esta capa impide la emergencia de plántulas débiles, parcialmente enfermas o enrolladas. Las plántulas que emergen a través de la capa de ladrillo son consideradas como vigorosas.

#### **2.4.8 Prueba de vigor con tetrazolio**

La prueba de tetrazolio es una forma rápida para determinar la viabilidad de la semilla, pues requiere de pocas horas.

La prueba se basa en el principio de que los tejidos vivos liberan hidrógeno en el proceso de la respiración, el cual se combina con la solución incolora de tetrazolio y produce un pigmento rojo (formazan). Esta prueba distingue entre tejidos vivos y tejidos muertos del embrión. La prueba debe efectuarse en la oscuridad y a temperatura de 21 a 35° C, el tiempo de exposición depende de la especie y la concentración de la solución.

Cuando la semilla presenta la mayor área teñida de su embrión y con mayor intensidad de la coloración, se considera de alto vigor.

#### **2.4.9 Prueba de la tasa de respiración**

Se supone en esta prueba que las semillas de alto vigor tienen una alta respiración durante la imbibición.

La prueba consiste en poner las semillas en una cámara captadora de bióxido de carbono, para medir la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendido por las semillas durante la imbibición; las semillas vigorosas serán las de mayor liberación de CO<sub>2</sub> por su mayor actividad enzimática.

#### **2.4.10 Prueba de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (GADA)**

Se considera a esta prueba como una buena indicadora de vigor; ya que se obtuvo una alta correlación con la emergencia en el campo.

Esta prueba consiste en moler finamente un grupo de semillas a las que posteriormente se agrega una solución de ácido glutámico; la cantidad de CO<sub>2</sub> que emana de esta mezcla durante 30 minutos, es el índice de la actividad enzimática presente en las semillas. Las semillas con mayor tasa de CO<sub>2</sub> liberado serán las más vigorosas.

#### **2.4.11 Prueba de conductividad eléctrica**

Se ha demostrado que semillas con baja viabilidad y vigor presentan una mayor lixiviación de solutos que las semillas vigorosas y de alta germinación, lo que se ha correlacionado con una pobre emergencia en el campo.

### **2.5 Importancia de las malezas en el cultivo de maíz**

El maíz al igual que todos los cultivos, se enfrenta a una infinidad de problemas fitosanitarios siendo la maleza uno de los principales.

Montes de Oca (2003), menciona que la maleza es determinante en el desarrollo del cultivo, principalmente en su primera etapa. El periodo crítico de competencia comprende desde la siembra hasta los 45 días del cultivo, periodo en el cual es muy importante mantener controlada la maleza evitando que entren en competencia con el cultivo.

Sánchez (1994), señala que la maleza es determinante en el desarrollo del cultivo, ya que afectan principalmente en sus primeras etapas de crecimiento en forma directa, reduciendo su vigor y la población como resultado de la competencia, alelopatía y parasitismo. En forma indirecta por los daños ocasionados por los insectos, patógenos u otros animales a los que sirven de hospederos.

Las especies de malezas varían en su habilidad competitiva, pero las más competidoras exhiben cuando jóvenes un rápido desarrollo aéreo y radicular dándoles una ventaja sobre la especie cultivada en la obtención de agua, nutrientes, luz y espacio. Las pérdidas ocasionadas por la competencia de las malezas en los cultivos es de un 20 a un 50% (Montes de Oca, 2003).

## **2.6 Herbicidas hormonales**

Las hormonas son sustancias químicas que afectan procesos fisiológicos que regulan el crecimiento y desarrollo de la planta. Pueden ser naturales o sintéticas.

a) Las hormonas naturales son producidas por la planta y están reguladas por procesos intrínsecos. Dentro de este grupo están las auxinas y el ejemplo más común es el ácido indolacético (AIA).

b) Ciertos herbicidas actúan como hormonas sintéticas, ya que pueden ejercer todas las acciones que ejerce el AIA, pero no están sujetos a regulación intrínseca.

Familia de los herbicidas hormonales.

a-Fenólicos

b-Benzoicos

c- Picolínicos

a) Fenólicos

Son herbicidas ampliamente usados a nivel mundial. Desde un punto de vista histórico su importancia estriba en que el 2,4 D y el MCPA, destacados componentes de este grupo, fueron los primeros herbicidas orgánicos desarrollados. Actualmente, los herbicidas Fenólicos de importancia económica son 2,4-D; MCPA; y 2,4-DB. Otros herbicidas de este grupo son el 2,4,5-T y 2,4,5-TP.

Generalidades:

Si bien los herbicidas Fenólicos son traslocados y ejercen su acción en forma de ácido (COOH), esta formulación es solo ligeramente soluble en agua y como tal no suele ser usada comercialmente. El ácido 2,4-D puede reaccionar con hidróxidos y alcoholes para formar sales y ésteres, respectivamente, con propiedades muy diferentes.

Las sales aminas son las formulaciones más comúnmente usadas de este herbicida. Suelen comercializarse en forma líquida. La sal dimetilamina del 2,4-D y las aminas y ésteres del 2,4-DB son sólidos, blancos y cristalinos. No son volátiles, por lo que disminuye el riesgo de deriva a cultivos colindantes que sean sensibles. Son polares, muy solubles en agua y de más lenta absorción que los ésteres.

Su estructura química deriva del fenoxiacético y afectan el crecimiento de las plantas en forma similar y en los mismos órganos que compuestos auxínicos. La

translocación ocurre vía implasto/floema (principalmente) o apoplasto/xilema .Son de acción sistémica.

### **2.6.1 2,4,D amina**

Colaboradores del Instituto Bayce Thompson para el estudio de las plantas, descubrieron al investigar hormonas de los vegetales que el ácido 2,4-D diclofenoxiacético estimulaba los procesos fisiológicos en las plantas cuando se aplicaba en concentraciones extremadamente bajas (Crosby, 1960).

Otros investigadores en Estados Unidos e Inglaterra descubrieron que este compuesto y otros afines eran muy tóxicos para la mayor parte de las plantas de hoja ancha cuando se aplicaban concentraciones ligeramente más altas. Este descubrimiento ha sido de suma importancia para la agricultura, puesto que se encontró que el 2,4-D carecía de actividad sobre las plantas de hoja estrecha o monocotiledóneas como las gramíneas y entre ellas los cereales.

El descubrimiento del 2,4-D fue anunciado durante la Segunda Guerra Mundial, pero la producción industrial no se dio hasta 1945 (Other-Kin, 1960).

De igual forma la existencia de determinadas sustancias que regulan los distintos procesos fisiológicos eran ya sospechados desde más de un siglo atrás. Sin embargo, no fue sino hasta 1926 cuando F. W. Went anunció su existencia, en Holanda. Más tarde en 1931 Koenig y Haagen Smit aislaron las denominadas hormonas "auxinas", inductoras del crecimiento y otros fenómenos, estos mismos investigadores comprobaron que el ácido indolacético (AIA) tenía igual respuesta que las auxinas y denominaron a dicho ácido como heteroauxinas. En la actualidad existe equidad entre las auxinas y el ácido indolacético (Barbera, 1975).

Durante 1942, los investigadores norteamericanos, P. W. Zimmerman y A. E. Hitchcock descubrieron la aplicación del 2,4-D Amina como regulador de crecimiento.

Cabe mencionar que el 2,4-D Amina tenía anteriormente un uso exclusivo como regulador de crecimiento, sin embargo, el 1942, P. C. Marth y J. W. Mitchell informaron sobre sus propiedades como herbicida selectivo (Detroux y Gostincher, 1976).

### **2.6.2 Mecanismo de acción del herbicida 2,4-D Amina.**

Comprende el estudio de los procesos y reacciones que provocan profundas alteraciones y/o muerte de las plantas.

El herbicida se acopla a la membrana celular, produciendo relajación de la misma. A continuación se libera un factor (citocromo) que se traslada al núcleo donde activa a la enzima de la transcripción (ARN polimerasa).

Al aumentar en forma desmedida la producción de ARN, se incrementa la división celular. Los meristemos se desarrollan en forma desordenada. Por un tiempo exhiben crecimiento, después del cual hay una total inhibición. Los tejidos del tallo proliferan en forma descontrolada. La tendencia general es la producción de nuevas fuentes de consumo de nutrientes a costa de tejidos establecidos y productivos. La planta deja de producir tejido foliar y no contribuye más a los procesos fotosintéticos de modo que comienza una movilización de nutrientes por senescencia de tejidos. El crecimiento de las raíces primero aumenta y luego es inhibido y la absorción de nutrientes disminuye. El crecimiento anormal ocurre principalmente en el tallo y la raíz pivotante. La planta muere por autoconsumo de nutrientes.

Se pueden observar curvaturas epi e hiponásticas, encorvamiento del tallo, formación de callos y agallas y alteraciones en el crecimiento de las raíces.

#### **2.6.2.1 Sintomatología**

Todos los herbicidas tienen selectividad, es decir, es selectivo bajo ciertas condiciones y en determinadas dosis. La aplicación de determinadas sobredosis del producto, por ejemplo ocasionaría daño al cultivo, por lo que los síntomas de toxicidad

del herbicida en los cultivos de gramíneas los determina el modo de acción del producto (Galaviz, 1985).

Los síntomas más característicos de toxicidad causados por los herbicidas fenólicos son los siguientes:

- Clorosis: El amarillamiento ocasionado en la planta debido a la ausencia de clorofila.
- Necrosis: Es la muerte parcial o total de los tejidos de la planta.
- Enchinamiento: Se produce en todas las hojas.
- Reducción en la población del cultivo.
- Efectos násticos: El mayor crecimiento de las hojas.
- Torceduras: Se presenta en los pseudo tallos de maíz en las primeras etapas de crecimiento.

Los cambios bioquímicos y metabólicos que se reportan, son inducidos por los fenoxis, en plantas son muy numerosos, muchos de los cuales son de naturaleza secundaria y terciaria. El metabolismo del ácido nucleico y aspectos metabólicos de la plasticidad de la membrana celular parecen ser sitios primarios de acción de los herbicidas fenoxis. Casados, 1987 citado por Sánchez (1994).

Los efectos primarios por bajos niveles de 2,4-D sobre la síntesis de ácidos nucleicos, parecen ser la estimulación del RNA polimerasa, asimismo estimula al RNA y a la síntesis de proteínas. Los bajos niveles del 2,4-D por consiguiente inducen alargamiento celular por incrementar la actividad de la autolítica y síntesis de enzimas

responsables de la pérdida de la pared celular y síntesis de nuevo material. La presión de turgencia *per-se* es la causa del alargamiento normal de células.

El sistema de control endógeno de AIA que mantiene el crecimiento balanceado no es efectivo para el 2,4-D por lo cual el estímulo anormal de estos procesos por bajos niveles del 2,4-D ocasiona un crecimiento descontrolado, altos niveles del herbicida inhiben estos procesos y en sí el crecimiento. (Galaviz, 1985).

Estos herbicidas causan diferenciación e iniciación de la división celular en células maduras e inhiben esta división en meristemos primarios, la actividad del *cambium* es estimulada con una proliferación de células. Un número de cambios ultra estructurales en las plantas tratadas con 2,4-D y probablemente con cualquier herbicida fenoxi incrementan la formación de etileno. (Fischer, 1979).

Algunas de las respuestas antes mencionadas pueden ser causadas por el etileno, no obstante el etileno no se considera que sea el factor letal, las respuestas diferenciales aparentes del 2,4-D, esto es, estimulación contra inhibición de la división celular pueden deberse a las diferentes concentraciones de las auxinas en la célula, esto es bajos niveles estimulan y altos niveles inhiben, aunque esto varía dependiendo del tipo de células que se trate ya sea madura o meristemática. Casados, 1987 citado por Sánchez (1994).

## **2.7 Efectos de herbicidas sobre las funciones de la planta**

Los herbicidas de contacto producen el debilitamiento y la desorganización de las membranas celulares. Son de toxicidad aguda, es decir, que destruyen rápidamente las células y los tejidos de los órganos vitales sobre los que se aplican.

Los herbicidas traslocables o sistemáticos actúan en zonas alejadas del lugar de aplicación, interfiriendo con el funcionamiento de los procesos fisiológicos y metabólicos.

Producen toxicidad crónica, es decir, que son de acción lenta, y la muerte de las plantas tratadas tiene lugar después de varios días o semanas y hasta meses (Marisco, 1980).

Los herbicidas traslocables alteran determinados procesos fisiológicos y metabólicos, por ejemplo, los que se indican a continuación:

- a) División celular: Inhiben la mitosis en alguna de sus fases, impiden la formación de la membrana que separa a las dos células resultando en células anormales polinucleadas.
- b) Desarrollo de tejidos: Modifican determinados tejidos, provocando malformaciones; cuando éstas ocurren en los tejidos conductores como el xilema y floema, se altera la normal distribución de los nutrientes que por ellos circulan.
- c) Clorofila y plástidos: Alteran la formación de clorofila o de plástidos; las partes afectadas se ponen cloróticas o blancas.
- d) Fotosíntesis: Inhiben o bloquean algunos de los pasos que integran el proceso en el que la energía luminosa se transforma en energía química.
- e) Respiración: Interfieren en el proceso, utilizando la energía liberada.
- f) Metabolismo del nitrógeno: Afectan la síntesis del ácido nucleico mediante el estímulo o la inhibición de la actividad enzimática.
- g) Efectos en las enzimas: Al igual que en el caso del metabolismo del nitrógeno, se supone que pueden producir otros efectos de inhibición en la actividad enzimática, que conducen a serias anomalías y hasta la muerte de las plantas (Rodríguez, 1984).

Como consecuencia de la acción de los herbicidas a nivel celular las plantas sufren alteraciones anatómicas y morfológicas más o menos profundas. Las anomalías morfológicas que se observan están directamente relacionadas con el herbicida usado, la dosis aplicada, la especie vegetal y su estado de desarrollo.

Los productos de acción hormonal, como el 2,4-D, provocan efectos característicos, tanto en las malezas como en los cultivos susceptibles. Los efectos provocados se observan en todos los órganos del vegetal, es decir raíz, tallo, hojas, fruto y semilla (Sheets, 1970).

### **Raíz**

Normalmente, la acción de los fenóxicos provoca la detención en el crecimiento del eje principal, que se acorta y se engrosan, y la proliferación de raíces secundarias. A veces las raíces laterales están tan próximas entre sí que se fusionan y toman un aspecto laminar.

En ciertos casos los efectos se traducen en engrosamientos localizados y en la aparición de tumores. Cuando el herbicida está presente en el suelo, los efectos suelen observarse en las raíces de la plántula poco después de la germinación. Agundis, 1980 citado por Sánchez (1994).

### **Tallo**

Las anomalías en el tallo dependen de su estado de desarrollo en el momento del tratamiento, se observan no solo en el tallo sino también en las estructuras morfológicamente similares, como el pecíolo de las hojas y los ejes de los órganos florales. (Craft, 1956).

El crecimiento irregular de las células que a veces se produce en una sola dirección, origina curvaturas y retorcimientos de tallos y pecíolos. Las curvaturas pueden

ser peinásticas o hiponásticas; a veces son alternas y los pecíolos y los tallos quedan ondulados. Galaviz, 1985 citado por Sánchez (1994).

En los tallos jóvenes suele producirse un crecimiento lateral de las células y una reducción en el crecimiento longitudinal, los tallos se acortan y se engrosan. Otras veces la acción estimula la división celular en determinadas zonas y esta multiplicación de células da origen a la formación de agallas y tumores que desorganizan a los tejidos. (Sargent, 1965).

Otra reacción observada en los tallos es la producción de raíces adventicias, generalmente en los nudos inferiores; en los rizomas y tubérculos suelen producirse anomalías similares a las comentadas para los tallos aéreos (Marisco, 1980).

## **Hoja**

Los efectos se observan principalmente en las hojas jóvenes, a partir de las yemas que están desarrollándose. Generalmente se produce un cambio de color y un rápido marchitamiento.

En el pecíolo se producen curvaturas epinásticas o hiponásticas ya mencionadas anteriormente.

En la lámina foliar generalmente hay una reducción en el tamaño y un cambio en la forma. Muchas veces se detiene el crecimiento del mesófilo, sin afectarse nervaduras muy próximas entre sí y en casos extremos toma aspecto de un filamento. Otras veces se detiene el crecimiento de las nervaduras pero sigue creciendo el mesófilo, que en consecuencia toma un aspecto encrespado muy particular. Puente, 1982 citado por Sánchez (1994).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Localización**

El trabajo experimental se llevó a cabo en los invernaderos de las instalaciones de F. E. S Cuautitlán, y en el laboratorio de Tecnología de Semillas.

La Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán se localiza a 30 Km al norte de la Ciudad de México, se encuentra delimitada por los paralelos 19°39'- 19°45' N y los meridianos 99°88'- 99°14' W, a una altitud de 2250 msnm.

De acuerdo a la clasificación de Köppen adaptada a las condiciones de México por Enriqueta García (1973), el clima de Cuautitlán se clasifica como C(Wo)(W)b(i''), denominado templado húmedo, el más seco de los templados sub-húmedos, con una temperatura media anual entre 12 °C y 18 °C, con un régimen de lluvia en verano y menos del 5% de lluvias en invierno.

#### **3.2 Material genético**

Las semillas que se evaluaron fueron: cuatro líneas y tres híbridos QPM, en las líneas se incluyó una línea aparentemente susceptible a herbicida (CML 145) así como tres líneas no susceptibles (CML 144, CML 150, CML 156) y un híbrido de cruza simple donde participa esa línea susceptible (CML144 x CML145), así como dos híbridos trilineales donde participa esta línea (CML156 x CML145) x CML150, (CML145 x CML144) x CML150 y un híbrido de calidad normal de maíz (H-50).

En total se evaluaron siete genotipos de calidad proteínica (4 líneas y 3 híbridos) y un genotipo de calidad normal. Los materiales se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1. Líneas e híbridos de maíz de calidad proteínica (QPM), evaluados bajo tratamiento de herbicida. FESC, UNAM. 2003.**

GENOTIPO	TIPO MATERIAL	ORIGEN	
H-50 (testigo)	Híbrido doble	SL-2002	Normal
CML 145	Línea	PR-99 A	QPM
CML 144	Línea	PR-99 A	QPM
CML150	Línea	PR-99 A	QPM
(CML156 x CML145) x CML150	Híbrido trilineal	TL-98 B	QPM
(CML145 x CML144) x CML150	Híbrido trilineal	TL-98 B	QPM
CML 144 x CML 145	Híbrido simple	TL-98 A	QPM
CML 156	Línea	PR-99 A	QPM

Los genotipos fueron facilitados por el Dr. Hugo Córdova Orellana del CIMMYT; los cuales se produjeron en 1998 y 1999, excepto el H-50 (2002).

### **3.3 Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental en Bloques Completos al azar, el análisis se efectuó en forma factorial considerando como factores a los genotipos los cuales fueron sometidos a la aplicación de herbicida, así como el testigo.

La evaluación del vigor fue en bancal, se utilizaron 20 semillas por genotipo con 8 repeticiones, con lo cual se completaron las 160 semillas para cada tratamiento. (ISTA, 1997).

### **3.4 Establecimiento de la cama de siembra**

Antes de efectuar la siembra, se limpió la cama de residuos de la cosecha anterior, así como de malezas, se removieron 10 cm de suelo de tipo franco arcilloso, el cual fue cernido fuera de la cama, la capa de suelo que quedó dentro de la cama fue removida, mullida y nivelada. Se utilizaron 14 m de largo por 1.10 m de ancho en el invernadero.

### **3.5 Manejo agronómico**

#### **3.5.1 Siembra**

La siembra se llevó a cabo el día 19 de marzo del año 2003 en seco, de forma manual se colocaron las 20 semillas con la "corona" hacia arriba a una distancia de 5cm entre ellas y a 10 cm entre surcos, al terminar se cubrieron las semillas con el suelo cernido quedando a una profundidad de 5 cm.

#### **3.5.2 Riegos**

El primer riego se aplicó el mismo día de la siembra (19 de marzo de 2003) después de cubrir la cama, con el objetivo de que la humedad alcanzara a llegar hasta el fondo de la cama, posteriormente se regó diariamente para evitar la formación de una capa dura en la superficie que detuviera la emergencia de las plántulas, procurando mantener la humedad de la cama solo lo necesario para el buen desarrollo de las plantas.

#### **3.5.3 Aplicación del herbicida**

La aplicación se realizó cuando la planta alcanzó una altura mayor de 20 cm. Se empleo un herbicida (Hierbamina), con dosis de aplicación de 5 l/ha. A la otra parcela no se le aplicó ningún químico.

### **3.6 Cosecha**

Diez días después de la aplicación de herbicida se llevo a cabo la cosecha, para extraer las plántulas se aflojó la tierra con la ayuda de una pala de jardinería, con cuidado se extrajeron planta por planta para no dañar el sistema radicular, posteriormente se lavaron para eliminar el exceso de tierra adheridas a la raíz.

Una vez que se obtuvieron las plantas se tomaron los datos de las diferentes variables evaluadas.

### 3.7 Variables evaluadas para definir el vigor de los genotipos

#### 3.7.1 Plántulas emergidas diariamente

Este dato se tomo por cada surco, consistió en una cuantificación diaria del número de plántulas, una vez que se inició la emergencia de las mismas. Posteriormente dicho dato se utilizó para obtener la velocidad de emergencia.

#### 3.7.2 Velocidad de emergencia

Se contaron diariamente el número de plántulas emergidas por tratamiento, posteriormente se calculó la velocidad de emergencia por medio de la siguiente fórmula:

$$V. E = (X_1)/1 + (X_2)/2 + (X_3)/3 + \dots + (X_{i-1})/n-1 + (X_i)/n$$

Donde:

X = número de plántulas emergidas por día.

n = número de días después de la siembra.

i = 1,2,3,.....n-1,n

#### 3.7.3 Longitud de raíz y plúmula

Se midió la raíz y plúmula de cada plántula, una vez extraídas las plántulas, con la ayuda de una regla.

#### 3.7.4 Peso fresco de raíz y plúmula

Se pesó, por separado, la parte aérea de la plántula y la raíz, con una balanza analítica. Primero se lavaron para eliminar las partículas de tierra adheridas a la raíz.

#### 3.7.5 Peso seco de la raíz y plúmula

Se colocaron en bolsas de papel previamente etiquetado, cada tratamiento (raíz y plúmula por separado), los cuales se colocaron en una estufa Felisa a una temperatura de 50° C durante 72 horas para posteriormente pesarlas en una báscula analítica.

### 3.7.6 Efecto de Toxicidad

Se tomó la apreciación visual de los daños ocasionados por el herbicida haciendo una comparación de la planta dañada con el testigo (H-50). Para ello se elaboró una escala de observaciones previamente definida (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Escala de calificación de daño ocasionado por herbicida para la evaluación genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM). FESC, UNAM. 2003.**

0	Plantas sanas sin daño
1	Daño ligero: enchinamiento de hojas, torcedura de tallo.
2	Plantas cloróticas.
3	Daño medio: enchinamiento de hojas, presencia de algunas ampulas.
4	Quemadura de hojas.
5	Daño severo en tallos, hojas y raíz (torcedura de tallo, raíz acorchada, enchinamiento de hojas, quemadura de hojas, presencia de ampulas en las nervaduras.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Análisis de Varianza

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se observa que para el factor genotipos las diferencias son altamente significativas para las variables estudiadas, peso fresco de radícula, peso fresco de plúmula, peso seco de radícula, peso seco de plúmula, velocidad de emergencia y longitud de plúmula, excepto para longitud de radícula y daño por herbicida, las cuales presentan una diferencia significativa (Cuadro 3).

En el caso de las repeticiones, se observa que en la variables peso fresco de plúmula y daño por herbicida las diferencias son altamente significativas al 0.01, mientras que para peso fresco de radícula, peso seco de radícula, velocidad de emergencia y longitud de plúmula las diferencias son significativas al 0.05, por otra parte para longitud de radícula no hay diferencia significativa, lo anterior indica que el diseño fue adecuado de acuerdo a la variabilidad del suelo en el bancal donde se estableció el trabajo. (Cuadro 3).

El coeficiente de variación para las diferentes variables fluctuaron entre 11.80 para la longitud de plúmula y 43.92 que correspondió a la variable daño (Cuadro 3). En la longitud de plúmula intervino un factor muy importante ya que la localización de la cama coincidió con una franja de árboles al costado derecho (de norte a sur) lo cual provocó una competencia de luz por las mañanas, lo cual se aprecia en la significancia en el factor repeticiones, así como en el coeficiente de variación (Cuadro 3).

Lo anterior tiene como consecuencia que al momento de la germinación los genotipos concentrados en la parcela 1 (con herbicida) emergieran más rápido que las de la parcela 2, pero al momento de aplicar el herbicida (cuando tuvieron una altura aproximada de 12- 15 cm) los genotipos concentrados en la parcela 2 remontaron el

tiempo rezagado por la competencia de luz, al no tener que traslocar nutrientes hacia las zonas de daño ocasionado por el herbicida.

**Cuadro 3. Cuadros medios y significancia estadística obtenidos en los análisis de varianza de cada una de las variables involucradas en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".**

Variable	Genotipos	Repeticiones	Media	C. V.
	C. M.	C. M.		
Peso fresco radícula	9.37795525**	0.18896060*	1.2652	39.8194
Peso fresco de plúmula	1929.83779**	33.99501**	13.075	33.6264
Peso seco radícula	0.43324810**	0.01231060*	0.2677	41.6254
Peso seco plúmula	23.9401588**	0.7127499*	1.6335	40.0779
Velocidad Emergencia	77.0677496**	1.5652674*	2.1298	42.4674
Longitud radícula	426.660481*	16.575069 N.S	20.1874	15.2860
Longitud plúmula	5421.05570**	65.64049*	56.01742	11.8087
Daño	1.0848214*	0.2812500**	1.453125	43.9267

\*\* Significativo al 0.01

\* Significativo al 0.05

N.S. No significativo

Para el factor herbicida (con aplicación y sin aplicación) las diferencias son altamente significativas para todas las variables, peso fresco de plúmula, peso seco de radícula, velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula, daño por herbicida, excepto para peso seco de plúmula la cual presenta una diferencia al 0.05 de probabilidad y peso seco de radícula presenta una diferencia no significativa (Cuadro 4).

Para la interacción genotipo por herbicida se obtuvo una diferencia altamente significativa para las variables peso fresco de radícula, peso fresco de plúmula, velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula, daño, excepto para

peso seco de plúmula (0.05) y para peso seco de radícula la diferencia es no significativa (Cuadro 4).

Para la acumulación de peso seco en plúmula la competencia por luz influyó de forma determinante, debido a que se acortó el tiempo de fotoperiodo y por consiguiente se tuvo una menor acumulación de materia seca, con respecto a los genotipos que tuvieron luz durante todo el día aún con la aplicación del herbicida.

**Cuadro 4. Cuadros medios obtenidos en los análisis de varianza de las variables: herbicida y genotipo por herbicida involucradas en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".**

Variable	Herbicida	Genotipo por Herbicida
	C. M.	C. M.
Peso fresco radícula	0.10068828 N.S.	0.16490792 N.S.
Peso fresco plúmula	57.79469**	65.88584*
Peso seco radícula	0.02338203**	0.04146239**
Peso seco plúmula	0.3861008*	1.2525883**
Velocidad emergencia	21.0114031**	2.6274674**
Longitud radícula	503.753476**	87.342456**
Longitud plúmula	2154.87919**	258.35715**
Daño	264.50000**	1.2678571**

\*\* Significativo al 0.01

\* Significativo al 0.05

N.S. No significativo

## 4.2 Prueba de comparación de medias

En los cuadros 5 y 6 se presentan los resultados de la prueba de comparación de medias por el método de Tukey para los ocho genotipos estudiados, considerando la respuesta media con aplicación y sin tratamiento con herbicida, especificándose en cada uno de ellos las variables evaluadas.

Para el peso fresco de radícula el genotipo H-50 (testigo) presentó el valor más elevado con 2.5513 gr., en cambio el CML145 exhibió el valor más bajo con 0.2844 gr. del CML145, las cruza donde interviene el CML145 [(CML156 x CML145) CML150 y (CML145 x CML144) CML150] se comportaron de forma superior a las líneas (CML150, CML156, CML144) mientras que la cruza CML144 x CML145 se queda rezagada al igual que las líneas (Cuadro 5).

Con respecto al peso fresco de plúmula se observa una diferencia significativa entre el H-50 (37.279 gr.) y el resto de los materiales, el CML145 (2.716 gr.) se ubicó en el último grupo de significancia, las cruza trilineales se ubicaron en el grupo b de significancia y fueron diferentes significativamente con respecto a la cruza simple y las líneas de maíz de Calidad Proteínica (QPM) (Cuadro 5).

Para el peso seco de radícula se definieron cinco grupos de significancia, en el primero se ubicaron el H-50 (0.50250 gr.) y el (CML156 x CML145) CML150 (0.46438 gr.); las líneas que presentaron valor más bajo fueron la línea CML145 y CML156, las que ocuparon los últimos lugares con una media de 0.03438 gr. y 0.14750 gr., respectivamente, definiendo ambas el último grupo de significancia (Cuadro 5).

Para el peso seco de plúmula el H-50 supera estadísticamente a los otros genotipos con una media de 4.1813 gr., mientras que el CML 145 presenta el valor más bajo y se ubica en el último grupo de significancia con una media de 0.3844 gr. (Cuadro 5).

**Cuadro 5. Comparación de genotipos bajo tratamiento medio de herbicida y sin herbicida, para las variables peso seco de radícula y peso seco de plúmula en el estudio "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM).**

<b>Genotipo</b>	<b>Peso fresco Raíz (g)</b>	<b>Peso fresco Plúmula (g)</b>	<b>Peso seco Raíz (g)</b>	<b>Peso seco Plúmula (g)</b>
H-50 (testigo) (156X145)	2.5513 A	37.279 A	0.50250 A	4.1813 A
CML150 (145X144)	2.1775 A	18.001 B	0.46438 AB	2.2563 B
CML150	1.5331 B	15.590 B	0.37250 BC	2.2169 B
CML150	1.0231 BC	9.043 C	0.25875 CD	1.1581 C
CML156	0.8788 C	6.456 CD	0.14750 DE	0.7725 CD
CML144 CML144 X CML145	0.7738 CD	9.166 C	0.16188 D	1.1988 C
CML145	0.9000 C	6.350 CD	0.20000 D	0.9000 CD
CML145	0.2844 D	2.716 D	0.03438 E	0.3844 D
D.S.H.	0.5509	4.8079	0.1219	0.7159

En cuanto a la velocidad de emergencia se definieron cuatro grupos de significancia, en el primer grupo se ubicó el H-50 (6.3794), el cual superó estadísticamente tanto a las líneas como a las cruzas, destacando el hecho de que las líneas CML156 y CML144 fueron superiores estadísticamente a las cruzas (CML156 x CML145) CML150, (CML145 x CML144) CML150 y CML144 x CML145 y la línea CML145 la cual mostró un comportamiento pobre con 0.1650 (Cuadro 6).

En la variable longitud de radícula se definieron cuatro grupos de significancia entre las medias, destacando en el primer grupo el H-50 (28.738 cm), así como en el último la línea CML145 (10.166 cm) (Cuadro 6).

Para la longitud de plúmula el H-50 con 91.700 cm fue el valor más elevado, definiéndose en el primer grupo de significancia en cambio la línea CML145 con 32.656 cm se ubicó en el último grupo de significancia. Las cruzas (CML156 x CML145) CML150 y (CML145 x CML144) CML150 se ubicaron en el grupo intermedio, siendo superiores a las líneas CML150, CML156, CML144 y a la crusa CML144 x CML145 (Cuadro 6).

Con respecto al daño por herbicida los genotipos se ubicaron en dos grupos de significancia presentando un comportamiento un tanto similar siendo el más sobresaliente el CML156 mientras que la crusa CML144 x CML145 se encuentra en el siguiente grupo de comparación B (Cuadro 6).

**Cuadro 6. Comparación genotipos bajo tratamiento medio de herbicida y sin herbicida para las variables velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula y daño en el estudio "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".**

<b>Genotipo</b>	<b>Velocidad Emergencia</b>	<b>Longitud Raíz (cm)</b>	<b>Longitud Plúmula (cm)</b>	<b>Daño</b>
H-50 (testigo)	6.3794 A	28.738 A	91.700 A	1.5000 AB
(156X145) CML150	1.3650 C	22.693 B	64.277 B	1.3750 AB
(145X144) CML150	0.9894 CD	20.511 BC	68.209 B	1.1875 AB
CML150	0.9094 CD	19.231 C	47.497 CD	1.6250 AB
CML156	3.3469 B	18.863 C	43.750 D	1.8125 A
CML144	3.7913 B	19.300 C	54.550 C	1.6250 AB
CML144 X CML145	0.0850 D	22.000 BC	45.500 D	1.0000 B
CML145	0.1650 D	10.166 D	32.656 E	1.5000 AB
D.S.H	0.9886	3.3745	7.2336	0.698

Con respecto a los objetivos planteados se podría establecer que los resultados indican que el híbrido H-50 utilizado como testigo, supera a los otros materiales: líneas, cruza simple y trilineales QPM, este híbrido (H-50) presentó los valores más altos para diferentes variables, en cambio el CML145 exhibió bajos valores en la mayoría de las variables en cada una de las pruebas, excepto para los efectos de daño por herbicida, donde la línea CML156 presenta una tolerancia superior al H-50 (testigo) y a la línea CML 145.

La comparación de medias para aplicación de herbicida con respecto al testigo sin aplicación de herbicida, indica que en peso fresco de plúmula, peso seco de plúmula, longitud de radícula y longitud de plúmula, los ocho genotipos evaluados mostraron valores superiores (Cuadro 7 y Cuadro 8) sin la aplicación de herbicida (testigo), lo cual indica que estas variables fueron afectadas al aplicarse el herbicida 2,4-D en su forma amina.

En cambio para las variables peso fresco de radícula y peso seco de plúmula, no hubo efecto estadístico por la aplicación de herbicida (Cuadro 7 y Cuadro 8).

**Cuadro 7. Comparación de tratamiento de herbicida (con y sin aplicación) bajo la media de ocho genotipos, para las variables peso fresco de radícula, peso fresco de plúmula, peso seco de radícula y peso seco de plúmula. FESC, UNAM. 2003.**

Tratamiento	Peso fresco radícula (g)	Peso fresco plúmula (g)	Peso seco radícula (g)	Peso seco plúmula (g)
Con herbicida	1.293 a	12.403 b	0.281 a	1.578 a
Sin herbicida (Testigo)	1.237 a	13.747 a	0.254 b	1.688 a
D.S.H.	0.177	1.541	0.039	0.229

Finalmente para las variables peso seco de radícula y velocidad de emergencia, la aplicación de herbicida favoreció la expresión de los resultados de los ocho genotipos evaluados. Para el caso de daño por herbicida, los valores superiores y ubicación en el primer grupo confirman que en la media general de los genotipos, estos fueron afectados por el tratamiento con herbicida.

**Cuadro 8. Comparación de tratamiento de herbicida (con y sin aplicación) bajo la media de ocho genotipos, para las variables velocidad de emergencia, longitud de radícula, longitud de plúmula y daño. FESC, UNAM.2003.**

Tratamiento	Velocidad de Emergencia	Longitud de radícula (cm)	Longitud de Plúmula (cm)	Daño
Con herbicida	2.5341 a	18.203 b	51.914 b	2.890 a
Sin herbicida (Testigo)	1.7238 b	22.171 a	60.120 a	0.015 b
D.S.H.	0.316	1.081	2.3187	0.223

#### 4.2 Prueba de germinación

**Cuadro 9. Porcentaje de germinación para los genotipos usados en "Tolerancia a herbicidas y su efecto en el vigor de genotipos de maíz de calidad proteínica (QPM)".**

GENOTIPOS	NO. SEMILLAS	GERMINADAS	%GERMINACIÓN
(156 x145) CML150	60	44	73.33%
CML145	60	9	1.5%
CML150	60	54	90%
(145 x144) CML150	60	37	61.66%
CML144 x CML145	60	3	0.5%
CML144	60	55	91.6
CML156	60	46	76.66
H-50 (testigo)	60	46	76.66%

Los datos obtenidos de la prueba de germinación muestran que la línea CML145 presentó un bajo porcentaje de germinación (1.5%), mientras que el testigo (H-50) tiene un 76.66% de germinación, siendo superado por las líneas CML150 y CML144 con un 90 y 91.6% respectivamente, cabe destacar que este porcentaje no fue similar con el porcentaje al establecimiento en campo debido al vigor que requiere una plántula para emerger en el campo, a diferencia de las condiciones favorables proporcionadas por la cámara de germinación (Cuadro 9).

## V. CONCLUSIONES

Con base en los objetivos e hipótesis planteadas y los resultados obtenidos se llegó a las siguientes conclusiones:

1. Con respecto a la respuesta a la aplicación de herbicida los genotipos presentaron poco daño, expresando cierta tolerancia, siendo la línea CML156 quien presentó menor daño y la cruce CML144 x CML145 la que tuvo mayor daño. El testigo no mostró daño a la aplicación del herbicida, lo cual es interesante si se considera que se utilizó una sobredosis de Hierbamina (5 l/ha).
2. En velocidad de emergencia el testigo (H-50) se ubicó en el nivel superior, superando a las líneas, así como a las cruza simples y trilineales de calidad proteínica, siendo la línea CML145 la que presentó menor velocidad de emergencia.
3. La mayor acumulación de materia seca se dio en el testigo H-50 (0.502gr) y en la cruce (CML156 x CML145) CML150 (0.464gr), seguidos de la cruce (CML145 x CML144) CML150 con 0.372 gr.
4. Con respecto a la longitud de plúmula se presentó una diferencia significativa entre el H-50 y la línea CML145, siendo el testigo quien supero a todas las cruza y las líneas de estudio.
5. Considerando el porcentaje de germinación, la velocidad de emergencia y la acumulación de materia seca el H-50 se considera como el más vigoroso de los genotipos, seguido por las cruza (CML156 x CML145) CML150 y (CML156 x CML145) CML150.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade. B., H. J. 1992. Mejoramiento del vigor en semillas de maíz y su relación con la emergencia y rendimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillo, México.
2. Bewley. J. D. And Black, M. 1994. Seeds: Physiology od Development and Germination Plenumm Press. N. Y., USA.
3. Camacho. M. F. 1994 Dormición de semillas: causas y tratamientos. Ed. Trillas. México.
4. Carambula. M. 1981. Producción de semillas forrajeras. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.
5. CIMMYT-PURDUE. 1981. Maíz de alta calidad proteínica. Simposio de ponencias. Ed. Limusa. México.
6. Copeland. C. O. 1976. Principles of seed science al technology. Burges Publishing Company. USA.
7. Duffus. C. 1985. Las semillas y sus usos. AGT Editor S. A. México.
8. Espinosa., C., A., A. Turrent F., H. Cordova O., N. Gómez M., M. Sierra M., E. Betanzos M., F. Caballero H., B. Coutiño E., A. Palafox C., F. Rodríguez M., A. García Berber, O. Cano. 2001. Maíces de calidad proteínica: Una alternativa para el campo mexicano. En: Innovación y competitividad, A D I A T., Nos. 3 y 4: 10-15.
9. García. E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climatológica de Köpen. Dirección General de Publicaciones. UNAM. México.
10. Gómez. A., F. 1993. Evaluación de la eficiencia de un bioestimulante para elevar el vigor de semillas de variedades mejoradas de maíz. Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM. México.
11. González. A., U. 1995. El maíz y su conservación. Ed. Trillas. México.
12. González. C., M. 2000. Rendimiento de maíces híbridos Pumas en comparación con testigos comerciales. Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM. México.
13. Grajales. M., O. 2004. Fisiología vegetal. Ed. UNAM. México.

14. Investigación y Desarrollo. 2000. Periodismo de ciencia y tecnología. México.
15. Jugenheimer. R., H. 1981. Maíz: variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas (Trad. G. R. Peña). Ed. Limusa. México.
16. Menera. G., C. 1998. Tesis: Evaluación del rendimiento en materia verde y materia seca de híbridos de maíz con fines forrajeros en Valles Altos. México.
17. Mertz. E., T., L., S., Bates, and O., F., Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increase lysine content of maize endosperm. Science, 145: 279.
18. Mertz. E., T., O., Veron, L.S. Bates, and O.F. Nelson. 1965. Growth of rats fed opaque-2 maize. Science, 148: 1741-1742.
19. Michigan State University, Oregon State University and University of California (Davis). 2003. Artículo: A pesticide Information Project of Cooperative Extension Offices at Cornell University.
20. Moreno. M, E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas UNAM. México.
21. Perry. D., A. 1980. El concepto de vigor de la semilla y su relevancia en las técnicas de producción de semilla. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.
22. Poehlman. J., M. 1983. Mejoramiento genético de las cosechas. Ed. Limusa. 8° edición. México.
23. Ortega. C., A., O. Cota A., S. K. Vasal, E. Villegas M., H. Córdova O., M. A. Barrera S., J.J. Wong P., C.A. Reyes M., R. E. Preciado O., A. Terrón I., A. Espinosa, C. A. 2001. H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el noroeste y subtropical de México. INIFAP, CIRNO, Campo Experimental Valle del Yaqui, Folleto Técnico No. 41, Cd. Obregón, Sonora, 44 p.
24. Ramos. B., J. 1993. Efecto del Rayado Fino (MRFU) sobre la productividad, calidad física y fisiológica de semilla de variedades de maíz. Tesis Profesional. FES- Cuautitlán. UNAM. México.
25. Reyes. C., P. 1990. El maíz y su cultivo. Ed. AGT editor, S.A. México.
26. Salisbury. F., B., Ross, C. L. 1994. Fisiología Vegetal. Ed. Iberoamérica. México.

27. Sánchez. L., N. 1994. Efecto de toxicidad en progenitores de híbridos de maíz a diferentes dosis y épocas de aplicación del 2,4-D Amina. Tesis Profesional. FES-Cuautitlán. UNAM. México.
28. Tadeo. R., M. y Espinosa, C. A. 2002. Apuntes del curso: Tecnología y producción de semillas. Ingeniería agrícola, FES- Cuautitlán. UNAM. México.
29. Vasal. S.,K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goerts. 1980. Genetic Modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. In: Pollmer, W.G., and R.H. Phipps (editors). Improvement of quality traits of maize for grain and silage use. Martinus Mijhoff Publishers. Amsterdam, Holland. Pp: 37-73.
30. Vasal. S., K. 1994. High Quality protein corn. In: Hallauer, A.R. (editor). Speciality Corns. CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA.
31. Aleph Zero 20, <http://aleph.cs.buap.mx>
32. <http://bio.worldweb.net/indorgs/co-info.toc.html>
33. <http://agbios.com/> Links.asp