



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD DEL HERBICIDA
NICOSULFURÓN SOBRE GENOTIPOS DE MAÍZ CON ALTA
CALIDAD PROTEÍNIC (QPM)**

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Agrícola

Presenta

VICTOR TRINIDAD MORALES

ASESORA: M.C. MARGARITA TADEO ROBLEDO

COASESOR: DR. ALEJANDRO ESPINOSA CALDERÓN

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

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

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

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

“Evaluación de Fitotoxicidad del Herbicida Nicosulfurón sobre Genotipos de Maíz de Alta Calidad Proteínica (QPM)”.

Que presenta el pasante **VÍCTOR TRINIDAD MORALES**
Con número de cuenta: **30077057-3** para obtener el Título de: **Ingeniero Agrícola**

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

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU”
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 25 de Noviembre de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.C. Ma. Magdalena Ofelia Grajales Muñiz	
VOCAL	M.A. Vicente Silva Carrillo	
SECRETARIO	M.C. Margarita Tadeo Robledo	
1er SUPLENTE	Ing. Hilda Carina Gómez Villar	
2do SUPLENTE	Ing. Angel Cipriano López Cortés	

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

HHA/Vc

DEDICATORIA

A Dios padre por darme la oportunidad de vivir, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mis estudios, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante este periodo.

A mi padre Diego Alfredo Trinidad Mateo que me dio las bases de mi formación, por enseñarme a luchar por mis metas, por darme todo lo necesario para que no tuviera preocupación de continuar mis estudios, se que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí, se que ya no estés conmigo físicamente pero siempre estarás en mi corazón y en mis recuerdos.

A mi madre Ma. Eugenia Morales Mateo, por ser una parte fundamental de mi existencia por su amor incondicional, por su gran apoyo y todos esos sacrificios que has hiciste para verme realizado como profesionista.

A mi tía Concepción Morales Mateo, a quien quiero como una madre (aunque a veces peleamos), por ser ese gran pilar cuando mi padre falleció, por creer en mí y ayudarme en cualquier momento.

A mis hermanos Gustavo Trinidad Morales y Alfredo Trinidad Morales y sus respectivas esposas por su cariño y por el tiempo que pasamos juntos.

A Juanita Trinidad Velázquez, por ser una gran compañía que me dio tanto cariño cuando estaba niño.

A mis sobrinos María José, Diego y los que estén por venir, saben que los quiero mucho y que siempre contarán conmigo.

A La Ing. Viridiana Trejo Pastor, Ing. Selene M. Sánchez Mendoza al Ing. Luis Antonio López Rodríguez con los que pase momentos maravillosos e inolvidables en la carrera y que también fueron parte de este proyecto.

A mis amigos de la preparatoria, Julio Domínguez Torres , Iván Roldan Muños Y Juan A. Barragán Palomares, por ser mis amigos desde hace ya bastante tiempo y seguir siéndolo.

A la Generación 30, en especial a Daniel Peralta, Isaac Margarito, Francisco Herrera, por su valiosa amistad y grandes recuerdos.

A Sarah por su cariño, comprensión

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, máxima casa de estudios de la que con honor digo que soy parte y que me ayudo a tener una orientación desde la preparatoria hasta la culminación de mis estudios

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y a la carrera de Ingeniería Agrícola donde tuve una educación integral, social, académica, cultural, que me dio las bases académicas para tomar decisiones en el ámbito profesional y en la vida personal, gracias a los profesores y compañeros de la generación 30 por enseñarme sus experiencias y sabidurías.

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), IT201312-3, por otorgar los recursos económicos, para la realización de este trabajo de investigación.

Al Dr. Alejandro Espinosa Calderón, Investigador Nacional Nivel III quien apporto sus conocimientos y tiempo a este proyecto llamado tesis.

A la M. C. Margarita Tadeo Robledo por involucrarme en este proyecto por su enorme paciencia, amistad y su valioso tiempo que me ayudo a que este trabajo concluyera. Gracias de todo corazón.

Al Mi jurado de tesis M.C. Ma. Magdalena Ofelia Grajales Muñís, M. A. Vicente Silva Carrillo, M. C. Margarita Tadeo Robledo, Ing. Hilda Carina Gómez Villar, Ing. Ángel Cipriano López Cortes por aportar sus correcciones a este trabajo y su valioso tiempo.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	iii
RESÚMEN	iv
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	4
1.2 Hipótesis	4
II REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Importancia del maíz en México y el mundo	5
2.2 Consumo de Maíz	8
2.3 Mejoramiento Genético de Maíz	11
2.4 Importancia del Mejoramiento Genético de las plantas	12
2.5 Logros y Perspectivas del Fitomejoramiento Genético	13
2.6 Hibridación	14
2.7 Mejoramiento Genético para Alta Calidad de Proteína (QPM)	15
2.8 Problemática del Maíz QPM	17
2.9 Maíces de Calidad Proteínica en México	19
2.10 Difusión Actual de Maíces de Calidad Proteínica	21
2.11 El Futuro de los Maíces de Calidad Proteínica	23
2.12 Calidad de Semilla	23
2.13 Importancia del vigor de semilla	27
2.14 Pruebas de vigor	28
2.15 Pruebas Directas	29
2.16 Pruebas Indirectas	30
2.17 Definición de Maleza	32
2.18 Importancia de las Malezas	33
2.19 Definición de Herbicidas	34

2.20	Definición de Modo de Acción	35
2.21	Tolerancia y Resistencia en Maíz con los Herbicidas	35
2.22	Fitotoxicidad	36
2.23	Inhibidores de la Síntesis de Aminoácidos	37
2.24	Inhibidores de Aminoácidos Ramificados	37
2.25	Herbicida Nicosulfurón	39
III	MATERIALES Y MÉTODOS	43
3.1	Localización	43
3.2	Material Genético	43
3.3	Diseño Experimental	44
3.4	Establecimiento de la Cama de Siembra	44
3.5	Siembra	44
3.6	Riegos	44
3.7	Aplicación del Herbicida	45
3.8	Extracción de Plántulas	45
3.9	Variables evaluadas para definir el vigor de los genotipos en estudio	45
3.9.1	Velocidad de emergencia	45
3.9.2	Longitud de raíz y plúmula	46
3.9.3	Peso fresco de raíz y plúmula	46
3.9.4	Peso seco de plúmula y radícula	46
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
V	CONCLUSIONES	53
VI	BIBLIOGRAFÍA	55

ÍNDICE DE CUADROS y FIGURAS

N°	Título del cuadro	Pág.
1	Volumen de la producción nacional de los principales cereales 1996- 2006 Año Agrícola Riego + Temporal (Miles de Toneladas).	7
2	Rendimiento de grano (Kilogramo/hectárea) de maíces de calidad de proteína. Promedio de los ciclos 1998/1999 y 1999/2000 en el estado de Guerrero.	18
3	Promedio de rendimiento de grano (Kilogramo/hectárea) de variedades de maíz de calidad proteínica en el ciclo primavera-verano, años 1999 y 2000, en el estado de Guerrero	19
4	Promedios de rendimiento de grano de híbridos de maíz calidad proteínica en la región de la "Frailesca" (Villaflora), Chiapas, en los ciclos p-v 1999 y p-v 2000, en condiciones de secano.	19
5	Familia Química de los inhibidores en la síntesis de aminoácidos	38
6	Líneas genotípicas de maíz con alta calidad proteínica (QPM) evaluados bajo los tratamientos de sin y con herbicida	43
7	Cuadrados de medias y significancia estadística de variables evaluadas en el vigor de cinco genotipos de maíz con calidad proteínica (QPM), con y sin aplicación de herbicidas en la FESC, UNAM. 2011	49
8	Comparación de medias para diferentes variables evaluadas en cinco líneas de maíz de calidad proteínica (QPM), considerando la media con y sin aplicación del herbicida nicosulfurón en la FESC, UNAM. 2011	50
9	Comparación de medias para diversas variables evaluadas, considerando la media de cinco líneas de maíz con calidad proteínica (QPM) en la FESC, UNAM. 2011.	51
10	Medias de diversas variables evaluadas en cinco líneas de maíz de calidad proteínica (QPM), con tratamiento de aplicación de herbicida Nicosulfurón y sin aplicación en la FESC, UNAM. 2011.	52
N°	Título de la figura	Pág.
1	Producción/Consumo de maíz en México	8
2	Estructura química del Nicosulfurón	39

RESUMEN

En México hay 31 millones de personas que manifiestan algún grado de desnutrición y 18 millones sufren desnutrición severa: por su parte el maíz que se consume en México brinda 59% de la energía necesaria y 39% de la proteína, sin embargo no proporciona suficiente lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para las funciones metabólicas, el crecimiento y el desarrollo humano. Como alternativa a la desnutrición y baja producción, en diversos países donde el cultivo de maíz es importante se trabajan con maíces de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés: Quality Protein Maize), los cuales contienen hasta 100% más de lisina y triptófano que los maíces de calidad normal. Por ello es importante generar tecnología de producción relacionada con el manejo agronómico de los maíces de calidad proteínica. Existen estudios que demuestran la fitotoxicidad por la aplicación de herbicida en maíces QPM. El presente trabajo tuvo como objetivo definir la selectividad del herbicida nicosulfurón sobre genotipos de maíz QPM. Determinar el efecto de la aplicación del herbicida sobre los siguientes parámetros: altura de planta, longitud de radícula, peso fresco y biomasa seca de plántula y raíz. Así como determinar el vigor de los genotipos por medio de pruebas de velocidad. Se evaluaron cinco líneas genotípicas de maíz QPM. En un diseño de bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas, en parcelas de 10 semillas y seis repeticiones, bajo aplicación del herbicida nicosulfurón cuando las plántulas alcanzaran la etapa de cuatro hojas desarrolladas y sin aplicación. En el análisis de varianza se detectaron diferencias altamente significativas en el factor de variación de genotipos, para velocidad de emergencia (VE), longitud de planta (LP), peso fresco de planta (PFP), peso fresco de raíz (PFR), peso seco de planta (PSP) y peso seco de raíz (PSR), en cambio para la variable longitud de radícula (LR) no hubo diferencia estadística. En el caso del factor herbicida, se detectaron diferencia estadística al 05 de probabilidad para la variable de velocidad de emergencia y diferencia altamente significativa al 0.01 de probabilidad para las variables LP, PFP, PFR, PSP, en cambio para las variables LR y PSR no se detectaron diferencias. La

aplicación del herbicida Nicosulfurón, afecto de manera estadística significativa a las variables velocidad de emergencia, longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz peso seco de plántula, en cambio para las variables longitud de radícula y peso seco de raíz no se detectaron diferencias. No hubo diferencias significativas en la interacción genotipo x herbicida, lo que indica que no hubo respuesta diferencial en las líneas ante la aplicación del herbicida. En la comparación de medias para el factor líneas se observó que la línea CML173 se ubicó en el primer grupo de significancia con valores elevados de VE, LP, PFP y PSP. En la variable longitud de plántula, el valor superior estadísticamente correspondió a CML173, con 40.82cm, lo que indica que este genotipo posee mejor capacidad de crecer. En la comparación de medias para las variables PFP y PSP, el genotipo CML176, exhibió el valor más elevado expresado por las otras líneas para cada uno de las variables.

I. INTRODUCCIÓN

En México el maíz es el cultivo de mayor importancia social y económica que ocupa el primer lugar en superficie cosechada y producción. Según cifras preliminares del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en el ciclo agrícola de 2012, se sembraron 7.4 millones de hectáreas de maíz, de los cuales se cosecharon 5.5 millones, que represento el 74.95 por ciento del total de la superficie sembrada. Con ello, la producción ascendió a casi 18 millones de toneladas y un rendimiento promedio nacional de 3.2 toneladas/hectárea. No obstante su producción es insuficiente para satisfacer la demanda interna estimada en 25.7 millones de toneladas, lo que origina un gran déficit que se cubre con importaciones que tienen un costo de 1, 062 millones de dólares. Por otra parte la población en México en el 2010 fue de 112.3 millones de habitantes (INEGI, 2011). Lo que incrementa una necesidad en la producción nacional para ser autosuficientes.

En el país hay 31 millones de personas que manifiestan algún grado de desnutrición y 18 millones sufren desnutrición severa: se trata de diez millones de indígenas y el resto es población urbana con escasos ingresos (Espinosa *et al.*, 2006; Chávez y Chávez, 2004). Por su parte el maíz que se consume en México brinda 59% de la energía necesaria (1,363 kilocalorías) y 39% de la proteína (29 gramos), sin embargo no proporciona suficiente lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para las funciones metabólicas, el crecimiento y desarrollo humano (Espinosa, 2005); lo cual se traduce en bajo nivel nutritivo de la dieta basada en este grano el consumo por persona es de 209.8 kilogramos (Morris y López, 2000). Particularmente, se consume en México 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla de los cuales 64% es a través del método tradicional maíz-masa-tortilla y 36% es a través de la industria de la harinización (SIAP-SAGARPA, 2004)

Como alternativa a la desnutrición y baja producción, en diversos países donde el cultivo del maíz es importante, en los últimos años se trabaja en los llamados maíces de calidad proteínica (QPM, por siglas en inglés: Quality Protein Maize), los cuales

contienen hasta 100% más lisina y triptófano que los maíces comunes; de hecho, la calidad proteínica de los maíces QPM es similar a la leche (Bressani, 1994).

La importancia del mejoramiento es encontrar cultivos tolerantes a los estreses abióticos, a la estabilidad de los rendimientos bajo ataque de plagas, enfermedades y malezas, elevar la rentabilidad del maíz y obtener variedades de alto valor nutritivo para consumo humano y pecuario. (Polanco y Flores, 2008).

Las malezas por su parte son causantes de innumerables daños a los cultivos que repercuten en el rendimiento de estos, disminuyendo así la ganancia de los productores. Entre los principales daños destaca el causado por el efecto que ocasiona la interferencia, constituida por la alelopatía y alelospolia (competencia), así también como la capacidad de hospedar insectos y algunos patógenos causantes de enfermedades, lo que aumenta los costos de producción por la utilización de diferentes medidas de control de sus poblaciones, además de interferir en las labores de cosecha, dependiendo del tipo de maleza presente en las áreas cultivadas (Mejía y Caripe, 2002).

Varios autores señalan a las malezas como uno de los principales factores que afectan negativamente la producción de maíz, las cuales ocasionan pérdidas debido a la interferencia que éstas producen, evidenciándose en una disminución de crecimiento del cultivo y por lo tanto en el rendimiento y calidad del producto y en casos extremos, la muerte de la planta cultivada (Marcano, 2000). Ramírez (1972) Señala que las malezas ocasiona reducciones del rendimiento de maíz entre el 18 y 80% según la zona y el híbrido usado.

Dentro de las alternativas disponibles en el control de malezas en el maíz, es el control químico el más utilizado, el cual se realiza a través del uso de sustancias químicas denominadas herbicidas ya que resulta más práctico en las labores de campo. Por eso se tiene que tener en cuenta el tipo de maleza, su estado de desarrollo al

momento de la aplicación, las condiciones ambientales, las características del cultivo para tener un buen control y tener los más altos rendimientos.

El nicosulfurón es un herbicida altamente selectivo a variedades de maíz, es eficaz a muy bajas dosis para el control de gramíneas y puede mezclarse con otros herbicidas para controlar el número mayor de especies. Sin embargo, existen estudios que demuestran la fitotoxicidad de este producto sobre algunas variedades de maíz amarillo; tal es el caso de la investigación hecha por Hernández *et al.*, (2000a), donde determinaron daños significativos en cuanto a disminución de altura y peso de las plántulas adicionalmente en la disminución del rendimiento en granos que este producto ocasiona en híbridos de maíz amarillo como el Himeca 95, Cargill 633, Pioneer 3018 y Cargill 135.

Es así, la importancia de evaluar los materiales genéticos de maíz con alta calidad proteínica (QPM) del CIMMYT y de la carrera de Ingeniería Agrícola de la FESC-UNAM con el herbicida nicosulfurón (SANSON) para detectar si son afectados después de la aplicación del compuesto químico.

1.1 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Definir la selectividad del herbicida nicosulfurón sobre genotipos de maíz con alta calidad proteínica (QPM) utilizados en el mejoramiento genético en México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar el efecto de la aplicación del herbicida nicosulfurón sobre los siguientes parámetros: altura de planta, longitud de radícula, peso fresco y biomasa seca de plántula y radícula de líneas endogámicas de maíz de alta calidad proteínica.
- Determinar el vigor de los genotipos evaluados por medio de la prueba de velocidad de emergencia.

1.2. HIPÓTESIS

H1. El vigor del material genético del maíz con alta calidad proteínica, presenta una respuesta diferente en la aplicación del herbicida nicosulfurón.

H0. Si se aplica el herbicida nicosulfurón en dosis y tiempo recomendado, entonces no habrá diferencias entre el tratamiento aplicado y el no aplicado.

Ha. La aplicación del herbicida nicosulfurón, no inhibe significativamente la producción de biomasa seca de los genotipos utilizados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del maíz en México y el mundo.

El maíz es una de las plantas de importancia económica de América que junto con el trigo y el arroz, constituye uno de los recursos naturales renovables más relevantes en la historia de la humanidad. Su producción solo se compara con los siguientes 20 cultivos sembrados en el mundo (Perales, 2008). En México el maíz tiene una presencia ancestral en la vida cotidiana a de los pueblos en América, es y ha sido uno de los cultivos primordiales dentro en la alimentación, es el cultivo más importante por las 8,6 millones de hectáreas sembradas cada año (Montes de Oca, 2003); por su importancia en México es catalogado como “la cultura del maíz”.

La domesticación y desarrollo del maíz fue un proceso que incluyó, diversas áreas del sur y el centro de México. Proceso de creación colectiva de todos los pueblos que desde la antigüedad ocupan esta porción de la tierra americana. Por ser un alimento principal de fuente de alimentación, constituye una alternativa para beneficiar a toda la población y sobre todo la malnutrición entre los habitantes de países en desarrollo que aún persisten. Más de 800 millones de habitantes tienen una sub alimentación crónica; y de éstos más de 200 millones de niños sufren deficiencias nutricionales. Además, la malnutrición contribuye a la muerte de 6.6 millones de niños menores de cinco años anualmente. En México la UNICEF reporta que aproximadamente 43% de la población sufre algún problema relacionado con la desnutrición.

La enorme capacidad del maíz para adaptarse tiene que ver con las características fisiológicas de la planta, pero también tiene que ver con el trabajo de domesticación y el conocimiento de los agricultores. Aunque el maíz es una sola especie tiene un gran número de razas y variedades que presentan diferencias amplias entre sí.

El maíz, constituye un tesoro genético para el desarrollo de nuevas y mejores variedades. Por el lugar que ocupa en la alimentación de la población mundial, por sus incomparables cualidades nutritivas, por las ventajas que ofrece para su cultivo y por la diversidad de productos derivados que se obtienen a partir de esta gramínea, el maíz establece un bien estratégico mundial. La acumulación histórica de cualidades biológicas a partir de una sola planta original.

En México y en buena parte del mundo, el maíz se ha convertido en sustento permanente de múltiples grupos campesinos, en el alimento barato de millones de trabajadores asalariados urbanos y en materia prima para la ganadería mundial y la industria de alimentos. Pero por sus versátiles cualidades también podría ser una eficiente base material para organizar una producción libre de explotación y despojo.

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político, cultural y social.

En el Cuadro 1. Se observa que la participación del volumen obtenido de maíz en la producción total de cereales es creciente, ya que en 1996, la participación del maíz fue de 61.5%; en 2002 su contribución alcanzó 67%. En tanto que en 2006 llega al máximo nivel alcanzado en el periodo que se analiza: 68.6% de la producción total de cereales

La producción mundial de maíz alcanzó los 880 millones de toneladas en el año 2007, contra 706 millones de toneladas de maíz el año anterior. Comparando con los 600 millones de toneladas de trigo o los 650 millones de arroz, se comprende la importancia básica a nivel mundial del maíz, no sólo económicamente sino a todos los niveles. Estos datos pueden consultarse en las estadísticas de la FAO (Food and Agricultural Organization, una división de la O.N.U.).

Cuadro 1 Volumen de la producción nacional de los principales cereales 1996-2006 Año Agrícola Riego + Temporal (Miles de Toneladas).

AÑO	MAIZ	TRIGO	SORGO	CEBADA	ARROZ PALAY	AVENA
1996	18,026.0	3,375.0	6,809.5	585.8	394.1	121.5
1997	17,656.3	3,656.6	5,711.6	470.7	469.5	96.5
1998	18,456.4	3,235.1	6,474.8	410.8	458.1	88.8
1999	17,708.2	3,020.9	5,720.3	454.1	326.5	133.1
2000	17,559.0	3,493.2	5,842.3	712.6	351.4	32.5
2001	20,134.3	3,275.5	6,566.5	761.6	226.6	88.9
2002	19,299.1	3,236.2	5,205.9	736.6	227.2	60.1
2003	20,703.1	2,715.8	6,759.1	1081.6	273.3	94.1
2004	21,689.0	2,321.2	7,004.4	931.5	278.5	98.9
2005	19,341.1	3,015.2	5,524.4	760.7	291.1	127.1
2006	21,962.6	3,249.0	5,504.3	856.6	331.6	130.3
TMAC	2.0	-0.4	-2.1	3.9	-1.7	0.7

FUENTE: Sistema de Información Agropecuaria de Consulta. (SIACON-SIAP): Blanca Idalia Sarmiento Sarmiento. 2009. "El maíz cacahuacintle y el Régimen de Protección Especial". Tesis de M.C., División de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma Metropolitana. 209 p.

El grano de maíz para diversas partes del mundo, no tiene como objetivo final el consumo humano. Es un alimento fundamental en el sector pecuario y en el sector industrial, particularmente en la producción de aceites comestibles y en la elaboración de etanol. En Estados Unidos de Norte América la producción de este cereal es destinada en su mayoría para el sistema producto bovino carne, siendo este el sector más importante a nivel mundial. Conjuntamente con el sureste de Brasil, cuya producción porcina se encuentra en los primeros lugares, por sus niveles de calidad, fundamentada por su dieta que es el maíz.

Estado Unidos es el mayor productor con cerca del 45% de la producción total mundial. La productividad puede ser significativamente superior en ciertas regiones del

mundo, así en 2009, el rendimiento medio en Iowa fue de 11, 614 kg/ha, el potencial genético de rendimiento se sigue incrementando como en los últimos 35 años.

2.2. Consumo de Maíz

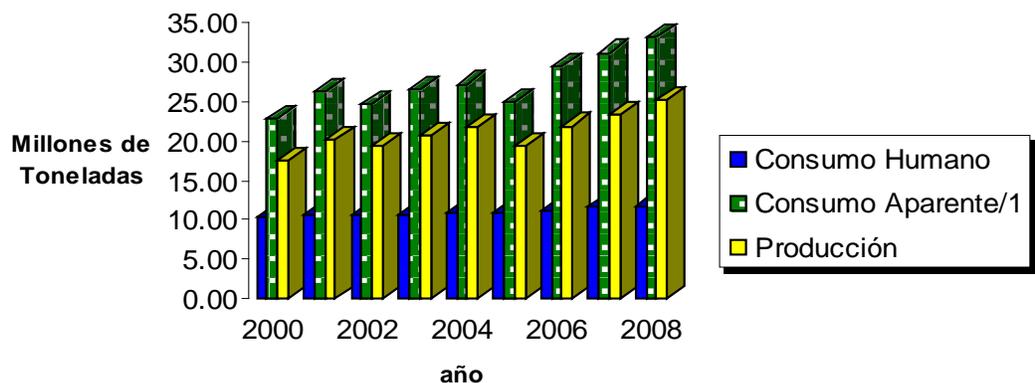
De acuerdo con Sarmiento (2009), el consumo interno humano en México es mantenido con la producción agrícola y la producción industrial pues, “el maíz sigue siendo el sustento principal de los hogares mexicanos rurales y su producción mantiene aproximadamente a 15 millones de personas en un país de 103 millones de los cuales dos tercios son pequeños productores” (Burstein, 2007).

Dentro de los supuestos básicos de este grano, se cultivó en prácticamente todo de mundo desde el siglo XVIII, su consumo a nivel mundial es muy significativo, pues la FAO lo reconoce como uno de los cereales más importantes para la alimentación humana, además de ser la especie agrícola más diversa (www.conabio.mx, 2009c).

En el país según la CONABIO, lo trascendental de su “valor es que es uno de los principales granos de la alimentación mundial, lo que en el caso de México se traduce en un consumo promedio de 350 gramos diarios per cápita en 600 presentaciones diferentes en la alimentación” (www.conabio.mx, 2009c).

Figura 1. Producción/Consumo de maíz en México

FUENTE: Elaboración hecha por Sarmiento, 2009. A partir de información de SAGARPA (www.siap.gob.mx, 2009;



www.financierarural.mx, 2009). 1/ Producción + Importaciones.

Se observa en la Figura 1. La importancia del maíz como sustento alimenticio en el país, pues más de la mitad de la producción del grano en México, es destinada para consumo humano directo, “que representa el 45% de su demanda total “(García y Keleman, 2007). Históricamente, la tortilla es el principal producto derivado del maíz que consumen los mexicanos, adicionalmente en épocas recientes se ha difundido la ingesta de cereal, como desayuno. Por lo que se sugiere, que no se ha logrado sustituir al maíz con otro producto, para disminuir la magnitud de su carga en la nutrición de la mayoría de la población.

El sector agrícola en México, actualmente se enfrenta a un nuevo fenómeno de coyuntura, la elaboración de combustibles a partir de productos alimentarios como el maíz. Para finales del año 2006 y principios del 2007, ya se manifestaban las primeras repercusiones en el país, pues los precios de las tortillas sufrieron un acelerado aumento, la explicación más generalizada fue aquella que se basaba en los incrementos que tenían los costos del maíz norteamericano, por las expectativas que se tenían para destinarlo a la elaboración de etanol, además del interés que ha despertado su capacidad para producir plásticos biodegradables (González y Castañeda, 2008)

En este país, durante el 2006 incrementaron los precios del petróleo, en comparación con los ofrecidos en el 2005, un 20%, en consecuencia los precios de la gasolina y el diésel también aumentaron. Si bien, existen diversas alternativas al uso de hidrocarburos para generar energía como la eólica, la solar, la geotermia, el hidrógeno; la falta de consolidación de una tecnología adecuada, las hace poco competitivas si las comparamos con los carburantes tradicionales (García y Keleman, 2007).

Hasta el momento, el principal insumo para la producción del etanol en Estados Unidos es el maíz, por lo cual la creciente demanda de maíz para fabricar etanol repercutió en el precio de las exportaciones de este grano a México. Entre 2004 y 2005 los precios de base de maíz amarillo y maíz blanco mantuvieron precios similares en promedio. Sin embargo, a lo largo del 2006 los dos tipos de maíz incrementaron sus precios en 58% y 87% respectivamente. Estos incrementos establecieron una brecha

proporcional entre el maíz amarillo y el blanco, colocando el precio del maíz blanco con un 20% por encima de él del maíz amarillo. Al final del 2006 los precios cerraron con el maíz blanco en US \$200/ ton, y el amarillo en US \$166/ton, representando un pico histórico en el precio del maíz en E.U.A (García y Keleman, 2007).

Otras repercusiones fueron, el incremento en los costos de transporte del grano importado de Estados Unidos al país, y de los insumos en la producción de tortilla, la exportación de la cosecha sinaloense, destinada a abastecer al centro y sur del país, a mercados norteamericanos que ofrecían un mejor precio que los nacionales (González y Castañeda, 2008).

En lo que se refiere al debate “combustibles vs alimentos” el surgimiento de la producción de etanol en base de maíz está afectando profundamente el precio de los productos básicos en Estados Unidos y México. Esto beneficiará a corto plazo a los pequeños productores que puedan vender su excedente de cosecha una vez que hayan satisfecho sus necesidades de consumo (Burstein, 2007).

Si bien, el precio del maíz, incluso en el medio rural, recientemente ha presentado una tendencia alcista, los pequeños productores en diversas ocasiones, recurren al mercado a comprar maíz, pues no obtienen suficiente para cubrir sus necesidades básicas de autoconsumo. Los rendimientos obtenidos, en diversas ocasiones, no superan las dos toneladas por hectárea, por lo que no podrían ser beneficiados de este fenómeno (Castañeda, 2004). Los principales acontecimientos que pueden explicar la situación del maíz datan de 1982, cuando se propusieron políticas con miras a restablecer la economía nacional. Por medio de la desintegración de la estructura interna que permitía la proporción de algunos subsidios y operar, aunque con cierta ineficiencia sobre, la producción, distribución y abasto del maíz a lo largo del territorio nacional (García y Keleman, 2007; González y Castañeda, 2008).

Pese a los actuales problemas de producción y abasto de maíz en México, se han planteado diversas propuestas. Varios especialistas en el tema, subrayan que

existen tecnologías y medidas que permitirían abastecer de maíz a todo el país, imperando el “diseño de un sistema de abasto regional del grano, y acudiendo a todos los privilegios que se le otorgan a México a través de los tratados internacionales, se podría fomentar un sistema de manejo de la oferta económicamente rentable que les beneficiaría tanto a los productores de maíz y tortilla como a los consumidores” (García y Keleman, 2007).

2.3. Mejoramiento Genético de Maíz

Las variedades de maíz han evolucionado durante largos periodos de tiempo sometidas a selección natural, bajo medios ambientales y culturales diversos. En general, su evolución se ha producido bajo unas condiciones y protección sanitaria, lo que ha conferido una gran estabilidad productiva.

En forma empírica, el mejoramiento genético del maíz se inicia con los indígenas de México, quienes del teosinte (*Zea mays spp. mexicana*) comenzaron a seleccionar plantas que ofrecían algunas características de su grano para ser aprovechadas en la alimentación. Tampoco podemos hablar de que el indígena usara las plantas del teosinte (muy semejante a la del maíz) para alimentar sus animales pues no los había sino hasta la conquista, unos ocho mil años antes de la época putativa para el origen de esta planta mexicana. Con lo que ha existido el interés de contar siempre con variedades cada vez mejores con características superiores de acuerdo a la conveniencia del hombre (antropocéntrica). En el caso del maíz las variedades mejoradas genéticamente que conviene a una región a un estado, a un país, es una decisión que repercute en la productividad de un país. Las variedades mejoradas representan uno de los insumos de mayor relevancia en el proceso de producción de un cultivo.

Los diversos programas de mejoramiento genético están dirigidos a la obtención de variedades con características sobresalientes y un comportamiento superior al de las variedades existentes o predecesoras. Estas variedades deben ser bien definidas y

debe tener altos rendimientos, uniformes, consistentes y predecibles y además resistentes a enfermedades con lo cual se debe considerar el material genético, que ofrezca la mejor respuesta productiva con un uso racional de los otros insumos. Y se desarrollan para explotar al máximo las condiciones ambientales donde se sembrarán estos materiales

El desafío del fitomejorador consiste en identificar y seleccionar individuos, dentro de esas poblaciones o materiales de partida, con una constitución genética o genotipo determinante de un comportamiento superior para el carácter o caracteres de interés. Desafortunadamente, en la mayoría de las situaciones, el mejorador debe basar su selección en el comportamiento observable de los individuos o fenotipo, el cual no sólo está condicionado por factores genéticos (heredables), sino también por factores ambientales (no heredables). Estos últimos afectan la eficiencia de la selección

El uso de variedades mejoradas y su correspondiente paquete tecnológico, asegura un rendimiento de al menos cuatro toneladas por hectárea bajo el régimen de buen temporal. Sin embargo, el alto costo de la semilla mejorada, máxime de los híbridos y en general del paquete tecnológico, es la principal limitante para su adopción por el agricultor promedio del trópico mexicano.

2.4. Importancia del Mejoramiento Genético de las Plantas.

La creciente demanda de alimentos ha hecho necesario disponer de alimentos y materias primas industrializables en mayor cantidad, por unidad de superficie cultivable.

Por lo tanto 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 y con un menor coste económico

El incremento de la producción agrícola está dada por:

- Mayor eficiencia fisiológica por planta y por hectárea.

- Mayor adaptación a determinada región agrícola o amplia adaptación a diversos ambientes.
- Mejores características agronómicas; resistencia al acame, desgrane, buena cobertura.
- Resistencia a plagas y enfermedades.
- Resistencia a la sequía, temperaturas bajas o altas.

Mejoramiento para la calidad de los productos

- Alto valor nutritivo (proteínas y vitaminas).
- Mayor coloración, sabor y/o tamaño de los frutos.
- Resistencia al transporte y almacenamiento.
- Reducción de la cantidad de ciertas sustancias indeseables en los productos.

2.5. Logros y perspectivas del fitomejoramiento genético

En 1946 se fundó el Instituto Nacional de Investigadores Agrícolas (INIA), junto con la Oficina de Estudios Especiales (OEE) han concentrado sus esfuerzos en el mejoramiento de las variedades más prometedoras en las áreas más productoras del maíz. El programa se basó para mejorar aún más sus características.

Como la polinización libre y las más importante se produjo híbridos sobresalientes, mediante la recombinación de la línea autofecundada ((X)). Por unas variedades llamados mestizos a *top-cross* y su rendimiento fue de un 20 a 30 %. Estos a su vez fueron remplazados por cruza dobles formadas por líneas autofecundas S_1 y se obtuvo mayor incremento. Todas estas variedades obtenidas requieren mayor cuidado y atención.

2.6 Hibridación

El maíz híbrido es la progenie de la primera generación de un cruzamiento entre líneas endogámicas

La hibridación es un método de mejoramiento genético que utiliza la polinización cruzada entre progenitores genéticamente distintos, con el propósito de obtener recombinación genética. Después de llevarse a cabo la polinización cruzada, se cultivan generaciones segregantes y se seleccionan líneas puras, una vez que se ha alcanzado la homocigocidad. El propósito es identificar y seleccionar líneas que combinen genes deseables provenientes de ambos progenitores. Las líneas seleccionadas se evalúan mediante pruebas de progenie para verificar la presencia de una combinación de genes deseables. Las líneas que demuestren ser superiores pueden multiplicarse como un nuevo cultivar.

Aparte de combinar genes que determinan caracteres visibles de los progenitores, es posible seleccionar plantas de las progenies segregantes que caen fuera de los límites de los progenitores.

En México el uso de variedades mejoradas e híbridos de maíz ha sido muy importante para incrementar la producción y el rendimiento de grano de este cultivo.

Ante el retiro del mercado de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) la demanda de semilla híbrida de esta especie se ha satisfecho mediante la participación de nuevas compañías especializadas en la generación y adopción de técnicas propias de la producción de insumo. Esta técnica como el desespigamiento manual y la proporción de surcos hembras y machos, tienen el objetivo de que la semilla de los híbridos que los fitomejoradores generan puedan producirse en la cantidad y con la calidad que permitan su utilización comercial. Sin embargo, la aplicación de algunas estas técnicas como el desespigamiento manual en los lotes de producción de semilla híbrida, ocasionan un incremento en los costos de la producción, lo que obliga a las empresas a buscar otras opciones lo que permite realizar la misma labor, a menor costo, y de ser posibles, con mayor eficiencia. Una de esas opciones es emplear

diversos tipos y fuentes de androesterilidad (génico- citoplasmático) a través de la utilización de líneas androesteriles como progenitores femeninos, lo cual disminuye el costo de producción pues se elimina la necesidad de desespigar (Martínez *et al*, 2005).

El desarrollo y mejoramiento de las líneas de maíz es un proceso sistemático en el cual se involucra diferentes y nuevas metodologías de selección mediante la cuales se descartan algunas líneas en las primeras etapas de selección con base en su apariencia fenotípica y más tarde por su aptitud combinatoria, como resultado de las pruebas tempranas. Sin embargo, generalmente los fitomejoradores encuentran dificultades en la extracción de líneas superiores, hecho que puede ser atribuido a las fuentes de germoplasma y a la combinación de presión endogámica a la que se somete dicho germoplasma. (Hallauer, 1990, citado por Vergara *et al.*, 2003), estimo que cuando mucho 0.10% de las líneas desarrolladas son utilizadas en la producción comercial de híbridos. Las plantas que caen fuera del intervalo de los progenitores se conocen como segregados transgresivos (Poehlman, 2005).

2.7. Mejoramiento Genético para Alta Calidad de Proteína (QPM)

Actualmente la producción de maíz es muy importante por ser el alimento principal de la dieta del mexicano. Sin embargo, la proteína del grano de maíz es deficiente en la proporción de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para el ser humano y para los animales. Además no se cuenta con suficientes variedades comerciales con características agronómicas deseables y de alta calidad de proteína para siembras a gran escala, solo en México hay 31 millones de personas con algún grado de desnutrición severa se trata de indígenas y el población urbana. En este marco, el maíz es fundamental en la alimentación de los mexicanos, ya que se calcula un consumo aparente de 209,8 kilogramos por persona (Morris y López, 2000).

El consumo generalizado del maíz con alta calidad proteínica mejoraría el nivel nutricional es principalmente importante en la población rural que depende del maíz para cubrir sus necesidades alimenticias, de manera especial en niños, madres

lactantes. También tiene buen potencial como ingrediente en las fórmulas alimenticias para los cerdos y las aves de corral.

El maíz QPM es semejante al maíz normal en sus características agronómicas, su rendimiento y la calidad física de su grano, pero tiene casi el doble de lisina y triptófano y un contenido de aminoácidos generalmente más equilibrado, lo cual aumenta su valor nutritivo.

Mertz *et al.*, (1964) y Mertz (1994), indica que por más de 30 años se han acumulado datos que prueban que los maíces de endospermo suave y duro que contienen el gen opaco-2, son superiores a los maíces normales en relación al contenido de lisina y triptófano con valores nutricionales 50 % superiores. Por esta razón, este tipo de maíz debería reemplazar al maíz normal como alimento para humanos y animales. Larkins *et al.* (1995).

El maíz con alta calidad proteína deriva del aprovechamiento del gen mutante opaco o2o2 (descubierto en 1963 en la Universidad de Purdue, Estados Unidos, en semillas de un maíz procedente de Perú), el cual en su versión homocigótica recesiva, se expresa con mayor contenido de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales en la alimentación (Mertz *et al.*, 1964; Mertz, 1994; Vasal, 1994) concentración genes modificadores del endospermo para lograr la textura cristalina o dentada en el grano, que expresa el gen o2o2, obteniendo con ello líneas, híbridos y variedades con la textura del maíz común, con características aptas para la industria, para consumo tradicional.

En el último decenio, con el patrocinio de la Fundación Nipona, el CIMMYT y sus colaboradores han generado y promovido las variedades e híbridos QPM, que hoy día se siembran en 25 países en desarrollo.

A fines de los años 80 y 90, los mejoradores del CIMMYT Magni Bjarnason y Kevin Pixley se basaron en la labor de Villegas y Vasal para desarrollar variedades de

QPM con alto rendimiento. Más recientemente, el mejorador del CIMMYT Hugo Córdova y sus colegas generaron híbridos de QPM con alto potencial de rendimiento, los cuales han ensayado y promovido por todo el mundo. El aumento en el rendimiento de los nuevos híbridos de QPM (en promedio 10% más que el de los híbridos comerciales locales) ha captado la atención de los mejoradores y los encargados de formular políticas en muchos países en desarrollo (Córdova, 2001).

Aun cuando se dispone de progenitores de híbridos adaptados a las aéreas de alto potencial de rendimiento, poco ha sido su aprovechamiento, ya que cambio el orden de prioridades de los programas, quedando de lado los maíces de calidad proteínica.

2.8. Problemática del Maíz QPM.

Las primeras variedades desarrolladas con el tipo Opaco 2 poseían granos con la misma cantidad total de proteína, pero con el doble de los aminoácidos esenciales. Su principal desventaja, sin embargo, fue que el endospermo de la semilla era de textura harinosa, por lo que el peso de grano y el rendimiento que el agricultor obtendría eran muy bajos, además de que los granos eran fácilmente atacados por las plagas. Estas desventajas propiciaron que todos los países, incluyendo a México, abandonaran en 1975 las investigaciones con Opaco 2. Solo los investigadores Surinder Vasal y Evangelina Villegas persistieron en sus investigaciones hasta lograr un nuevo tipo de gran contextura normal en el endospermo pero con mejor calidad, lo cual permitió que en la década de los ochenta se obtuviera lo que ahora se conoce mundialmente como maíz de calidad proteica (QPM).

Los trabajos desarrollados por Vasal y Villegas (citados por CIMMYT, 2001) Estos genes modificados le confieren al endospermo una textura más dura que el maíz opaco, dando la apariencia de un maíz común o normal (Vasal, 1994). Larkins y Mertz (1994), indicaron que los maíces con el gen opaco contienen de 40 a 50% más lisina y 35 a 40% más triptófano.

En México se evaluó un grupo de variedades e híbridos y se definieron los mejores, lo cual se ejemplifica en los cuadros 2 y 3. Se confirmó que el rendimiento de algunos híbridos y variedades de maíces de calidad proteínica superan a los de los testigos de calidad normal, en Guerrero y Chiapas (Espinosa *et al.*, 2006).

Cuadro 2. Rendimiento de grano (Kilogramo/hectárea) de maíces de calidad de proteína. Promedio de los ciclos 1998/1999 y 1999/2000 en el estado de Guerrero.

Híbridos	Tipo de híbrido	Rendimiento medio (Kilogramo/hectárea)	Superioridad (%)
H-553C (Calidad proteínica)	Trilineal	7558	114
H-365C (Calidad proteínica)	Trilineal	7100	107
H-558C (Calidad proteínica)	Simple	7795	104
H-516 (Testigo calidad normal)	Trilineal	6641	100
H-367C (Calidad proteínica)	Simple	6598	99

(Fuente: Espinosa *et al.*, 2006)

A partir de estas variedades de maíces de calidad proteínica se ha producido semilla, y se han realizado investigaciones para apoyar el futuro uso y difusión masiva de este germoplasma. Se llevaron en México a cabo hasta 2002 ocho proyectos: mejoramiento genético, producción y tecnología de semillas, forrajes, plagas de granos almacenados, manejo agronómico, transferencia de tecnología, efecto en alimentación humana y dieta de animales, y análisis de la calidad. (Espinosa *et al.*, 2006).

Dentro de las actividades en producción y tecnología de semillas se efectuó la caracterización de variedades, como requisito para tramitar la inscripción en el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación. En 1999 y 2000 se inscribió más de 30 híbridos y variedades (Espinosa *et al.*, 2006).

Se considera que sería posible a corto plazo la siembra de los maíces de calidad proteínica en una superficie cercana a 300 mil hectáreas.

Cuadro 3. Promedio de rendimiento de grano (Kilogramo/hectárea) de variedades de maíz de calidad proteínica en el ciclo primavera-verano, años 1999 y 2000, en el estado de Guerrero.

Variedad	Tipo de variedad	Media de dos años	Superioridad (%)
HV-521C (Calidad proteínica)	Híbrido varietal	7473	121
V-537 (Calidad proteínica)	Variedad	6495	106
VS-535C (Calidad proteínica)	Sintética	6802	111
VS-529 (Testigo calidad normal)	Sintética	5589	91
H-367C (Calidad proteínica)	Variedad	6127	100
MEDIA DE TESTIGOS		6393	104

(Fuente: Espinosa *et al.*, 2006)

El consumo generalizado del maíz con alta calidad de proteína mejorará el nivel nutricional, principalmente en la población rural que depende del maíz para cubrir sus necesidades alimenticias, de manera especial en niños, madres lactantes y ancianos.

2.9. Maíces de Calidad Proteínica en México.

Se requieren cada año más de 18 millones de toneladas de grano. El rendimiento medio nacional es de 2,4 toneladas por hectárea. Actualmente se importa 30 por ciento del maíz que se requiere.

Cuadro 4. Promedios de rendimiento de grano de híbridos de maíz calidad proteínica en la región de la "Frailesca" (Villaflora), Chiapas, en los ciclos p-v 1999 y p-v 2000, en condiciones de secano.

Genotipo	Tipo de Híbrido	Rendimiento medio (Kg/ha)	Superioridad (%)
H-441 C (Calidad proteínica)	Simple	5703	112
H-551 C (Calidad proteínica)	Simple	5479	108
H-363 C (Calidad proteínica)	Trilineal	5312	104
H-514 (Testigo calidad normal)	Simple	5087	100

(Espinosa *et al.*, 2006)

La formación y utilización de una nueva variedad de maíz implica por lo menos 12 años de dedicación. Durante ese lapso se satisfacen las etapas de elección del mejor germoplasma, la derivación de líneas, la formación de híbridos experimentales, la evaluación y selección de los mejores materiales, la validación en terrenos de productores, el incremento de los progenitores del mejor híbrido, la producción de semilla y su difusión, promoción y distribución comercial. Se tienen resultados sólo después de 20 o más años.

Para registrar en México las variedades mejoradas se realizaron numerosas investigaciones a partir del ciclo otoño-invierno 1998/1999 en los campos experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Se recolectó información de cada uno de los materiales, líneas y cruza simples progenitoras, para integrar la caracterización varietal de cada material.

Los materiales liberados para su uso en México incluyen diferentes tipos de variedades como son híbridos simples, híbridos trilineales, variedades sintéticas, híbridos varietales, la mayoría son de grano blanco sin embargo, se cuenta con tres materiales amarillos, así como una variedad con adaptación para su uso como forrajera para ensilar.

Una vez que las variedades y los híbridos fueron inscritos en el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación, en 1998 se inició la producción de semilla de alto registro (categoría básica y registrada), y en el ciclo primavera-verano de 1999 se inició el incremento de semilla certificada (Espinosa *et al.*, 2006)

En el comercio de semillas para identificar a las variedades de calidad proteínica se les adiciona la letra "C" después del número de registro asignado; esta letra significa "calidad".

2.10. Difusión Actual de Maíces de Calidad Proteínica

Es necesario contar con suficiente semilla para ofrecerla a los agricultores interesados. Por ello, a partir del ciclo otoño-invierno 1998/1999, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias ha multiplicado la semilla básica y registrada de las variedades con la finalidad de abastecer a empresas de semillas, que a su vez se encargan de obtener semilla de categoría certificada.

Con la semilla que cumplió con los elementos de calidad, fueron establecidas 70 mil hectáreas con materiales de calidad proteínica en 20 estados mexicanos en el año 2000. En algunos lotes de semilla se detectó baja germinación; éstos fueron eliminados. Se detectaron casos en los cuales terrenos de alta productividad fueron sembrados indebidamente con estas variedades, ya que su ámbito de respuesta debe ser en condiciones de secano; en estos casos el rendimiento fue insuficiente, de acuerdo con la expectativa de los agricultores.

La multiplicación de semillas requiere información científica y tecnológica acerca de su manejo agronómico, aéreas de adaptación óptimas, fechas de siembra, coincidencia a floración, relación hembra-macho, forma de desespigue, siembras diferenciales para asegurar polinización, densidad de población, fertilización y demás información que permita obtener máximos rendimientos de cada progenitor, así como de semilla certificada.

El híbrido QPM, denominado H-365 C el cual posee un potencial de producción de 10 t/ha, florece a los 78 días, posee grano blanco, madura a los 145 días. Se estima de manera conservadora que podría sembrarse en forma inmediata en 24 mil hectáreas por sus ventajas agronómicas. La tecnología de producción de semillas para el híbrido trilineal H-363 C, indica que está integrado por la cruce simple hembra (CML141 x CML144) y la línea macho CML176, la floración femenina en la cruce simple hembra ocurre en el ciclo primavera-verano a los 75 a 80 días y en el ciclo otoño-invierno a los

70 a 75 días, en este tiempo debe iniciarse el desespigamiento eliminando la espiga junto con una hoja.

El rendimiento que puede esperarse de semilla del híbrido H-363 C es de 6,0 a 8,0 t/ha en El Bajío durante el ciclo primavera - verano, y de 4,0 a 6,0 t/ha en el Trópico mexicano en el ciclo otoño - invierno.

El híbrido H-553 C con un potencial de producción superior a 11 t/ha, florece a los 79 días, posee grano blanco semidentado, madura a los 95 días en el área tropical de Veracruz. Se estima de manera conservadora que podría sembrarse en forma inmediata en 40 mil hectáreas por sus ventajas agronómicas. La semilla de este híbrido puede ser incrementada en otoño – invierno en zonas con altitudes de 0 a 1000 msnm.

La tecnología de producción de semillas para el híbrido trilineal H-553 C, indica que está integrado por la cruce simple hembra (CML142 x CML150) y la línea macho CML176, la floración femenina en la cruce simple hembra ocurre en el ciclo primavera-verano a los 75 a 80 días en cambio en el ciclo otoño-invierno se presenta de 70 a 75 días, en este tiempo debe iniciarse el desespigamiento eliminando la espiga junto con una hoja.

La línea macho libera polen en ciclo similar a la exposición de estigmas de la cruce simple hembra, por lo cual la siembra del progenitor hembra y macho es simultánea. Ambos progenitores deben sembrarse con una densidad de población de 50 mil plantas/ha. La relación de surcos hembra y surcos macho adecuada para lograr productividad de semilla es 6:2 (Surcos de progenitor hembra y surcos de progenitor macho respectivamente) Conviene aplicar insecticidas sistémicos en la etapa de crecimiento vegetativo, es decir durante los primeros 55 días, para prevenir incidencia de plagas y vectores de enfermedades como rayado fino, miles de y otras.

El rendimiento que puede esperarse de semilla del híbrido H- 553 C es de 6,0 a 8,0 t/ha en El Bajío durante el ciclo primavera - verano, y de 4,0 a 6,0 t/ha en el Trópico mexicano en el ciclo otoño – invierno (Espinosa *et al.*, 2006).

2.11. El futuro de los maíces de calidad proteínica.

En México, aun cuando inicialmente el programa arranco con grandes expectativas, el avance en los últimos años ha sido lento. Si bien se continúa trabajando, será necesario replantear adecuadamente la estrategia para lograr un mejor aprovechamiento. Actualmente se trabaja con la incorporación de androesterilidad y capacidad restauradora a los híbridos de calidad proteínica, para facilitar la producción de semilla y apoyar el desarrollo de empresas de semillas en baja escala, así como asociaciones de productores. Se desarrollan nuevos híbridos y variedades con ventajas sobre los primeros materiales de calidad proteínica. Debe reconocerse que no es fácil, ya que la calidad proteínica es un carácter recesivo que se pierde si no se maneja adecuadamente, por ello es necesario organizar esquemas de producción

En la FESC, UNAM se llevan a cabo trabajos de mejoramiento genético con el objetivo de incorporar el carácter de alta calidad de proteína a las líneas progenitoras de los híbridos Puma de maíz adaptados a la zona de los Valles Altos y Zona de Transición Bajío Valles Altos de México, 1800 a 2600 metros sobre el nivel del mar.

2.12. Calidad de Semilla.

En los primeros tiempos de la agricultura primitiva cuando predomina una vida nómada, la experiencia práctica, enseñó que solamente la semilla de mejor calidad de cualquier cultivo debería ser seleccionada. La calidad de semilla es mencionada en escritos de la antigüedad desde la filosofía china del siglo X a. c. hasta la Biblia. Centenas de años después, se desarrolló el comercio nacional e internacional de semilla, y la calidad de semilla se transforma en un tema a ser debatido, pero, infortunadamente, más por razones negativas que positivas. Prácticas comerciales inescrupulosas y/o una falta de conocimiento por parte de aquellos que están involucrados en el comercio de semillas de Europa y América del siglo XIX originaron

las primeras leyes de semillas el desarrollo del llamado “arte y ciencia de análisis de semillas”.

La necesidad de determinar la calidad de las semillas surgió en Europa, como consecuencia de problemas constatados en la comercialización. De esta forma, en 1869, fue creado en Alemania el primer laboratorio de semillas y en 1876, fue publicado el primer manual de análisis de semillas. Simultáneamente en América, se realizaban los procedimientos iniciales para la realización de las pruebas de pureza y de germinación que dieron origen a las primeras reglas para análisis de semillas en 1897(D.L. Ana, 2001).

En el año de 1917, fue publicada la primera versión de las Reglas para Análisis de Semillas de la AOSA (Asociación Oficial de Análisis de Semillas) para Canadá y Estados Unidos. (D. L. Ana, 2001).

De forma similar, en Europa, fue fundada la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (ISTA) en 1924. Los objetivos de esa asociación se orientaron principalmente, al comercio internacional de semillas, y son desarrollar, establecer y publicar procedimientos padrones para el muestreo y análisis de semillas, promover la aplicación uniforme de estos procedimientos para la evaluación de semillas, participaren el desarrollo de investigación en el área de tecnología de semilla, estimular la certificación de cultivares, participar de conferencias y de cursos de entrenamiento y mantener contacto con otras organizaciones ligadas al área de semilla. La reglas para Análisis de Semillas del ISTA, publicadas y actualizadas desde 1928, son adoptadas actualmente en 73 países (D.L. Ana, 2001).

La calidad de semilla es un concepto que comprende diversos componentes, a pesar de que para muchos agricultores, semilla de calidad es aquella que germina y está libre de especies invasoras. Entonces se puede definir como el nivel o grado de excelencia, el cual es asumido por las semillas solamente cuando son comparadas con

un estándar aceptable. La semilla puede ser Superior, Buena, Mediana o Pobre en calidad. (Andrade, 1992).

La expresión fenotípica final de una semilla, es función de tres elementos: genotipo, ambiente e interacción genotipo-ambiente (Márquez, 1988) En estos términos cuando una semilla llega a manos del agricultor, lleva consigo los efectos del conjunto de actividades y condiciones a las que voluntaria o accidentalmente fue sometida. Tales efectos, se traducen en potencial agronómico que se manifiesta a través de su desarrollo biológico (Moreno, 1996)

La calidad de la semilla es un concepto múltiple que comprende varios componentes, los cuales se refieren a la conveniencia o aptitud de la semilla para sembrarse.

La calidad es un componente integral que está formando por cuatro componentes:

1. Componente Genético.
2. Componente Fisiológico
3. Componente Sanitario
4. Características Físicas

El máximo nivel de una semilla se obtiene en la madurez fisiológica, sin embargo este máximo nivel incorpora los conceptos antes mencionados y debe tenerse en cuenta que en el proceso de beneficio puede mejorarse la calidad física al separarse y uniformizar tamaños de semilla atractivos comercialmente.

Calidad de semilla: Pureza varietal + germinación + vigor + nivel de incidencia de enfermedades + contaminación física + daño mecánico + uniformidad +...+ otros.

Todo este conjunto de cualidades deseables es lo que debe tener una semilla, que permite un buen establecimiento del cultivo con plantas vigorosas, sanas y representativas de la variedad en referencia. La expresión del potencial genético de la variedad se logra a plenitud, si se presentan condiciones favorables: ambiente (clima-suelo), manejo tecnológico adecuado, durante el proceso de incremento de la semilla, con lo cual se alcanza la calidad deseada. Pero los cuidados para obtener una calidad de semilla empieza durante la producción en el campo, cosecha, limpieza, tratamiento, almacenamiento, transporte, hasta que la semilla al agricultor que la usará en su parcela.

Una semilla de buena calidad por sí misma no garantiza un comportamiento satisfactorio en el campo, si no tiene a su vez la información genética adecuado para responder ante determinada condición. Por otro lado también se cumple, una variedad con determinado potencial genético no lograra expresarse a plenitud si la semilla que contiene la información genética de esa variedad, no reúne las condiciones mínimas de calidad. Por lo que estos dos elementos indisolubles deben manejarse en forma adecuada.

Cabe señalar que un programa de mejoramiento genético que desarrolle variedades mejoradas, acorde a las necesidades del agricultor y del mercado, no tendrá éxito o impacto si las semillas de esas variedades no llegan al usuario en las cantidades requeridas, en el lugar y momento y sobre todo con la mejor calidad posible.

Por ello mismo, todas las empresas de semillas consideran fundamental ambos campos de trabajo, es decir el mejoramiento genético y la producción y tecnología de semillas, unidos de manera integral, para lograr la satisfacción del usuario de la semilla que ofrece cada empresa, todo el esfuerzo y años de dedicación para generar, desarrollar, producir, beneficiar y ofrecer semillas, se cristaliza cuando este insumo es sembrado y responde a las expectativas de los agricultores que la utilizan, de esta manera es esperado que quien la utiliza la vuelva a requerir en el ciclo siguiente.

Una vez obtenida una variedad es preciso mantener sus características en las generaciones siguientes, razón por la cual es necesario realizar una serie de operaciones llamadas Mejora de conservación.

2.13. Importancia del vigor de semilla

El vigor en plántulas es una característica de calidad importante en semillas, sobre todo cuando las condiciones de siembra, y preparación del terreno no son óptimas

En forma un tanto relacionado, el mayor vigor de la semilla, ocurre cuando la semilla se ubica en la madurez fisiológica, después de este punto, la expresión del vigor puede mantenerse en se nivel alto, si existen las condiciones favorable a para ello, en este sentido conviene establecer algunas definiciones.

El vigor híbrido o heterosis es el fenómeno genético por el cual los descendientes de una fecundación cruzada muestran mayor vitalidad que sus progenitores (Márquez, 1988).

El vigor híbrido es el incremento en tamaño, vigor o productividad de una planta híbrida sobre el promedio o media de sus progenitores. Así el maíz híbrido esa la primera generación de una cruza entre líneas autofecundadas (Poehlman, 2003).

Villaseñor (1984) conceptualiza al vigor como “la capacidad de la semilla puesta en diferentes condiciones ambientales para emerger más rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo posible”.

Vigor *per se*: Que puede representarse en términos de rapidez de crecimiento y tamaño alcanzado, capacidad para desarrollar bajo condiciones desfavorables.

La diferencia en semillas con alto y bajo vigor se detecta solo en fases iniciales de crecimiento y bajo condiciones adversas, pero no hay suficientes evidencias de que el efecto se observe en rendimiento (Tadeo y Espinosa, 2001).

La ISTA (International Seed Testing Association, 1996) Citadas por Moreno (1996) maneja varios conceptos para explicar el 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
7. Patógenos

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, aun no se conoce claramente cuáles son los factores más importantes involucrados en esta característica y como mejorarla.

Tadeo y Espinosa (2004) señalan que la importancia del vigor de semillas 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.

2.14. Pruebas de vigor.

Isly, citado por Solares (1995), menciona, que una prueba de vigor no es una prueba de respuesta *per se*, la respuesta en campo de un determinado lote de semillas puede estar más estrechamente correlacionado con las pruebas de vigor o con las pruebas de vigor o con las pruebas ordinarias de laboratorio, dependiendo de la naturaleza de las condiciones de campo bajo las cuales se siembra. Así una prueba de

vigor es entonces un estudio bajo condiciones ambientales específicas que proveen medios que detecten diferencias que no sean discernibles en una prueba de laboratorio ordinaria y que tenga como objetivo el de proveer resultados que sean reproducibles y que estén correlacionados con el comportamiento de las semillas en campo.

Copeland y Mc Donald, (1995), por considera que la prueba ideal de vigor debería ser rápida; fácil de ejecutar, sin necesidad de un equipo complejo, igualmente útil para evaluar semillas individuales como para poblaciones y además debe ser capaz de detectar mínimas diferencias en vigor. Menciona también que algunos aspectos para medir el vigor son:

- 1.- Velocidad de germinación
- 2.- Uniformidad de germinación y desarrollo de plántulas bajo condiciones adversas
- 3.- Habilidad para emerger a través de una costra de suelo
- 4.- Germinación y emergencia de plántulas en suelos fríos, húmedos y con patógenos
- 5.- Anormalidades morfológicas de la planta.
- 6.- Rendimiento del cultivo
- 7.- Almacenamiento bajo diversas condiciones.

Perry (1981) señala como las cuatro principales áreas donde se pueda observar el efecto del vigor:

1. Procesos relacionados bioquímicamente o durante la germinación tales como reacciones de enzima y actividad respiratorias
2. Proporción y uniformidad en la germinación de la semilla y crecimiento en el semillero.
3. Proporción y uniformidad en la germinación de la semilla y crecimiento en campo
4. Habilidad de emergencia de la semilla bajo condiciones ambientales desfavorables.

Por lo anterior, las diferentes pruebas de vigor se pueden agrupar de la siguiente manera.

2.15. Pruebas de vigor directas.

Se caracteriza por la evaluación de vigor; se efectúa una vez que la semilla ha germinado bajo condiciones favorables de germinación, en otros casos, estas pruebas pueden ser realizadas bajo condiciones de campo o de laboratorio. Entre las principales pruebas directas se encuentran:

- Prueba de frío (Cold test):
- Prueba de crecimiento de plántulas (se mide el crecimiento de plántulas).
- Prueba de velocidad de crecimiento del cogollo y peso seco de éste.
- Prueba de velocidad de germinación.
- Prueba del primer recuento de emergencia
- Prueba de envejecimiento acelerado
- Prueba de ladrillo molido

2.16. Pruebas de vigor indirectas.

Este tipo de pruebas son más sofisticadas que las pruebas directas, ya que por lo general requieren de aparatos especializados o sustancias que no fácilmente se consiguen; el nombre de directas se dé en a la evaluación de vigor que se aplica directamente a la semilla antes que se inicie la germinación. Entre estas pruebas se encuentra:

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 hidrogeno 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 a la oscuridad y a temperatura de 21 a 35°C, el tiempo de exposición depende de la especie y la concentración de la solución (Moreno 1996)

- Prueba de la tasa de respiración.
- Prueba de la actividad del ácido glutámico descarboxilasa (GADA).
- Prueba de niveles de Adenosina Trifosfato (ATP).
- Prueba de conductividad eléctrica.
- Prueba de cambios de permeabilidad.
- Prueba de cloruro de amonio.
- Prueba de hidróxido de sodio.
- Acumulación de materia seca.

Prueba de Velocidad de emergencia.

La velocidad de emergencia es una prueba de vigor donde la emergencia rápida es esencial para estimar el vigor. Sin embargo, existen controversias debido a que pueden suceder que semillas vigorosas no germinen por no poseer las condiciones adecuadas y sean catalogadas como pobre de vigor ya que luego de dicho periodo germinaran sin haber sufrido frente a las condiciones adversas. También se pueden dar casos de baja velocidad de germinación por dormancia y otro de germinación acelerada por la presencia de hongos en semillas de vigor pobre.

Este parámetro se puede calcular fácilmente dividiendo el número de plantas normales emergidas en cada recuento de la población de semillas puestas a germinar. 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.

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

Dónde:

X= Número de plántulas emergidas por día.

n = Número de días después de la siembra

$i = 1, 2, 3, \dots, n-1, n$

Virgen (1983), señala al respecto que muchos autores afirman que existe una relación directa y significativa del tamaño de semilla con la germinación y emergencia en campo y con el vigor.

Vargas (1996) señala que el empleo de una escala de calificación para medir vigor (alto, medio, bajo) en un esquema de mejoramiento genético mediante el índice de velocidad de emergencia debe ir acompañada de la evaluación de las líneas e híbridos de maíz con base al peso seco de plántulas y porcentaje de germinación.

La cantidad de materia seca acumulada por las plantas es un aspecto muy importante de la calidad fisiológica, pues resulta como una media práctica de la actividad metabólica, lo cual es muy importante una vez que la planta se ha establecido, ya que a partir de ese momento la planta mejor dotada de estructura morfo fisiológicas se destacara en su desarrollo (Tanaka y Yamaguchi, 1984).

Este parámetro con llevo a considerar la expresión del peso seco de la parte aérea (PSPA) y del peso seco de la raíz (PSR), ambas estructuras son igualmente importantes para el subsiguiente desarrollo vegetativo, pues en general una mayor proporción de superficie radicular implica un mayor volumen de suelo explorado, y que en forma interactiva con una mayor superficie fotosintética en la parte aérea proporciona un mejor desarrollo posterior al establecimiento en campo (Evans, 1983).

2.17. Definición de Malezas.

Las malezas son plantas que crecen donde no son deseadas e interfieren con los intereses del hombre (Ashton y Mónaco, 1991). Las malezas compiten todos los cultivos por luz, agua y nutrimentos y si no son controladas oportuna y eficientemente, reducen significativamente su rendimiento y la calidad de los productos cosechados (Bridges, 1995).

Las malezas representan la plaga más importante en la agricultura, pudiendo causar serias pérdidas de rendimiento en los cultivos si no se manejan eficientemente. En países desarrollados el uso de herbicidas en los cultivos principales como maíz, soya, trigo, arroz, caña de azúcar, representan el 100% de su área cultivada (Duke, 1996).

El manejo de malezas implica el uso de todas aquellas prácticas, medidas, herramientas y productos tendentes a limitar la infestación de malezas hasta un grado tal que no afecte o interfiera económicamente con la producción agrícola en un área determinada (Adames, 2008).

2.18. Importancia de las Malezas.

La presencia de la maleza en los cultivos ocasiona mermas en el rendimiento y calidad de los productos cosechados e incrementa los costos de producción. El manejo de maleza debe integrar prácticas para el control de la maleza existente y para prevenir la producción de nuevos propágulos, reducir la emergencia de maleza hace énfasis en la conjunción de medidas para anticipar y manipular las poblaciones de maleza, en lugar de reaccionar con medidas emergentes de control cuando se presentan fuertes infestaciones Rosales et al., 2007. (Dileman y Montensen, 1997).

Las malezas representan en la agricultura la principal limitante biótica de los rendimientos agrícolas, evidenciándose así un impacto económico negativo; por ello el control de malezas ocupa un importante lugar en la distribución de los gastos totales del cultivo, que para el caso del maíz puede ser aproximadamente un 35% (Anzalone, 2002).

En el maíz, los efectos de interferencia sobre el rendimiento dependen de la densidad de las malezas y de las especies predominantes, así como la disponibilidad de factores de crecimiento durante el periodo del ciclo del cultivo en el cual la interferencia de malezas causa mayores daños, situación que ocurre durante las

primeras etapas de crecimiento, específicamente entre la tercera y la quinta semana de edad del cultivo (Rodríguez, 2000).

Las pérdidas en el rendimiento del cultivo de maíz causadas por las malezas son cuantiosas y pueden superar el 81% en aquellos casos donde interfieren durante todo el ciclo del cultivo (Mejía, 1992).

La maleza puede ser controlada en forma mecánica, cultural, biológica o química. El control químico de la maleza se realiza por medio de la aplicación de herbicidas y es una de las principales herramientas en la agricultura moderna. Sin embargo, el uso de herbicidas requiere de conocimientos técnicos para la elección correcta y aplicación eficiente y oportuna de estos productos (Anderson, 1996).

2.19. Definición de Herbicidas.

Los herbicidas son compuestos químicos que aplicados a las plantas, reaccionan con sus constituyentes morfológicos o interfieren en sus sistemas bioquímicos, promoviendo efectos morfológicos o fisiológicos en grados variables que matan o inhiben parcial o totalmente, el crecimiento de las plantas (Camargo, 1986).

Los herbicidas ejercen su acción interfiriendo en procesos específicos del crecimiento y/o desarrollo de las plantas. Así, ciertos grupos o familias actúan como auxinas naturales de las plantas; algunos inhiben el transporte de electrones en las reacciones fotosintéticas; otro, inhiben la síntesis de la cadena ramificada de aminoácidos, y otros más, inhiben la síntesis de los microtúbulos en la mitosis o alteran la integridad de las membranas celulares (Devine *et al.*, 1993).

De esta manera, los herbicidas se pueden agrupar en familias de herbicidas que tienen un modo de acción similar. Más aún, los herbicidas que pertenecen a una misma familia, generalmente tienen una estructura química similar; inducen síntomas similares sobre las plantas que afectan; tienen el mismo espectro de control de maleza, y los métodos para su aplicación también son similares (Chacón, 1999).

2.20. Definición modo de acción

Se refiere a la secuencia de eventos que ocurre desde el momento en que el herbicida entra en contacto con la planta hasta la muerte de ésta. Dicho de otra manera, el modo de acción de un herbicida comprende la suma total de respuestas anatómicas, fisiológicas y bioquímicas, que hacen posible la acción tóxica de un químico, así como su ubicación y degradación en la planta (Aston y Crafts, 1981).

El conocimiento del modo de acción de las diferentes familias químicas de herbicidas, es una herramienta indispensable en el manejo racional de herbicidas y malezas. Conociendo el modo de acción de los herbicidas se pueden diagnosticar daños en cultivos y malezas; se organiza mejor la rotación de cultivos y malezas; se diseñan mejores mezclas o secuencias de herbicidas, y en general, se hace uso más adecuado de estos importantes insumos agrícolas. Su conocimiento, permite prolongar el tiempo en que éstos compuestos permanecen como herramientas útiles en el manejo de malezas (Chacón, 1999).

Aunque es común que los términos modo y mecanismo de acción de los herbicidas sean usados como sinónimos, existen claras diferencias entre estos términos. El modo de acción se refiere a los eventos que provocan los herbicidas y el mecanismo de acción al sitio o proceso bioquímico específico que es afectado (Baumann et al., 1998; Gonsolus y Curran, 1996).

2.21. Tolerancia y resistencia en maíz con el herbicida.

La tolerancia a herbicidas, es definida por el Comité de Acción para la Resistencia a Herbicidas (HRAC, por sus siglas en inglés), como “la habilidad inherente de una especie para sobrevivir y reproducirse después de haberla sometido a un tratamiento herbicida. Lo anterior implica que no hubo selección o manipulación genética para hacer a la planta tolerante; ésta es, naturalmente tolerante”

A diferencia de la tolerancia, el fenómeno de resistencia, es definido por el HRAC como “la habilidad heredable de una especie vegetal para sobrevivir y reproducirse

después de haberla sometido a un tratamiento herbicida a dosis normalmente letales para la especie susceptible”. Este proceso puede originarse como consecuencia de la presión de selección generalmente impuesta por la aplicación continua de herbicidas en dosis elevadas, el uso repetido de herbicidas con el mismo modo de acción y/o de herbicidas con prolongados efectos residuales. Sin embargo, en una planta, la resistencia puede desarrollarse de manera natural o puede ser inducida por medio de técnicas como la transgénesis o selección de variantes resistentes obtenidas por cultivo de tejidos o mutagénesis (Heap, 2010).

El herbicida Nicosulfurón es utilizado ampliamente para el control de malezas de hojas anchas y gramíneas en el cultivo de maíz (Widstrom y Dowler, 1995). Este es un herbicida perteneciente al grupo de las sulfonilureas, que son inhibidores de la enzima acetolactato sintetasa (Wright y Penner, 1998; Ray, 1984) en la síntesis de aminoácidos de cadena ramificada (Ross y Lembi, 1999).

La tolerancia de las plantas como el maíz a los herbicidas sulfonilureas está basada principalmente en el rápido metabolismo del herbicida hacia compuestos no tóxicos (Simpson *et al.*, 1995), el cual es realizado inicialmente por el sistema monooxigenasas citocromo P450, seguido por una conjugación con glucosa (Siminsky, 1995).

2.22. Fitotoxicidad

La fitotoxicidad se define como el efecto nocivo que presenta un vegetal por la aplicación de un agroquímico. La acción de los agroquímicos en las plantas se inicia a partir del contacto y penetración a través de las hojas, tallos y raíces (Giménez, 1989).

No obstante, algunos compuestos no son capaces de moverse en el interior de la planta, localizándose en los sitios de penetración inicial y ocasionando una acción local. Cuando los productos se utilizan de forma inadecuada, pueden dar lugar a la necrosis, roturas o muerte de los tejidos y enrollamiento en las hojas, u otros síntomas fitotóxicos (Giménez, 1989).

La fitotoxicidad suele aparecer por el efecto de algunas de las siguientes acciones relacionadas en general con el mal uso y manejo de los productos fitosanitarios: mezcla de productos incompatibles, utilización de dosis más elevadas a las indicadas en la etiqueta, limpieza inadecuada del material de aplicación, realización de tratamientos en condiciones desfavorables para el cultivo (Fernández *et al.*, 2002).

La acción fitotóxica de los productos, depende directamente del contenido en el ingrediente activo, de su solubilidad en agua y actividad química. Igualmente se estima como causa importante de las necrosis y otros síntomas fitotóxicos, el bajo pH existente en la solución del plaguicida y compuestos inertes; sin descartar la influencia de las condiciones ambientales (Giménez, 1989).

2.23. Inhibidores de la síntesis de aminoácidos

Existen varias familias de herbicidas que afectan la síntesis de aminoácidos, los cuales son esenciales para la formación de proteínas requeridas para el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los inhibidores de la síntesis de aminoácidos pueden dividirse en inhibidores de aminoácidos ramificados e inhibidores de aminoácidos aromáticos (Nissen *et al.*, 2004).

2.24. Inhibidores de aminoácidos ramificados

Estos herbicidas incluyen las familias químicas: Sulfonilureas, imidazolinonas, triazolopirimidinas y pirimidiniltiobenzoatos (Paterson *et al.*, 2001). Los inhibidores de aminoácidos ramificados actúan sobre gramíneas y hojas anchas que los absorben por raíces y hojas y mueren en tres a cuatro semanas. Los síntomas de daño de estos herbicidas incluyen: clorosis y necrosis de los meristemas o puntos de crecimiento, pérdida de la dominancia apical, inhibición de raíces secundarias y achaparramiento. En gramíneas, las hojas emergen del cogollo con arrugamiento y presentan clorosis o un aspecto traslúcido o desarrollan una coloración rojiza. En hojas anchas, las plantas presentan falta de crecimiento, nervaduras rojas y los puntos de crecimiento muertos

aunque las hojas basales permanezcan verdes. El mecanismo de acción de estos herbicidas es la inhibición de la enzima Acetolactato sintetasa (ALS) provocando que no se sinteticen los aminoácidos valina, leucina, e isoleucina, por lo que la planta no puede producir proteína y muere.

Esta clase de herbicidas son utilizados para el control de maleza de hojas anchas y gramíneas en una gran variedad de cultivos. Su selectividad es fisiológica y radica en la velocidad de detoxificación de las plantas tratadas. Su aplicación puede ser en presiembra, preemergencia o postemergencia pues son absorbidos por hojas y raíces y transportadas por el xilema y el floema, sin embargo el método de aplicación es específico para cada herbicida.

Este grupo de herbicidas se distingue por su baja toxicidad a humanos y a mamíferos y el uso de dosis muy baja (5 a 100 g/ha). Los inhibidores de aminoácidos ramificados presentan una alta residualidad en el suelo y pueden afectar a cultivos sembrados en rotación. La actividad de las sulfonilureas se incrementa en el suelo con pH mayor a 7.2 y pueden causar daños al cultivo tratado. Por otra parte, la aplicación de insecticidas organofosforados dentro de 15 días a la aplicación de sulfonilureas reduce su selectividad en cultivos gramíneas (Baumann *et al.*, 1998).

Cuadro 5 Familia Química de los inhibidores en la síntesis de aminoácidos

Familia química	Nombre común	Nombre comercial	Cultivos
Sulfonilureas	Nicosulfurón	Accent, Sansón	Maíz
	Primisulfuron	Tell, Beacon	Maíz
	Prosulfuron	Peak	Maíz y Sorgo
	Halosulfuron	Permit, Sempra	Maíz, sorgo, arroz, caña
	Metsulfuron	Ally	Trigo, cebada
	Triasulfuron	Amber	Trigo
	Clorimuron	Classic, Assert	Soya
Imidazolinonas	Imazenthapir	Pivot, Pursuit	Soya
	Imazaquin	Sceptet	Soya
	Imazethabenz	Assert	Trigo, Cebada
	Imazapir	Arsenal	Áreas no agrícolas
Triazolopirimidinas	Flumetsulam	Broadstrike	Soya
	Cloransulam	Firstrate	Soya
Pirimidiniltiobenzos	Pirithiobac	Staple	Algodón
	Bispirac	Regiment	Arroz

Fuente: Rosales, 2007

2.25. Herbicida Nicosulfurón

Nombre químico

2-(4,6-dimetoxipiridin-2-ilcarbamil)-N, N-dimetilnicotinamida, en la Figura 2. Se presenta la estructura química del Nicosulfurón.

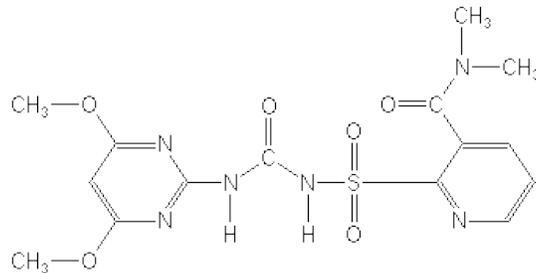


Figura 2. Estructura química del nicosulfurón

Propiedades físicas y químicas

- Solido blanco, inodoro
- Punto de ebullición 169-172° C
- Solubilidad en el agua de 0.059 g/l. a 20°C
- DL50 oral del producto formulado 14. 666 mg/kg en ratas

Modo de Acción del herbicida Nicosulfurón

El nicosulfurón es un herbicida sistémico, selectivo. Es fácilmente absorbido a través del follaje, pero también es absorbido por el sistema radical. Dentro de la planta es transportado hacia los puntos de crecimiento. Actúa en las plantas inhibiendo la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada (valina, leucina, isoleucina) al igual que los demás herbicidas sulfonilureas inhiben la enzima Acetolactato sintetasa (ALS) necesaria para la síntesis de los aminoácidos (Chacon, 1999).

Mecanismo de acción del Nicosulfurón

Por pertenecer a la familia de las sulfonilureas, es un potente inhibidor de la división celular y del crecimiento vegetal, impidiendo la acción catalítica de la enzima acetolactato sintetasa (ALS), conocida también como acetohidroxitirato sintetasa (AHAS), la cual es una enzima clave en la biosíntesis de aminoácidos de cadena ramificada. La reacción catalizada por la ALS consiste en la condensación de dos moléculas de piruvato para formar α -Acetolactato, el precursor de la leucina y valina. La enzima también puede llevar a cabo la misma reacción con piruvato y α -ketobutirato para formar α - Aceto- α -Hidroxitirato, el precursor de la isoleucina (Osuna et al, 2001).

La inhibición de la ALS por herbicidas parece suceder por una unión de herbicida-enzima en un sitio activo de la enzima. Esta unión produce que la actividad de la enzima se vea afectada, pero por ser unión en el sitio activo de la enzima, cambios en dicho sitio por mutaciones que eviten la unión herbicida-enzima no afectan de forma significativa la actividad de la enzima, de allí puede explicarse la razón de la rápida evolución de las malezas con resistencia a herbicidas inhibidores de la ALS (Duke y Fayán, 2001).

Como resultado de la inhibición de la ALS además de inhibir la división celular (mitosis) y paralización del crecimiento vegetal, se observa: incrementos en los niveles de α -ketobutirato, compuesto que puede ser tóxico para algunas especies, aumento en los niveles de antocianinas; y tal como lo reporta Ray (1984) citado por Anzalone (2002) se produce una pronunciada disminución en la síntesis de ADN.

Sintomatología del herbicida Nicosulfurón

Los síntomas evidentes del daño causado por este herbicida no se observan hasta unos seis a diez días después del tratamiento, aunque el crecimiento se detiene de forma inmediata. Las áreas meristemáticas se tornan cloróticas, seguido de una necrosis general (Ahrens, 1994).

Marcarano (2000) comenta que las plantas tratadas con inhibidores de aminoácidos de cadena ramificada presentan sus primeros síntomas a las 48 horas de su aplicación, este consiste en una paralización del crecimiento, aunque no puedan observarse. Luego aparecen tonalidades rojizas en nudos y en los bordes de las hojas por acumulación de antocianinas; es común observar mayor tamaño en la nervadura central, deformación de hojas, daños en los meristemas apicales y acames de las plantas. Este conjunto de síntomas producen una muerte progresiva de la planta.

Fitotoxicidad del Nicosulfurón en el maíz

Se han señalado diferencias en la selectividad del nicosulfurón en algunos híbridos o variedades de maíz; Green y Ulrich (1993) señalan algunas restricciones de nicosulfurón en algunos híbridos simples de maíz, variedades, en maíz dulce y maíz para palomitas et al., (1993) y Monks et al., (1992) encontraron diferencias en la selectividad de nicosulfurón en ocho híbridos de maíz dulce y comentan que el daño ocasionado por nicosulfurón a los diferentes híbridos fue mayor a medida que se incrementó la dosis del producto. La altura de las plantas de maíz fue la variable más afectada.

Por su parte, Stall y Bewick (1992) identificaron los genes que producen la sensibilidad al nicosulfurón entre 12 variedades de maíz estudiadas, siendo estos los genes sh2 y se. Kang (1993) indica que la susceptibilidad del maíz al nicosulfurón es controlado por un gen recesivo denominado nsF. Widstrom y Dowler (1995) demostraron que la tolerancia de los materiales no híbridos al nicosulfurón está controlada por un único gen antosomonal recesivo.

Mejía *et al.*, (1993) señala una mayor susceptibilidad a nicosulfurón de híbridos dobles de maíz amarillo en comparación con híbridos dobles blancos. Hernández y Mejía (1996) reportaron disminuciones en el peso seco de plantas del híbrido doble de maíz amarillo "Himeca-95" que variaron entre el 14 y 35%, ocasionadas por los tratamientos

a base de nicosulfurón, mientras que en el híbrido doble blanco "Ceniap PB-8" alcanzaron el 4%.en esas reducciones.

Hernández *et al.*, (2000a) Estudio la selectividad del nicosulfurón solo y en mezcla con atrazina y bentazon en cuatro híbridos dobles de maíz amarillo; los híbridos de maíz evaluados fueron: "Himeca 95; "Cargill 633"; Pionner 3018" y "Cargill 135"; se encontró una disminución significativa en la altura y el peso seco de los híbridos de maíz evaluados y reducciones entre 10 y 34% de la producción de granos. Los cuatro híbridos dobles de maíz amarillo fueron afectados de igual manera por los tratamientos con nicosulfurón. El peso seco de la planta de maíz fue la variable más afectada por los tratamientos del nicosulfurón.

Continuando con esas investigaciones, Ríos (2003) evaluó el efecto fitotóxico del herbicida nicosulfurón en varios materiales genéticos de maíz amarillo tales como: Híbrido amarillo Cargill 4004, híbrido amarillo Cargill 505, variedad amarilla Himeca 3005, variedad amarilla D505, variedad amarilla D9003 y el doble híbrido blanco Himeca 2000. La dosis del herbicida nicosulfurón usado fue de 30g. i. a.ha⁻¹ aplicado sobre las plantas de maíz cuando presentaban 5-6 hojas. Se encontró que la variedad en donde se evidencio un número mayor de parámetros afectados fue el híbrido amarillo Cargill 505, quien presentó un número mayor de plantas afectadas, un porcentaje superior de plantas afectadas y una disminución en el peso de cien semillas. Nicosulfurón afectó la altura y redujo en un 13.3% el peso promedio de granos por parcela del híbrido amarillo 4004. Todas las variedades amarillas estudiadas fueron afectadas de manera desigual por el herbicida nicosulfurón.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización.

El trabajo se realizó en el invernadero y en el Laboratorio de Producción y tecnología de granos y semillas de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán Campo 4 de la Universidad Nacional Autónoma de México (FESC, UNAM), ubicada en la carretera Cuautitlán – Teoloyucan km 2.5 San Sebastián Xhala, Cuautitlán Izcalli, México delimitada en los paralelos 19° 39´ - 19°45´N y los meridianos 99°88´ - 99°14´W, y a una altitud de 2274 msnm.

3.2 Material Genético

Se evaluaron cinco líneas genotípicas de maíz con alta calidad proteínica (QPM), cuatro generadas en el CIMMYT y una desarrollada en la FESC-UNAM. Cuadro 6.

Cuadro 6. Líneas genotípicas de maíz con alta calidad proteínica (QPM) evaluados bajo los tratamientos de sin y con herbicida

Tratamientos	Genotipo	Tratamiento Herbicida	Tipo de material
1	IA 19	SIN HERBICIDA	LINEA
2	CML 144	SIN HERBICIDA	LINEA
3	CML172	SIN HERBICIDA	LINEA
4	CML173	SIN HERBICIDA	LINEA
5	CML174	SIN HERBICIDA	LINEA
6	IA 19	CON HERBICIDA	LINEA
7	CML144	CON HERBICIDA	LINEA
8	CML 172	CON HERBICIDA	LINEA
9	CML173	CON HERBICIDA	LINEA
10	CML 174	CON HERBICIDA	LINEA

3.3. Diseño experimental

Se sembraron las cinco líneas en un diseño de bloques completos al azar, con arreglo de parcelas divididas, estableciendo cada uno de las líneas, en parcelas de 10 semillas y seis repeticiones, bajo aplicación de herbicida y sin aplicación. Para facilitar el manejo, se estableció como parcela grande la aplicación de herbicida y dentro de esta, se aleatorizaron las líneas, en igual forma en la otra parcela sin aplicar (testigo). El análisis estadístico se efectuó en forma factorial, considerando genotipo (5) y tratamiento de herbicida/testigo sin aplicar (2).

3.4. Establecimiento de la cama de siembra

Se utilizaron 6 contenedores de plástico de la marca Sterilite con medidas de 88.3 cm x 41.9 cm x 15.2 cm siendo su peso 1.040 kg. El sustrato que se usó fue una mezcla comercial estéril llamada Canadian Growing Mix 1VM, el cual se requirió aproximadamente de 4.085kg por recipiente.

3.5. Siembra

La siembra se llevó a cabo el día 16 de Mayo de 2011. Se utilizó una plantilla para que fuera homogénea la distancia entre semilla y semilla en cada uno de las charolas. Se utilizaron 10 semillas con una distribución de 3.5 cm entre planta y planta y 8.2 entre hileras con una densidad de población de 28.7 cm²

3.6. Riegos

El primer riego se humedeció todo el sustrato puesto en la charola usando 4.5 L. de agua, siendo la aplicación el mismo día de la siembra, posteriormente los siguientes riegos se hicieron cada segundo día, reduciendo al mínimo el estrés hídrico. El último riego se hizo tres días antes de la medición de plúmula y radícula.

3.7. Aplicación del Herbicida

El herbicida Nicosulfurón (SANSON) es un herbicida selectivo aplicado en post-emergencia cuando el cultivo de maíz llega tener entre 4 y 8 hojas verdaderas, es así que se dejó pasar un mes después de la siembra, siendo el 15 de junio del 2011, la aplicación. Usando un aspersor manual previamente calibrada marca Matabi modelo súper agro 16 con boquilla de campana rectangular 0.95L por minuto con capacidad de 16 litros. Utilizándose 5 litros de agua y 0.025L de herbicida, de acuerdo con la dosis recomendada por el fabricante.

3.8. Extracción de plántulas.

Doce días después de la aplicación del nicosulfurón se llevó a cabo la extracción de plántulas, usando herramientas de campo para separar las plántulas del sustrato y no lastimar el sistema radicular, posteriormente se hizo un lavado en la radícula para quitar el exceso de suelo para poder hacer la medición y pesaje de plántula y radícula

3.9. Variables evaluadas para definir el vigor de los genotipos en estudio.

Para este ensayo se evaluaron las siguientes variables siete días después de la siembra, y doce días después de la aplicación (42 días después de la siembra)

3.9.1. Velocidad de emergencia

Este dato se tomó por cada surco, consistió en una cuantificación diaria, después de la emergencia de la primera plántula siendo el 23 de mayo del 2011 y concluyo el 1 de junio, siendo la última emergencia de plántulas. Posteriormente dicho dato se utilizó para obtener la velocidad de emergencia.

Calculo la velocidad de emergencia por medio de la siguiente fórmula:

$$V. E.= (X1)/1+ (X2)/2 + (X3)/3+.....+ (Xi -1)/n-1 + (Xi)/n$$

Dónde:

X= Número de plántulas emergidas por día

n= Número de días después de la siembra

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

3.9.2. Longitud de raíz y plúmula

La longitud de raíz y plúmula, se obtuvieron midiendo en cms. con la ayuda de una regla, la longitud de la raíz desde la inserción con el tallo hasta la punta de la raíz, de 5 plántulas elegidas al azar por parcela; así como la longitud de la plúmula de cada una de las plántulas extraídas.

3.9.3. Peso fresco de raíz y plúmula

El Peso fresco de raíz y plúmula se obtuvieron haciendo un corte de la plántula a partir de la inserción, para separar raíz y plúmula, con la ayuda de un bisturí y posteriormente pesando en una balanza granataria, ese dato se obtuvo en gramos.

3.9.4. Peso seco de plúmula y radícula

El Peso seco de raíz y plúmula, Para obtener el dato de esta variable fue necesario colocar las partes aéreas y raíces de cada tratamiento en bolsas de papel, para posteriormente secarlas en una estufa Felisa a una temperatura de 70° durante 72 horas. Una vez que se hubieron deshidratado se procedió a pesar raíz y plúmula en una balanza granataria, para obtener el peso en gramos.

En el presente estudio se utilizó semilla categoría original por lo que se contaba con un número muy reducido de semillas, debido a esto no se realizó la prueba estandarizada de germinación, sin embargo la semilla de esta categoría es la de más alto registro por ser la semilla que tiene el mejorador.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza se detectaron diferencias estadísticas altamente significativas en el factor de variación de genotipos, para velocidad de emergencia, longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz, peso seco de plántula y peso seco de raíz, en cambio para la variable longitud de radícula no hubo diferencia estadística (Cuadro 7).

En el caso del factor herbicida, se detectó diferencia estadística significativa al 05 de probabilidad para la variable de velocidad de emergencia y diferencia altamente significativa al 0.01 de probabilidad para las variables longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz, peso seco de plántula, en cambio para las variables longitud de radícula y peso seco de raíz no se detectaron diferencias (Cuadro 7).

Lo anterior señala que el herbicida influyó en la respuesta de las variables velocidad de emergencia, longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz, peso seco de plántula, en la aplicación o no aplicación en las líneas (genotipos) en evaluación.

En el factor de variación de la interacción genotipo x herbicida, en ninguna variable se detectaron diferencias altamente significativas en la interacción Línea x herbicida, lo que indica que no hubo respuesta diferente de las líneas ante la aplicación del herbicida.

Los resultados de los análisis de varianza anteriores, pudiesen tener explicación ya que el herbicida pudo afectar a las líneas manejadas, además de mostrar cierta tendencia a este problema por la propia naturaleza de los maíces de calidad proteínica (Espinosa *et al.*, 2006).

Para las diferentes variables los coeficientes de variación fueron de 4.91 % para longitud de plúmula, el valor más bajo, hasta 18.82 % que correspondió a la variable peso fresco de raíz.

Cuadro 7. Cuadrados de medias y significancia estadística de variables evaluadas en el vigor de cinco genotipos de maíz con calidad proteínica (QPM), con y sin aplicación de herbicidas en la FESC, UNAM. 2011.

Factor de variación	Velocidad emergencia	Longitud plúmula (cm)	Longitud radícula (cm)	Peso fresco plántula (g)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco plántula (gr)	Peso Seco Raíz (gr)
Genotipo	0.171328**	152.0637**	201.1371	20.5664**	109.232**	2.0583**	1.959**
Herbicida	0.097697*	262.5460**	79.1431	107.7360**	38.0806**	1.9801**	0.066
Gen*herb	0.21948	4.7753	81.5398	1.6239	13.9210	0.2756	0.1633
Repetición	0.08409	86.995**	151.045	34.6120**	347.295**	2.2908**	0.777*
C.V (%)	13.4	4.91	16.91	11.16	18.82	14.30	18.17
Media	1.24	36.72	46.24	11.54	9.37	1.85	1.16

En la comparación de medias para el factor líneas, se observa que la línea CML173 en las diferentes variables evaluadas se ubicó en el primer grupo de significancia, con valores elevados de velocidad de emergencia (1.220), longitud de plúmula (40.82 cm), peso fresco de plántula (12.88 g), peso seco de plántula (2.20 g), en cambio otras líneas expresaron buen valor para alguna variable y otras líneas para otras variables (Cuadro 8).

En la variable velocidad de emergencia, se presentaron dos grupos de significancia, entre las líneas, la que expreso el valor estadísticamente superior fue CML172, con 1.369, en cambio el menor valor correspondió a CML174, con 1.082 cm (Cuadro 8).

En la variable longitud de plúmula, el valor superior estadísticamente, correspondió a CML173, con 40.82 cm, lo que indica que este genotipo posee mejor capacidad de crecimiento en su plántula, con respecto a las otras líneas.

En la comparación de medias para las variables peso fresco de plántula y peso seco de plántula, el genotipo CML176 en ambos casos exhibió el valor más elevado (12.88 g y 2.20 g, respectivamente), que fue superior a los valores expresados por las otras líneas para cada una de las variables (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias para diferentes variables evaluadas en cinco líneas de maíz de calidad proteínica (QPM), considerando la media con y sin aplicación del herbicida nicosulfurón en la FESC, UNAM. 2011.

Genotipo	Velocidad emergencia	Longitud plúmula (cm)	Longitud radícula (cm)	Peso fresco plántula (cm)	Peso fresco raíz (g)	Peso seco plántula (g)	Peso seco raíz (g)
CML172	1.369 A	32.85 C	44.40 AB	12.90 A	10.63 A	1.82 B	1.34 A
IA 19	1.353 A	36.16 B	47.65 AB	10.97 B	11.00 A	1.71 B	1.37 A
CML 173	1.220 AB	40.82 A	46.62 AB	12.88 A	9.47 AB	2.20 A	1.15 AB
CML 144	1.191 AB	39.94 A	51.81 A	9.92 B	7.41 C	1.69 B	0.89 C
CML 174	1.082 B	33.84 C	40.72 B	11.01B	8.35 BC	1.85 B	1.05 BC
D.S.H. (0.05)	0.192	2.09	9.07	1.49	2.04	0.30	0.24

Con respecto a la influencia del herbicida con relación a las líneas manejadas en este estudio, la comparación de medias señala que para la variable velocidad de emergencia no hubo significancia, ya que en el tratamiento con aplicación de herbicida y sin aplicación de herbicida, no se detectaron diferencias (Cuadro 9). En forma similar ocurrió para la variable longitud de radícula, donde no hubo diferencia estadística.

En el promedio de las líneas evaluadas, para el caso de la variable longitud de plúmula fue superior el valor de la longitud (38.81 cm) y diferente estadísticamente con respecto al tratamiento con aplicación de herbicida (34.63 cm), lo que señala un efecto negativo de la aplicación de Nicosulfurón (Cuadro 9).

Para la variable peso fresco de pluma y peso seco de plúmula, hubo efecto estadístico adverso al aplicarse herbicida, ya que en ambas variables el peso sin herbicida (12.88 g y 2.04 g, para peso fresco y peso seco de plúmula), fue superior (10.20 g y 1.68 g, peso fresco y peso seco de plúmula, respectivamente al aplicarse herbicida). La variable peso seco de plúmula es relevante y señala la influencia al aplicar el herbicida señalado (Cuadro 10). En el caso del peso seco de raíz, ocurrió al contrario de lo reportado en párrafos anteriores, es decir, que al aplicar herbicida para esta variable el valor alto correspondió al tratamiento con herbicida, lo que se podía deber a la naturaleza de la variable (Cuadro 9).

Cuadro 9. Comparación de medias para diversas variables evaluadas, considerando la media de cinco líneas de maíz con calidad proteínica (QPM) en la FESC, UNAM. 2011.

HERBICIDA TRATAMIENTO	Velocidad emergencia	Longitud Plúmula (cm)	Longitud radícula (cm)	Peso fresco plúmula (g)	Peso fresco radícula (g)	Peso seco plúmula (g)	Peso seco radícula (g)
SIN HERBICIDA	1.202 A	38.81 A	45.09 A	12.88 A	8.58 B	2.04 A	1.13 A
CON HERBICIDA	1.283 A	34.63 B	47.39 A	10.20 B	10.17 A	1.68 B	1.19 B
D. S. H. (0.05)	0.09	0.94	4.06	0.67	0.91	0.14	0.11

En el cuadro 10, se presentan las medias de cada una de las líneas de maíz, con los valores obtenidos sin y con aplicación de herbicida, para diferentes variables evaluadas, es importante esta información ya que se observa para cada genotipo el tipo de respuesta ante el herbicida Nicosulfurón.

Cuadro 10. Medias de diversas variables evaluadas en cinco líneas de maíz de calidad proteínica (QPM), con tratamiento de aplicación de herbicida Nicosulfurón y sin aplicación en la FESC, UNAM. 2011.

Genotipo	Herbicida	Velocidad emergencia	Longitud Plúmula (cm)	Longitud radícula (cm)	Peso fresco plúmula (g)	Peso fresco radícula (g)	Peso seco plúmula (g)	Peso seco radícula (g)
IA 19	Sin Herbicida	1.315	37.600	49.186	11.750	10.383	1.783	1.383
IA 19	Con Herbicida	1.390	34.733	46.123	10.200	11.616	1.650	1.366
CML 144	Sin Herbicida	1.180	43.056	52.813	11.300	6.583	1.916	0.900
CML 144	Con Herbicida	1.202	36.826	50.813	8.550	8.250	1.466	0.883
CML 172	Sin herbicida	1.332	34.733	41.426	14.500	10.216	1.983	1.283
CML 172	Con Herbicida	1.406	30.973	47.380	11.300	11.050	1.666	1.400
CML 173	Sin Herbicida	1.216	42.670	42.033	14.116	7.766	2.400	1.033
CML 173	Con Herbicida	1.224	38.970	51.213	11.650	11.183	2.016	1.283
CML 174	Sin Herbicida	0.970	36.030	40.013	12.733	7.950	2.116	1.050
CML 174	Con Herbicida	1.194	31.668	41.428	9.300	8.766	1.583	1.050

V. CONCLUSIONES

1. El análisis de varianza detectó diferencias estadísticas altamente significativas en genotipos, para velocidad de emergencia, longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz, peso seco de plántula y peso seco de raíz.
2. La aplicación del herbicida Nicosulfurón, afectó de manera estadísticamente significativa a las variables velocidad de emergencia, longitud de plúmula, peso fresco de plántula, peso fresco de raíz, peso seco de plántula, en cambio para las variables longitud de radícula y peso seco de raíz no se detectaron diferencias.
3. No hubo diferencias estadísticas significativas en la interacción genotipo x herbicida, lo que indica que no hubo respuesta diferente de las líneas ante la aplicación del herbicida.
4. En la comparación de medias para el factor líneas, se observó que la línea CML173 en las diferentes variables evaluadas se ubicó en el primer grupo de significancia, con valores elevados de velocidad de emergencia (1.220), longitud de plúmula (40.82 cm), peso fresco de plántula (12.88 g), peso seco de plántula (2.20 g).
5. En la variable longitud de plúmula, el valor superior estadísticamente, correspondió a CML173, con 40.82 cm, lo que indica que este genotipo posee mejor capacidad crecer en su plántula, con respecto a las otras líneas.
6. En la comparación de medias para las variables peso fresco de plántula y peso seco de plántula, el genotipo CML176 en ambos casos exhibió el valor más elevado (12.88 g y 2.20 g, respectivamente), que fue superior a los valores expresados por las otras líneas para cada una de las variables.

7. En la variable longitud de plúmula fue superior el valor de la longitud (38.81 cm) y diferente estadísticamente con respecto al tratamiento con aplicación de herbicida (34.63 cm), lo que señala un efecto negativo de la aplicación de nicosulfurón.

8. Para la variable peso fresco de plúmula y peso seco de plúmula, hubo efecto estadístico adverso al aplicarse herbicida, ya que en ambas variables el peso sin herbicida (12.88 g y 2.04 g, para peso fresco y peso seco de plúmula), fue superior (10.20 g y 1.68 g, peso fresco y peso seco de plúmula, respectivamente) al aplicarse herbicida). La variable peso seco de plúmula es relevante y señala la influencia al aplicar el herbicida señalado.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Adames, Q. S. 2008. Evaluación del efecto del herbicida nicosulfurón sobre diferentes materiales genéticos de maíz (*Zea mays* L.) En Venezuela. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado. Cadabure, Venezuela.
- Anderson, W. P. 1996. Weed Science: Principles. 3rd edition. West Publishing Co., St. Paul, MN. 338p.
- Andrade B., H. J. 1992, Mejoramiento del vigor en semillas de maíz y su relación con emergencia y rendimiento. Tesis de Maestría y ciencia. C. P. Montecillos, México.
- Ahrens, W. 1994. Herbicide Handbook. Weed Science of América. Séptima edición. EUA. 104p
- Ashton, F. M. and A. S. Crafts. 1981. Mode of action of herbicides. 2^a. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York. 525 p.
- Asthan, F. M. and T. J. Mónaco. 1991. Weed Science. 3^a. Ed. John Wiley and Sons. New York.
- Anzalone, A. 2002. Evaluación del efecto del herbicida nicosulfurón sobre diferentes materiales genéticos de Maíz en Venezuela. Proyecto de investigación CDCHT 001-Ag.2002. Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado.
- Baumann, P. A., P. A. Dotray and E. P. Prostko. 1998. Herbicide mode of action and injury symptomology. Texas Agriculture Extension Service. The Texas A&M University System. SCS-1998-07. 10p.

- Bressani R. 1994. Opaque 2 Corn in Human Nutrition and Utilization. In: Quality Protein Maize: 1964-1994. Proc. The Internaciona Symposium on Quality Protein Maize. Embrapa/CNPMS, Sete LagoasMG Brasil. December 1-3, 1994. P. 41-63.
- Bridges, D. C. 1995. Weed interference and weed ecology. Pp: 417-422. In: Herbicide Action Course. Purdue University. West Lafayette. Indiana.
- Burnstein, Jhon. 2007. Comercio agrícola México-Estados Unidos y la pobreza rural en México, Centro Woodrow Wilson y La fundación IDEA, México, pp. 5-18.
- Camargo, P. N. 1986. Herbicidas Orgánicos; Fundamentos químicos-estructurales. Ed. Manole. Sao Paulo, Brasil.
- Chacón, C. J. 1999. Modo de acción y síntomas de Fitointoxicación de herbicidas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Parasitología Agrícola. Texcoco, México.
- Chávez, A. and Chávez, M. 2004. La tortilla de alto valor nutritivo. Mc Graw Hill. D.F., México 110p.
- Córdova H. 2001. Quality protein maize: improved nutrition and livelihoods for the poor. Maize Research Highlights 1999-2000, CIMMYT pp. 27-31.
- D, L. C Ana 2001.Evaluacion de la calidad de las semillas. Tema central de la Revista SEED News, mayo/junio 2001.
- Devine, M., M. S. O. Duke and C. Fredtke. 1993. Physiology of Herbicide Action. PTR Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J. 441 p.
- Dieleman, J. A. and D. A. Mortensen. 1997 Influence of weed biology and ecology on development of reduced dose strategies for integrated weed management

- systems. Pp. 333-362. In: J. L. Hatfield, D. D. Buhler, and B. A. Stewart (eds.). Integrated Weed and Soil Management. Chelsea, MI: Ann Arbor Press Inc.
- Duke, O. S. 1996. Herbicide resistant crops. Background and perspectives. In: Herbicide Resistant Crop. Ed: Duke, O. S. CRC. Press Inc. P. 1-11.
- Duke, S. y Fayán, F. 2001. Clasificación and mode of action of herbicides (Capítulo 3). En: Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI. Editado por Del Prado, R. y Jarrín, J. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. Córdoba. España. 688 p.
- Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Caballero, H. F.; Coutiño, E.B.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F.; García, B.A.; Cano, R.O. y Betanzos, M. E. 2005. Los Maíces de calidad proteínica y la producción de semillas en México. Ciencia y Desarrollo en Internet No.184. <http://www.conacyt.mx/comunicación/Revista/>
- Espinosa C. A., N. Gómez M., M. Sierra M., E. Betanzos M. y F. Caballero H. 2006. Variedades e híbridos de maíz de calidad proteínica en México. Ciencia, Revista de la Academia Mexicana de Ciencias, volumen 57 (3): 30- 34.
- Fernández, F. M., López, R. M., Ortiz, B. F., 2002. Aplicación de plaguicidas nivel básico. Manual y ejercicios. Edit. Ilustres. Andalucía, España. 146p.
- Evans, L. T. 1983 Fisiología de los cultivos, traducción H. González I. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina.
- García, H. A. Keleman. 2007. La crisis del maíz y la Tortilla en México: ¿Modelo o Coyuntura?, El Colegio de México, ANEC, OXFAM, pp. 2-57.

- Giménez, V. L., 1989. Ensayos sobre la fitotoxicidad del Benomyl, Triforina y Thiocur, en plántulas de naranjo amargo. Departamento de patología vegetal de la Facultad de Agronomía, Universidad Bari, Italia.
- González, A. & Y. Castañeda. 2008. Biocombustibles, Biotecnología y Alimentos, impactos sociales para México en *Argumentos*, 21 (57): 55-83, UAM-Unidad Xochimilco.
- Green, J. y Ulrich, J. 1993. Response of corn (*Zea mays* L.) inbreds and hybrids to sulfonylurea herbicides. *Weed Science*, 41: 508-516
- Gunsolus, J. L. and W. S. Curran. 1996 Herbicide mode of action and injury symptoms. North Central Extension Publication 377. 14p.
- Heap, I. 2010. Herbicide resistant crops. In: *Resistencia de Plantas a Herbicidas*. UACH. Texcoco, México
- Hernández, M. y Mejía, J. 1996. Comparación de la selectividad de nicosulfurón (4% SC) aplicado solo y en mezcla con seis herbicidas en dos híbridos de maíz (*Zea mays* L.) CENIAP PB-8 (Blanco) e HIMECA 95 (Amarillo). Resúmenes. VII Jornadas Técnicas en Biología y Combate de Malezas, Maracay, estado Aragua. P. 7.
- Hernández, M.; Mejía, J y Lazo, J. 2000^a. Evaluación de nicosulfurón (4% SC) en el control de malezas en maíz (*Zea mayz* L.) *Revista Facultad de Agronomía (UCV)* 26: 1-13.
- INEGI 2011 Anuario de Estadísticas por Entidad Federativa 2011. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática.

- Internacional Seed Testing Association (ISTA). 2001. International rules for seed testing 2001. Seed Sci. And Technology. 29, supplement 2.28-29 p.
- Kang, M. 1993. Inheritance of susceptibility to nicosulfurón herbicide in maize. Journal of Heredity. 84: 216-217.
- Marcano, M. 2000. El manejo integrado de malezas en los Agroecosistemas. Trabajo presentado para el ascenso a profesor agregado. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Cabudare. Venezuela.
- Márquez S. F, 1988. Genotecnia vegetal. Tomo II AGT, editores S.A México.
- Martínez, L. C, Mendoza O. L. E, García de los Santos, Mendoza C. M. C., Martínez G. Á., 2005. Producción de semilla híbrida de maíz con líneas androfértiles y androesteriles isogénicas y su respuesta a la fertilización y densidad de población. Revista *Fitotecnia Mexicana*. Vol. 28 (2): 127-133.
- Mejía, J. 1992. Efecto de los escapes de malezas sobre el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). El Malezólogo. Volumen 9, N° 4. Editado por la Sociedad Venezolana de Combate de Malezas (SOVEVOM).
- Mejía, J. y Caripe, J. 2002. Identificación biología e interferencia de las principales especies de maleza en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). En: IX Curso sobre producción de maíz. ASOPORTUGUESA-INIA. Venezuela.
- Media, J. y Yépez, G. 1993. Evaluación de la eficacia de SL-950 (nicosulfurón) en el control de nueve especies de malezas aplicados sobre diferentes estadios de desarrollo en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). En: VII Jornadas Técnicas en Biología y Combate de Malezas. SOVECOM. Barquisimeto. Venezuela.

- Mertz, E. T, L S Bates, O F Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and protein and increase lysine content of maize endosperm. Science. 145: 279.
- Mertz, E. T. 1994. Thirty years of opaque 2 maize. *In*: Quality Protein Maize. 1964-1994. Proc. Of Symp. Of Quality Protein Maize. EMBRA PA/CNPMS, Sete Lagoas M. G. Brasil. p 1-10.
- Monks, D.; Mullins, CH. Y Jhonson, K. 1992. Response of sweet corn (*Zea mays L.*) to nicosulfurón and rinsulfuron. Weed technology, 6: 28: 283.
- Montes de Oca F. 2003 La maleza es determinante en el desarrollo del cultivo del maíz. Revista Agro síntesis. México D.F.
- Moreno M. E., 1996 Análisis físico y biológico de semilla agrícolas. Instituto de Biología de la UNAM, México.
- Morris, M. L. y López, P. M. A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. CIMMYT. D. F., México. 45p.
- Nissen, S., D. Namuth, e I. Hernández-Ríos. 2004. Introducción a los herbicidas de la Síntesis de Aminoácidos Aromáticos. Library of Crop Technology Lessons. University of Nebraska. Lincoln. <http://croptechnology.unl.edu/viewLesson.cgi?LessonID=1008088419>.
- Osuna, M., Ruiz, A. y De Prado, R. 2001. Resistencia de herbicidas inhibidores a la ALS en España (Capítulo 25). En: Uso de herbicidas en la agricultura del siglo XXI. Editado por De Prado; R. y Jarrín, J. Servicio de publicaciones de la Universidad de Córdoba. (España). 688p.

- Paterson, D. E., C. R. Thompson, D. L. Regehrand K. Al-khatib. 2001. Herbicide mode of action. Kansas State University. C-715. 24p.
- Perry, D. A. 1981. Introduction. In: Handbook of vigour test methods. Perry, D.A. (ed.) International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. P. 8-9.
- Poehlman J. M. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas trad. Al español Nicolás Sánchez Durón, séptima reimpresión Editorial Limusa Wiley, S.A. México.
- Polanco, A. y T. Flores M. 2008 Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz. Versión: 9 Mayo del 2008. Foro Consultivo Científico y Tecnológico. México, D. F. <http://foroconsultivo.org.mx/documentos/maiz>.
- Ramírez, R. 1972. Efecto de diferentes métodos de control de maleza sobre el rendimiento del maíz. *Agronomía Tropical*, 22: 160-180p.
- Ray, T. B. 1984. Site of action of chlorsulfuron. *Plant Physiology*, 75: 827-831.
- Ríos, F. 2003. Efecto fitotóxico del herbicida nicosulfurón sobre varios materiales genéticos de maíz amarillo (*Zea mays L.*). Trabajo de grado presentado a la Universidad Centrooccidental "Lisandro Alvarado" Decanato de Agronomía. Cabudare, Venezuela.
- Rodríguez, E. 2000. Protección y Sanidad Vegetal: Combate y Control de Malezas en el maíz en Venezuela. Compilado por Fortana, H. y González, C. Fundación Polar. Caracas, Venezuela.
- Rosales, R. E.; Zita, P. G. 2007. Clasificación y uso de los herbicidas por su modo de acción. *Antología Control de Malezas* 42p.

Ross, M. y Lembi, C. 1999. Applied Weed Science. Second edition. Prentice Hall, U. S. A. 452p.

Sarmiento, S, Blanca Idalia. 2009. "El maíz cacahuacintle y el régimen de protección especial del maíz. Estudio de caso: santa María Nativitas, Municipio de Calimaya, Estado de México". Tesis Maestría en Ciencias en Sociología, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad Autónoma Metropolitana. 177 pp.

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).2004. Servicio de Información Y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Subsistema de Información Agrícola. D.F., México. Versión en CD.

Siminsky, B.; Corbin, F. T. y Sheldon, Y. 1995. Nicosulfurón resistance and metabolism In terbufos and naphthalic anhydride treated corn. Weed science, 43: 163-168.

Simpson, D.; Stoller, E. y Wax, L. 1995. An in vitro acetolactate synthase assay. Weed Technology, 9: 17-18.

Stall, W. M. y Bewick, T. a. 1992. Sweet corn cultivars respond differently to the herbicide nicosulfurón. Hort Science. 27 (2): 131-133.

Tadeo R., M., A. Espinosa C., R. Martínez M. 2001. "Esterilidad masculina para producir semilla híbrida de maíz". CIENCIA Y DESARROLLO. VOL. XXVII (157): 64-75.

Tadeo R., M., Espinosa C., A. 2004. Producción y Tecnología de Semillas, Abril 2004. Apuntes de curso. FESC, UNAM, Cuautitlán Izcalli, México

Tanaka A., y Yamaguchi, J. 1984 Producción de materia seca y componentes de rendimiento del grano de maíz: Traducción al español por Josué Kahashi shibata. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México

- Vargas R. J. M. 1996 Velocidad de emergencia, un parámetro importante para la selección por vigor de semillas de líneas de híbridos. Tesis profesional FES-Cuautitlán UNAM, México.
- Vasal SK. 1994. High quality protein corn. In: Speciality corn. A.R. Hallauer (ed.) CRC Press. Boca Ratón, Fl. 75 p.
- Villaseñor M., H. E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántula de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Genética. Chapingo, México.
- Virgen V., J. 1983. Evaluación de vigor de maíz (*Zea mays* L.) en base a características de semilla y plántula. Tesis de licenciatura. FES-Cuautitlán. UNAM. México. Cuautitlán Izcalli, Méx.
- Widstrom, N. y Dowler, C. 1995. Sensitivity of selected field corn inbreds (*Zea mays* L.) to nicosulfurón. *Weed Technology*.
- Wright, T. y Penner, D. 1998. Corn (*Zea mays* L.) acetolactate synthase sensitivity to four classes of ALS-inhibitin herbicides. *Weed Science* 46 (1): 8- 12.

Páginas web:

CYMMYT México y el CYMMYT,

<http://www.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/mexicocimmyt.htm>

“Documento base sobre centros de origen y diversidad en el caso de maíz en México”,
20 abril 2009.

www.conabio.gob.mx

Nuestro maíz”, 31 diciembre de 2007

www.lajornada.com.mx

<http://quimicaiaasa.wikispaces.com/Nicosulfuron>

<http://www.iskweb.co.jp/products/pdf/nicosulfuron.pdf>