

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



**Evaluación de tratamientos de recuperación a estrés en plantas
de maíz (*Zea mays* L.) por Glifosato**

Por:

SHIRLEY VIANEY CHAN CAAMAL.

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Buenavista, Saltillo; Coahuila, México
Mayo de 2010

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

**Evaluación de tratamientos de recuperación a estrés en plantas
de maíz (*Zea mays* L.) por Glifosato**

Por:

SHIRLEY VIANEY CHAN CAAMAL

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado Examinador
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por:

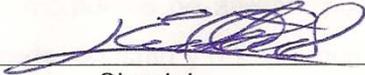
M.C. Arturo Coronado Leza


Presidente del Jurado

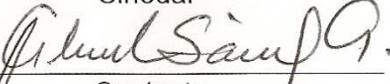
M.C. Pedro Aarón Cerda García


Sinodal

Dr. Ernesto Cerna Chávez


Sinodal

M.C. Abiel Sánchez Arizpe


Suplente


Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo; Coahuila, México
Mayo de 2010



AGRADECIMIENTOS

Gracias a mi **Dios** por su Amor y Misericordia, por darme la vida y la oportunidad de haber concluido una carrera profesional, por la salud y la sabiduría para llegar hasta donde ahora me encuentro.

Al **M.C. Arturo Coronado Leza**, por su ayuda en la realización de este trabajo, y por los conocimientos otorgados.

Al **M.C. Pedro Aarón Cerda García**, por brindarme amistad, apoyo y asesoría en la realización de esta investigación. Siendo la parte fundamental por sus grandes aportaciones para este trabajo.

Al **Dr. Ernesto Cerna Chávez**, por sus acertadas observaciones y contribuir en la perfección de este trabajo.

A **Irma Nelly Portales Flores**, porque me brindaste la mano cuando lo necesitaba, por todos los consejos y la amistad que establecimos.

Gracias a **Fernando** y **Manuel**, por su apoyo a través de la distancia, y la incondicional amistad que aún permanece entre nosotros.

Gracias **Pedro** porque me escuchaste en los momentos de aflicción, por estar conmigo siempre, por tus consejos, cariño, ayuda, amistad y por los momentos que vivimos juntos.

A mis amigos **Oscar, Marely, Clari, Alejandra, Monica, Hugo, Roberto, Olga, Griselda, Silviano** y **Angelita** por darme la oportunidad de conocer lo maravillosos que son, por su cariño y apoyo para lograr lo que ahora soy, por su sinceridad y confianza, por permanecer conmigo siempre en los buenos y malos momentos.

A **Lucy, Ulda y Elena** por haber compartido su cariño y amistad, pero sobre todo por la amabilidad y sencillez que me brindaron durante el tiempo que vivimos juntas.

A **Cesar, Lucelia y Jesús** por su amistad porque con su ayuda pude terminar este trabajo.

A **Salvador Ruvalcaba Medina** por sus consejos, amistad y cariño.

A todos mis amigos del gimnasio de **Box**, y a los entrenadores **Ismael y Joel** por su amistad y consejos.

A TODOS USTEDES GRACIAS

DEDICATORIA

A mi **Madre Martha Elena Caamal Can** por su gran Amor pero sobre todo por haber confiado en mí porque a pesar de la distancia estuvo conmigo en todo momento. Por darme palabras de aliento y su incondicional amor.

A mi **Padre Asael Chan Ku** por todo el apoyo que me brindó durante estos años.

A mis hermanos, **Osdí, Aleida y Cindy**, porque estuvieron conmigo en los momentos difíciles por su ayuda, cariño, confianza y amor.

Gracias hermanos por apoyarme siempre.

*Porque yo soy Jehová soy tu Dios,
quien te sostiene de tu mano derecha,
y te dice: No temas, yo te ayudo.*

Isaías 41:13

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Páginas
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
INDICE DE CUADROS	IX
INDICE DE FIGURAS	X
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
GENERALIDADES DEL MAÍZ (<i>Zea mays L.</i>)	4
Origen del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	6
Historia y Desarrollo del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	6
Características Taxonómicas del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	7
Características Morfológicas del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	8
Sistema Radicular.....	8
Raíz Principal.....	8
Raíces Adventicias.....	8
Raíces de Sostén.....	8
Tallo.....	9
Hojas.....	9
Inflorescencia.....	9
Mazorca.....	9
Desarrollo Vegetativo del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	9
Genética del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	11
Producción de Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	13
Exigencias Edafoclimáticas en el Cultivo de Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	14
Clima.....	15
Fechas de Siembra del Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	15
Fertilización.....	16
Malezas en el Cultivo de Maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	16

Plagas.....	17
Enfermedades.....	18
USO DEL GLIFOSATO EN MAIZ (<i>Zea mays L.</i>).....	18
Historia.....	18
Modo de Acción.....	19
Sitio de Acción.....	20
Molécula.....	21
Efectos Fisiológicos.....	22
ESTRÉS FISIOLÓGICO EN VEGETALES.....	23
Estrés Biótico.....	24
Estrés Abiótico.....	25
Estrés Ambiental.....	25
Factores del Estrés por Causas Climáticas.....	27
Estrés Hídrico.....	30
Factores del Estrés Asociados al Manejo del Cultivo.....	30
Factores del Estrés por Causas Asociadas a Momentos Fenológicos.....	33
Solución al Estrés.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
CONCLUSIONES.....	44
LITERATURA CITADA.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Peso fresco de las plántulas de maíz aplicadas con glifosato y tratadas con nutrición anti-estrés.....	40
Cuadro 2. Longitud de las plántulas de maíz aplicadas con glifosato y tratadas con nutrición anti -estrés.....	41
Cuadro 3. Análisis de Varianza para el Peso Fresco de plántulas de maíz.....	41
Cuadro 4. Análisis de Varianza para la variable longitud en respuesta a la aplicación de los diferentes tratamiento.....	42
Cuadro 5. Comparación de medias por el método de Tuckey al 5% para la variable longitud, en las plántulas sometidas a los diferentes tratamientos.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura molecular del Glifosato.....	22
Figura 2. Efecto de los tratamientos aplicados a plántulas de maíz (<i>Zea mays L.</i>)	43

INTRODUCCIÓN

El daño causado por herbicidas es generalmente debido al mal uso de los productos, equipos de aspersión sin calibrar, residuos en el suelo o sobrante de herbicidas residuales en equipos de aspersión. Debido a esto, dentro del mercado existen productos comerciales que ayudan a aminorar el efecto estresante ocasionado por la mala aplicación de herbicidas en las plantas.

Las plantas a menudo están expuestas a eventos de estrés repentinos que afectan su desarrollo y crecimiento. Esto puede llevar a un daño severo o muerte de la planta. Este estado puede ser ocasionado por diferentes factores, los cuales se clasifican en bióticos y abióticos. Los factores bióticos, pueden ser, la presencia de insectos; infecciones ocasionadas por hongos, virus y bacterias. Mientras que los factores abióticos pueden presentarse como estrés hídrico, estrés ambiental, altas y bajas temperaturas, sequía, etc.

El efecto ocasionado por la mala aplicación de herbicidas, puede detectarse en la reducción del porte del cultivo, lo cual afecta negativamente la producción final del cultivo, por tal motivo se realizó el presente trabajo donde se muestran los resultados de la respuesta de plantas de maíz (*Zea mays L.*), a los efectos estresantes ocasionados por Glifosato, aplicando tratamientos de recuperación.

Con el objeto de evaluar el efecto de diferentes tratamientos químicos para reducir el estrés se realizaron aplicaciones con aminoácidos, quelatos,

sacarosa, urea foliar y la integración de estos en una pequeña población de plantas de maíz asperjados con una dosis reducida de Glifosato; los cuales según la dosis aplicada todos mostraron respuestas favorables para la recuperación, utilizando como parámetros su biomasa y longitud.

Palabras Clave: Estrés fisiológico, Glifosato, Productos anti-estrés.

OBJETIVO

Evaluar los tratamientos, sustancias o agroquímicos que disminuyan o aminoren el estrés producido por el herbicida Glifosato en maíz.

HIPÓTESIS

Se espera que los compuestos a base de quelatos sean los que disminuyan el estrés de una planta de maíz asperjada con el herbicida Glifosato.

REVISIÓN DE LITERATURA

GENERALIDADES DEL MAÍZ

La planta del maíz está unida a la vida del hombre desde hace varios miles de años. Se considera que México, al igual que otros países de América Latina, es una cultura del maíz; esto quiere decir que gran parte de las actividades individuales y sociales de sus habitantes dependen de esta planta (Beas, 1982).

En la península de Yucatán y parte de la América central, se desarrolló la cultura de los pueblos mayas. Según la tradición de este pueblo, el origen del hombre está ligado al maíz. Se creía y se cree que los dioses crearon a los primeros cuatro hombres con maíz amarillo y maíz blanco, de maíz también crearon a las primeras cuatro mujeres y juntos conocieron el mundo y engendraron las primeras tribus (Beas, 1982).

Aunque es usado sobre todo para alimentación animal (78%), principalmente para el ganado, cerdos y aves, el 13% es usado como alimento para los humanos, donde sus aplicaciones son diversas. Por ejemplo, se come como el maíz (*Zea mays* L.) sobre la mazorca, o en formas procesadas como el aceite, almidón, dulcificante y harina. Tal es su versatilidad que sus derivados también pueden encontrarse en medicamentos como la aspirina y antibióticos, en los cosméticos y jabones y en un rango ancho de productos industriales (Taba *et al.*, 2004).

Olivares (1984), reconoce que la superficie maicera total mexicana, se divide en áreas debido su altitud y climatología.

- a) Área intermedia o región del bajío.- Con alturas que van de 1,100 a 1,800 m.s.n.m. comprendiendo parte de los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro.
- b) Trópico-seco.- Esta área comprende parte de los estados de Coahuila, Nuevo León, Sinaloa, Sonora y norte de Tamaulipas y con alturas de 0 a 1,000 m.s.n.m.
- c) Trópico-húmedo.- Esta área comprende parte de los estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Colima, Guerrero, Nayarit y Sinaloa con alturas que van de 0 a 800 m.s.n.m.
- d) Mesa central norte.- Esta área comprende parte de los estados de Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Nuevo León con alturas de 500 a 2,000 m.s.n.m. esta área es de gran importancia por el número de hectáreas que se siembran con maíz.

Concluyendo que la región de mayor importancia por su mayor producción de grano, es la región de Trópico Seco, ya que presente un clima caliente pero con baja humedad relativa.

Para el 2020, la demanda de maíz en los países en vías de desarrollo se proyecta que superará la demanda de trigo (*Triticum vulgare*) y arroz (*Oryza sativa*). Esto se refleja en un 50% de aumento en la demanda de maíz global de 558 millones de toneladas en 1995 a una proyectada de 837 millones de toneladas en 2020. En el mundo en vías de desarrollo solo, la demanda de maíz aumentará de 282 millones de toneladas en 1995 a la proyectada de 504 millones de toneladas en el 2020. Aproximadamente 140 millones de hectáreas de maíz son globalmente cultivadas. Los productores principales son EE.UU,

China, y Brasil, seguidos por Argentina, Sudáfrica, y la Unión Europea. Aproximadamente 96 millones de hectáreas son cultivadas en los países en vías de desarrollo con cuatro países (China, Brasil, México e India) responsabilizados con más de 50% del total (Taba *et al.*, 2004).

Origen del Maíz

El maíz es un cereal nativo de América, cuyo centro original de domesticación fue Mesoamérica, desde donde se difundió hacia todo el continente. No hay un acuerdo sobre cuándo se empezó a domesticar el maíz, pero los indígenas mexicanos dicen que esta planta representa, para ellos 10,000 años de cultura (Riveiro, 2004).

Galinat (1995), resumió los datos sobre el origen del maíz, indicando que el mismo fue domesticado hace más de 8,000 años, a partir de una planta silvestre llamada Teosintle que significa "grano de dios".

Al contrario del trigo (*T. aestivum*) y el arroz (*O. sativa*), el maíz ha dejado un rastro oscurecido por su complejidad, ya que no existen formas intermedias vivientes entre el maíz silvestre y las 50 variedades de maíz que han evolucionado bajo la selección agrícola en México, los cuales en muchos casos aún son cultivados allí (Wilkes y Goodman, 1995).

Historia y Desarrollo del Maíz

Generalmente se considera que el maíz fue una de las primeras plantas cultivadas por los agricultores hace entre 7, 000 y 10, 000 años. La evidencia más antigua del maíz como alimento humano proviene de algunos lugares arqueológicos en México donde algunas pequeñas mazorcas de maíz estimadas en más de 5 000 años de antigüedad fueron encontradas en cuevas de los habitantes primitivos (Wilkes, 1979, 1985).

El maíz deriva del teosintle a través de mutaciones y por selección natural (Longley, 1941) o fue obtenido por los primeros agricultores fitomejoradores (Beadle, 1939, 1978, 1980). Es generalmente aceptado el hecho de que el teosintle es el antecesor silvestre y/o allegado al maíz y que ha participado directamente en el origen del maíz cultivado.

Illis y Doebley (1980), sugirieron que el maíz y el teosintle son dos subespecies de *Zea mays*; esta opinión, sin embargo, no es muy aceptada por los fitomejoradores del maíz aunque cuenta con el apoyo de los botánicos.

Es probable también que el maíz haya sido primeramente introducido en el noroeste de la región del Himalaya por los mercantes de la ruta de la seda, de donde posteriormente se difundió a muchas regiones vecinas (Dowswell *et al.*, 1996).

Para México el 80% de la superficie se cultiva bajo temporal, de la cual 50% es ecológicamente de productividad baja o marginal. El 92% de los productores siembran menos de 4 hectáreas generalmente aplican tecnologías de producción tradicionales (Schwentenius, 2003).

Características Taxonómicas del Maíz

(Socorro y Martín, 1989)

División.....Macrophyllphyta
Subdivisión.....Magnoliophytina
Clase.....Nymphaespsida
Orden.....Poales
Familia.....Poaceae
Género.....Zea
Especie.....*Zea mays L.*

Características Morfológicas del Maíz

Sistema Radicular

El maíz tiene un sistema de raíces fibrosas, compuestos de raíces seminales o primarias, secundarias o adventicias. Es un sistema organográfico y funcional de gran interés agrícola, pues la planta asegura su estabilidad y resuelve por allí en gran parte, el problema de su alimentación, (Ramella, 1948).

Según la SEP (1988), el sistema radicular está compuesto por:

Raíz Principal

Representada por un grupo de una a cuatro raíces que luego dejan de funcionar, se origina en el embrión y suministra nutrientes a la semilla en los primeros días.

Raíces Adventicias

El sistema radicular es totalmente adventicio y puede alcanzar hasta 2 metros de profundidad.

Raíces de Sostén

Estas raíces se originan en los nudos cerca del suelo y favorecen la estabilidad. Disminuye el problema de acame y éstas son las que también realizan la fotosíntesis.

Tallo

El tallo es de consistencia leñosa, cilíndrico y el número de nudos varía de 8 a 25 con un promedio de 16, (SEP, 1988); la variabilidad del diámetro de la caña va de 26 a 45mm, comúnmente, de 30 a 35 mm (Ramella, 1948).

Hojas

La hoja está compuesta de lámina, lígula y vaina foliar, es de forma elongada y aplanada, curvándose (Ramella, 1948), en la cual la vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo con extremos desnudos, su color es verde, aunque hay hojas rayadas de blanco y verde o verde púrpura y el número de hojas es variable (SEP, 1988).

Inflorescencia

El maíz es monoico, las flores masculinas forman la panoja terminal del tallo; las femeninas están dispuestas en una espiga cilíndrica (mazorca) con raquis o marlo grueso y corchoso. El grano se dispone en hileras y es un cariósido desnudo, variable en tamaño y color (Tocagni, 1980).

Mazorca

Cada planta tiene de una a tres mazorcas, según la variedad y condiciones ambientales en que se encuentre (SEP, 1988).

Desarrollo Vegetativo del Maíz

El coleóptilo fuerte y puntiagudo puede abrirse camino a través de un suelo normal. Pero cuando se rompe a 3 cm o más, bajo la superficie, la hoja expuesta es muy ancha, no es puntiaguda ni rígida. No puede por tanto abrirse camino hasta la superficie, sino que se expande, sigue estando amarilla y

retorcida y muere enseguida. El coleóptilo brota entre seis y ocho días después de la siembra. Tan pronto alcanza la luz se rompe la parte superior y se despliegan dos hojas verdaderas, en rápida sucesión. En buenas condiciones de crecimiento salen del verticilo algunas otras hojas, abriéndose a una velocidad aproximada de una hoja cada tres días. En consecuencia, entre 15 y 18 días después de la siembra la nueva plántula deberá estar bien afianzada, con cinco a seis hojas desplegadas. Las hojas nuevas se producen en un único punto de crecimiento, situado en el ápice del tallo. A medida que la planta crece, y hasta poco antes del surgimiento de la panoja, aparecen hojas nuevas, que se han formado dentro de la planta durante el periodo de crecimiento vegetativo (Aldrich, 1974).

De cinco hojas embrionarias en la semilla, una planta de maíz normal produce entre 20 y 30 hojas. Todas ellas se forman en el punto de crecimiento antes de comenzar el desarrollo de la panoja. La profundidad de siembra tiene solo una ligera influencia sobre la profundidad de salida del sistema radical principal. Las raíces primarias continúan hundiéndose y ramificándose, mientras que se forman sucesivas raíces adicionales en los nudos del tallo por encima de la corona. Estos nudos que producen raíces debajo de la tierra se corresponden con los nudos situados encima, que originan hojas. Cuando la planta ha completado la diferenciación del número total de hojas, la función del punto de crecimiento sufre un cambio fundamental y repentino. En condiciones normales de crecimiento, en la zona del maíz esto ocurre unos 30 días después de la siembra (Aldrich, 1974).

La espiga diminuta comienza a formarse al costado del punto de crecimiento, apenas una semana o diez días después de iniciada la panoja. La espiga principal del maíz se origina en el ápice de una ramificación lateral, situada aproximadamente en el sexto nudo por debajo de la panoja. A partir de la iniciación de la panoja la planta de maíz necesita normalmente de cinco a seis semanas para llegar a la etapa de liberación del polen y alargamiento de los estilos. Cuando surge la panoja, y pueden verse el ápice del vástago

correspondiente a la espiga, comienza a disminuir la velocidad del crecimiento de la planta y se inician las etapas finales de preparación para la floración. En los días previos a la liberación del polen y al alargamiento de los estilos, la planta utiliza la mayor parte de su energía en la producción de polen maduro y en la formación de las estructuras de la mazorca y de la espiga. En la mayoría de los tipos de maíz, la liberación del polen no comienza inmediatamente después que la panoja sale del verticilo foliar. Por lo común, una semana o diez días antes de la aparición de los estilos se ve el ápice de la panoja. Esta sale de las hojas que la envuelven y se expande por completo antes de liberar el polen. Los granos de polen son producidos en gran cantidad en cada una de las anteras. Estas salen de las glumas que las envuelven, comúnmente de mañana temprano hasta la media mañana, después que se ha secado el rocío de las panojas. La liberación del polen dura varios días (comúnmente entre 5 y 8) y alcanza su máxima producción alrededor del tercero. La dehiscencia se inicia en el medio de la espiga central de la panoja, se extiende a toda la panoja en los siguientes y finaliza en los ápices y bases de las ramificaciones inferiores (Aldrich, 1974).

Genética del Maíz

Un efecto notable del proceso evolutivo es la definición de una amplia gama de tipo y razas de maíz cultivado. Los trabajos de caracterización de razas de maíz en México, han proseguido y son importantes como base a la formación de bancos de germoplasma para los programas de fitomejoramiento. Según el Centro de Investigaciones Agrarias (1980), dentro de estas razas, existen diferentes variedades y clases de maíz, las principales en nuestro país son:

Maíz pepitilla

Maíz blanco tierra fría

Maíz ancho blanco

Maíz chato blanco

Maíz blanco abulado

Maíz cacahuazintle

Maíz palomero

De acuerdo con la forma de las mazorcas se puede detectar la región de donde proceden; así por ejemplo las de forma cilíndrica son originarias de lugares cálidos, como son las regiones ubicadas de 0 a 100 metros sobre el nivel del mar; las semicilíndricas, son producidas en zonas situadas entre 1200 a 1900 metros sobre el nivel del mar; y las de forma cónica proceden de los valles altos localizados entre los 1900 y 2700 metros sobre el nivel del mar, como el Valle de México y regiones de Puebla y Pachuca (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980).

Las variedades locales son generalmente llamadas variedades autóctonas. Hodking *et al.*, (1993), describen las variedades autóctonas como poblaciones de cultivo morfológicamente identificables, las cuales tienen un grado de integridad genética. Los campesinos cultivan las variedades autóctonas con variabilidad inherente o cultivan variedades varietales (Lafond, 1998).

Algunas de las principales variedades encontradas son:

V. Francisco.

V. Tusón.

V. T-6

V. Jíbara

HD. T66

HD. T77

V. Victoria

Producción de Maíz

La República Mexicana cuenta con una superficie de 1 millón 958 mil 201 km², de los cuales el 52% corresponde a regiones áridas y semiáridas, con predominio de climas secos. No obstante estas limitaciones, en estas zonas se desarrollan importantes regiones agrícolas, donde se efectúa una parte considerable de la agricultura de riego y también se localizan extensas superficies de maíz y frijol de temporal como es el caso del altiplano mexicano (Conaza, 1994).

Olivares (1984), habla de un 74% de las áreas de temporal de este cultivo en nuestro país, además menciona que esta área está expuesta a condiciones adversas y a sistemas agrícolas tradicionales, con bajos o nulos rendimientos por unidad de superficie lo que obliga al país a importar volúmenes considerables para cubrir los requerimientos del consumo nacional.

Aunque se reconoce la importancia de la irrigación en los climas tropicales y sub húmedos, todos los problemas de la irrigación se presentan en regiones áridas y semiáridas, donde la agricultura depende de un cuidadoso manejo de la tierra y del agua (Thorner y Peterson, 1975).

Por otra parte Jugenheimer (1981), menciona que varios factores de los que depende la producción máxima del maíz en los Estados Unidos de América, por ejemplo la cantidad, distribución y eficacia de las lluvias son factores importantes en la producción de maíz, ya sea escasa o mala, afecta adversamente el rendimiento. El calor y la sequía durante el periodo de polinización a menudo causan la desecación del tejido foliar y la formación de semillas.

La producción mundial de maíz a principios de la década de 1990 ascendió a más de 469 millones de toneladas anuales; por volumen de producción, el maíz ocupa el tercer lugar detrás del trigo (*T. vulgare*) y el

arroz (*O. sativa*). A lo largo de la década de 1980, la producción de esta especie experimentó un crecimiento neto de casi el 11%, debido al cultivo intensivo y a la abundante aplicación de fertilizantes y herbicidas. Estados Unidos es el primer productor y acumula más del 40% de la producción mundial, China, Brasil y México son otros importantes países maiceros (Encarta, 2000).

La producción en los países desarrollados es destinada a la ganadería e industria, mientras que en los países en desarrollo constituye un grano básico para la población humana (Quiroga, 1995).

En el área tropical de México, se siembran anualmente 3 millones de hectáreas de maíz lo que significa el 40% de la producción total nacional. El maíz con alta calidad de proteína es un derivado del aprovechamiento del gene mutante *opaque 2* en su versión homocigota recesiva con mayor contenido de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales en la alimentación (Mertz *et al.*, 1964); sin embargo, al alto valor nutritivo de estos maíces se ligaban características indeseables entre ellas grano con textura suave, bajo peso, poca resistencia a enfermedades y plagas de almacén, problemas que limitaron el avance de estas investigaciones. CIMMYT (2001), mediante técnicas de mejoramiento tradicionales, incorporaron al maíz opaco genes modificadores de la textura del endospermo, por lo que en la década de los 80s', se obtuvo lo que se conoce como maíz con alta calidad de proteína. Estos genes modificadores le confieren al endospermo una textura más dura que el maíz opaco, dando la apariencia de un maíz común o normal (Vasal, 1994).

Exigencias Edafoclimáticas en el Cultivo de Maíz

El maíz crece bien en varios suelos si el desagüe es bueno (sin saturación en agua). El mejor desarrollo se produce en suelos de textura media, profundos, con buen drenaje (Rabí, 2001). Tiene un sistema de raíces profundo (hasta 185 cm) y se beneficia de suelos profundos que permiten el

almacenamiento de agua durante sequías. El valor pH óptimo para el maíz es entre 5.5- 7.5, aunque algunos suelos tropicales producen buenas cosechas con un valor pH de 5.0 (Leonard, 2000).

Clima

El maíz requiere de 3600- 5000 m³ de agua por hectárea para todo su ciclo vegetativo. De ellos, 1600- 2000 m³/ha desde la siembra hasta el inicio de la floración, 1400- 1750 m³/ha durante la floración y formación de los granos y de 600- 1250 m³/ha para el desarrollo y crecimiento del grano (Rabí, 2001).

La tasa de crecimiento óptima del maíz aumenta con temperaturas hasta 32- 35°C si la humedad del suelo es abundante, pero aminora un poco con temperaturas entre 27- 30°C cuando la humedad es sólo adecuada. Si la humedad de la tierra es baja, la temperatura para el crecimiento óptimo baja a 27°C o menos. A temperaturas de 10 °C o menos, el maíz crece muy despacio si llega a crecer, y queda susceptible a las heladas. A pesar de esto, las temperaturas en exceso de 32 °C reducen los rendimientos si ocurren durante la polinización. Los rendimientos también se reducen con temperaturas nocturnas excesivamente altas, porque éstas apuran la tasa de respiración de la planta y la "quemadura" de las reservas para el crecimiento (Leonard, 2000).

Fechas de Siembra del Maíz

Este cultivo admite siembra durante todo el año, sin embargo deben tenerse en cuenta los objetivos de la producción de maíz tierno o grano seco. Para el caso de grano seco hay que considerar que la siembra se realice en un momento que garantice la cosecha en condiciones de baja humedad ambiental. El mejor período de siembra es desde Agosto hasta Abril para la producción de granos y de maíz tierno ya que es cuando se alcanzan los mayores rendimientos y se presentan menos dificultades desde el punto de vista fitosanitario y del clima, facilitándose las labores de cultivo y de cosecha. La

siembra fuera de estos períodos tiene mayores dificultades debido a problemas climáticos, independientemente de la temporada ciclónica, en la que pueden producirse grandes afectaciones (Rabí, 2001).

En México las épocas de siembra dependen de su forma de riego, la gran mayoría de los estados establecen un riego por temporal. Para los estados que comprenden las zonas Norte-Centro, Bajío y Centro inician su siembra en el mes de junio y parte de julio. Mientras que en las zonas del Norte y Noroeste comprenden los fechas finales de junio e inicios de julio. Y en los estados del Sur y Sureste mexicano, las épocas de siembra están entre los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio (INIA, 1992).

Fertilización

El maíz responde ampliamente a la incorporación de material fertilizante, especialmente de nitrógeno y fosforo, requiere también cantidades fuertes de potasio, por lo que en suelos con deficiencia de este elemento o con problemas de retención del mismo es necesario incorporarlo a la formulación aplicada (Centro de Investigaciones Agrarias, 1980).

Cuando no se dispongan de los estudios agronómicos necesarios se emplearán las siguientes cantidades de nutrientes, (100- 150 Kg/ha) de Nitrógeno, (60- 100 Kg/ha) de Fósforo y (100- 180 Kg/ha) de Potasio (Rabí, 2001).

Maleza en el Cultivo de Maíz

La formación de malezas se considera generalmente como uno de los factores más esenciales que merman el rendimiento en el cultivo de maíz. Esto se debe a que el maíz crece muy lentamente en la primera etapa de su desarrollo. En la etapa de tres o cuatro hojas se detiene en su crecimiento aéreo para adelantar especialmente el desarrollo de sus raíces. De ahí que en

su desarrollo juvenil casi no puede competir con las malezas así que quedaría oprimido por ellas, sino se toman las medidas de cultivo del caso. Pero las malezas, bajo ciertas circunstancias, también pueden tener una influencia positiva, obrando como capa protectora contra la erosión. De ahí que en las regiones expuestas al peligro de la erosión, el combate contra las malezas siempre se realizara en combinación con medidas tendientes a conservar el suelo (Glanze, 1973).

Se emplean en primer término herbicidas contra malezas de raíces profundas y sustancias de crecimiento. Los herbicidas se pueden aplicar sobre toda la superficie cultivada o solamente sobre las hileras de maíz. En comparación con el combate mecánico contra las malezas se pueden mencionar las ventajas ya destacadas de los herbicidas. Como ventaja frente al combate químico contra las malezas cabe señalar que en el suelo no se conservan residuos químicos y que el método es más barato. Pero esto último dependerá esencialmente de las relaciones de precios entre los herbicidas y combustibles empleados. La ventaja decisiva podría consistir en que no solo combaten las malezas de follaje, sino también las poaceas. El problema de la aplicación de este método radica en la protección suficiente de las plantas de maíz contra las lesiones que podría originar (Glanze, 1973).

Plagas

Al maíz lo atacan más de 36 especies de insectos algunos son de suma importancia, por la frecuencia con que inciden y por la gravedad de sus daños, siendo mayores las poblaciones en el período de las lluvias. Las principales plagas son: Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), Gusano elotero (*Helicoverpa zea*), Barrenador del tallo (*Diatraea lineolata* y *Diatraea saccharalis*), Pulgón del maíz (*Aphis maidis*, Fitch) (Rabí, 2001).

Enfermedades

Los tres agentes principales causantes de las enfermedades del maíz son: hongos, bacterias y virus. La mayoría de estas enfermedades son de importancia económica, mientras que otras, aunque no lo son, tienen la probabilidad de llegar a serlo. Algunas de las principales enfermedades pueden ser: Mildiús vellosos (cenicillas), existen varias especies de los generos *Peronosclerospora*, *Sclerospora* y *Sclerophthora* causantes de los mildiús vellosos; Roya común, (*Puccinia sorghi*), Roya por Polysora (*Puccinia polysora*) (CIMMYT, 2004).

USO DEL GLIFOSATO EN MAÍZ

Historia

Fue introducido en 1971, controla la mayoría de especies poaceas y dicotiledóneas consideradas como malas hierbas y es particularmente activo sobre especies perennes. De ahí que se pueda considerar como un herbicida total (García y Quintanilla, 1989).

El Glifosato se aplica como herbicida foliar, con el se controlan eficazmente pastos perennes y anuales, así como también malezas de hoja ancha perennes y anuales. No es selectivo y por lo tanto no se usa en sembradíos excepto en sitios donde pueda mantenerse retirado de las plantas de sembradío (Klingman y Ashton, 1980).

Este herbicida no presenta efecto a través del área radical de las malezas, por lo tanto, las aplicaciones realizadas antes de la brotación de los cultivos, no tienen efecto sobre las plantas, no hay efecto residual en el suelo ya que es rápidamente degradado, pero en las plantas superiores parece ser más resistente a la descomposición (Klingman y Ashton, 1980).

Gómez (1993), citó que se inactiva al contacto con el suelo, agua o materia orgánica en suspensión, por lo que en aplicaciones pre emergente (pre siembra) se puede sembrar luego de los 10 a los 15 días posteriores a la aplicación.

La disociación en agua del Sulfato de Amonio produce los iones Amonio (NH_4^+) y Sulfato (SO_4^-). La molécula de Glifosato se asocia al ión NH_4^+ formando un complejo que presenta mayor absorción diferencial en los tejidos vegetales, por lo tanto se absorbe más cantidad de principio activo en menor tiempo, dando como resultado dos beneficios; se mejora sensiblemente los niveles de actividad y se disminuye los riesgos de lavado por lluvias posteriores a la aplicación. El ión SO_4^- libre ayuda a eliminar el Ca^+ y Mg^+ residual por combinación (Mollo, 2006).

Este herbicida es uno de los más ampliamente usados en la actualidad y que además está considerado como relativamente "sano" debido a su rápida inactivación en el suelo (Quinn *et al.*, 1988). Sin embargo, el comportamiento de glifosato en suelo puede variar en función de las características del suelo sobre el que se aplique. En lo que muchos autores parecen estar de acuerdo es en el importante papel que ejercen los óxidos de hierro y aluminio, así como el pH del suelo en los procesos de adsorción de glifosato en suelo (de Jonge y de Jonge, 1999; de Jonge *et al.*, 2001; Gimsing *et al.*, 2004, Calderón *et al.*, 2005).

Modo de Acción

El Glifosato es absorbido por el follaje y se mueve dentro de la maleza hasta el interior de las raíces, donde afecta el crecimiento y provoca la muerte de los tejidos. Actúa en el nivel de varios sistemas enzimáticos e interfiere en la formación de aminoácidos y otras sustancias importantes. Provoca el desecamiento de órganos aéreos (hojas y tallo) y subterráneos (Gómez, 1993).

El glifosato se absorbe rápidamente por las hojas. La lluvia disminuye su absorción si tiene lugar cuatro o seis horas después de aplicarse el herbicida. Se trasloca rápidamente a través del floema, y también en muchas especies en el xilema. Luego se suele redistribuir, siguiendo el flujo de sustancias fotosintetizadas, depositándose en aquellas partes donde hay mayor demanda de éstas, como son los frutos, órganos de reserva, o zonas apicales meristemáticas. A mayor intensidad luminosa la translocación del glifosato aumenta. Los síntomas típicos producidos por el glifosato son detención del crecimiento y clorosis en las hojas, seguida luego de necrosis. Dichos síntomas son más acentuados y ocurren primero en el ápice y zonas meristemáticas. Luego se extienden a la parte más vieja de la planta. Con frecuencia los rebrotes en especies perennes muestran hojas malformadas o estriadas (García y Fernández, 1989).

La acción herbicida se inicia a los 3 días en las plantas anuales y a los 8 días en las perennes. La acción básica se cree que sea la inhibición de aminoácidos aromáticos (Rojas y Vázquez, 1995).

Sitio de Acción

La penetración de los herbicidas en general es a través de la cutícula puede ocurrir de una o más de las tres formas siguientes:

Siendo parcialmente adsorbida en la zona cética o lipófila de esta. Atravesando totalmente la cutícula y alcanzando las paredes celulares del protoplasma pero sin llegar a penetrar en este (vía simplástica). Y también a través de la cutícula, alcanzando las paredes celulares y alcanzando el interior de las células protoplasmáticas (vía simplástica) (García y Quintanilla, 1989).

Los estomas de las hojas es otra vía de entrada de los herbicidas. A su través pueden penetrar en particular en los herbicidas volátiles y algunas soluciones acuosas. Estas penetraran con mayor facilidad si su tensión

superficial ha disminuido suficientemente por la acción del surfactante. No obstante lo anterior debe señalarse que la densidad de estomas suele ser muy baja en el haz o cara superior de las hojas de la mayoría de las especies dicotiledóneas, sobre las cuales se depositan la mayoría de las gotitas pulverizadas (García y Quintanilla, 1989).

El principal mecanismo de acción del glifosato, materia activa del herbicida, es la inhibición competitiva de la enzima 5-enolpiruvil-shikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS). Esta enzima forma parte de la ruta del ácido shikímico implicado en la producción de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano) y otros componentes aromáticos en plantas, esenciales para la síntesis proteica. Al ser las proteínas necesarias para el crecimiento y las funciones vitales, la aplicación del glifosato lleva a la muerte de la planta (Cámara Uruguaya de Semillas, 2009).

La función de la EPSP es unir el ácido shikímico con ácido fosfoenolpirúvico para formar la EPSPS. Como la estructura de PEP y del glifosato son muy similares, el glifosato actúa como inhibidor competitivo y se une fuertemente al complejo formado por el shikimato y la EPSPS, resultando una acumulación de shikimato en concentraciones tóxicas. El glifosato se transporta simplásticamente hacia los meristemas de la planta en crecimiento y, al actuar como inhibidor competitivo de la EPSPS, resulta en la acumulación de shikimato y el bloqueo de la síntesis de los aminoácidos aromáticos. Ésta es la forma en que comienza a actuar el glifosato. En consecuencia, la presencia de glifosato determina supresión de crecimiento y muerte (Villalba, 2009).

Molécula

El glifosato (N-fosfometilglicina, $C_3H_8NO_5P$), al ser de amplio espectro (no selectivo) puede causar daño a los cultivos si no se tiene cuidado al aplicarlo (Gómez, 1993).

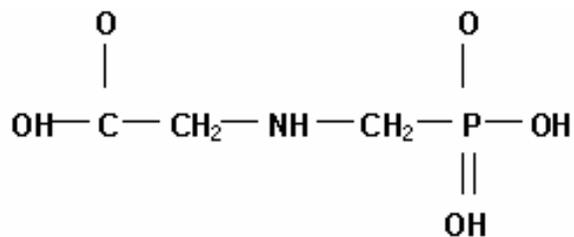


Figura 1. Estructura molecular del Glifosato

Efectos Fisiológicos

Es un herbicida inhibidor de la síntesis de aminoácidos en plantas, bacterias, algas, hongos y parásitos apicomplejos, a través de la inhibición de la enzima EPSPS (5-enolpiruvil shikimato 3- fosfato sintetasa). La EPSPS es codificada por el núcleo celular y transportada al cloroplasto a través de un péptido de transporte, y es en el cloroplasto donde participa de la ruta metabólica del ácido shikímico. En esta vía se emplea un 20 por ciento del carbono fijado durante la fotosíntesis. Esta enzima está asociada a la síntesis de tres aminoácidos esenciales aromáticos: fenilalanina, tirosina y triptófano. Además, este trayecto está relacionado a la síntesis de compuestos aromáticos como ligninas, alcaloides, flavonoides, ácidos benzoicos y hormonas vegetales, puesto que los aminoácidos sintetizados son precursores de estos compuestos secundarios. Ya en el cloroplasto, la EPSPS enlaza primero una molécula de shikimato-3-fosfato (S3P), inmediatamente después una molécula de PEP se enlaza al sitio activo de la enzima. La EPSPS cataliza entonces una reacción de condensación para producir 5-enolpiruvilshikimato-3- fosfato. Queda claro que PEP no presenta afinidad por EPSPS a menos que una molécula de S3P se enlace primero (Villalba, 2009).

ESTRÉS FISIOLÓGICO EN VEGETALES

El estrés es el efecto producido por un factor ambiental externo que dista del óptimo y actúa sobre la planta es decir genera respuesta. Se estima que únicamente un 10% de la superficie de la tierra arable se encuentra libre de algún tipo de estrés (Benavides, 2002).

En la mayoría de los casos el estrés se prueba con relación al crecimiento (acumulación y pérdida de biomasa) o con procesos primarios de asimilación como la toma de nutrientes, los cuales están relacionados con el crecimiento en general (Taiz y Zeiger, 1991).

Levitt (1980), definió estrés como: “Cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivos”. El estrés es un concepto que proviene de la física, es la fuerza que actúa sobre un cuerpo. El cuerpo responde con una reacción proporcional a la fuerza con la que se ha actuado sobre él. La reacción de respuesta es una tensión. El estrés se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todo los niveles funcionales de los organismos. Desde un punto de vista biológico, el estrés tiene una connotación más amplia, refiriéndose a los cambios ambientales que alteran al estado fisiológico de las plantas (Larcher, 1995).

Se define la resistencia al estrés como la capacidad de un organismo para resistir, evitar y escapar a los estímulos ambientales negativos o poder permanecer bajo un estado particular de estrés sin que su fenotipo se vea modificado de manera significativa; su estado “ideal” se identifica al ser observado bajo condiciones óptimas y se denomina “norma” (Benavides, 2002).

Cerca del 20% de la tierra presenta algún tipo de deficiencia o toxicidad mineral. El 26% es afectada por estrés de sequía y 15% por temperatura (Blum, 1988).

Es probable que el estrés esté asociado con un déficit hídrico y sea este uno de los problemas más comunes entre las plantas cultivadas y las comunidades naturales (Benavides, 2002).

Bajo la exposición al estrés, las plantas muestran un amplio rango de respuesta a varios niveles molecular, celular y de órgano o planta completa (Bohnert y Sheveleva, 1998; Xiong y Zhu, 2002). Esto incluye cambios que van de la morfología al metabolismo y al desarrollo, que son desencadenados directamente por los estímulos del estrés primario, pero también por señales secundarias, tales como las fitohormonas, las especies reactivas de oxígeno o por mensajeros secundarios intracelulares (como por ejemplo azúcares, fosfolípidos). Algunas de estas señales secundarias se mueven desde el lugar primario donde fueron producidas hacia otros órganos de la planta, contribuyendo a la coordinación de la planta completa en su respuesta al estrés. Un ejemplo es el Ácido Abscísico (ABA) sintetizado en las raíces en respuesta a la deshidratación, que se mueve hasta las hojas a través del xilema conduciendo a la inhibición del crecimiento foliar y al cierre estomático (Davies y Zhang, 1991).

Estrés Biótico

Entre los factores que afectan el rendimiento de los cultivos se encuentran los de origen biótico (plagas, enfermedades y malezas) (Andrade, 2002). Gran parte de las investigaciones desarrolladas, han generado información acerca de la relación entre el efecto de los factores abióticos y el rendimiento final. Existe también, vasta investigación sobre estrés biótico, particularmente referida al daño y a las densidades poblacionales de insectos afectando cultivos (Peterson y Higley, 2001).

El concepto fundamental de estrés biótico y pérdida de rendimiento es aceptado desde milenios. Si bien está ampliamente documentado que los insectos, malezas y patógenos reducen el rendimiento de los cultivos, y que

ésta reducción es progresiva con el número de plagas, la respuesta de la planta al estrés biótico continúa siendo ignorada. Más aún, el término planta estresada da idea de estrés abiótico (temperatura, humedad y nutrición mineral), sin considerar el enfoque fitocéntrico de la planta o la respuesta fisiológica al ataque de plagas (desde los niveles celular, tisular y de órganos, hasta llegar al nivel estructural de la misma) (Peterson y Higley, 2001).

Sin embargo, cuando se comparan los perfiles de expresión de genes en plantas dañadas mecánicamente con aquellas heridas por la mordedura de insectos se ha comprobado que son muy distintos, y que la componente de activación, debida a la pérdida de agua, es mucho menos importante en el caso de daño inducido por insectos (Reymond *et al.*, 2000).

Estrés Abiótico

Entre los abióticos, que son los más frecuentes, incluyen las variaciones en las condiciones ambientales (temperaturas altas o bajas, intoxicación por agroquímicos mal manejados, salinidad excesiva, escasez de agua, cambios en la intensidad de la luz, carencia de nutrientes, etcétera) (Innovak News, 2009).

Estrés Ambiental

El primer punto de contacto de una planta con la atmosfera exterior es la cutícula que consiste principalmente en ceras solubles y el poliéster insoluble cutina. La cutícula se deposita principalmente en la pared celular primaria de la capa de células epidérmicas; de este modo los polisacáridos y los compuestos fenológicos de la pared celular primaria también se integran en la cutícula (Holloway, 1994). La cutícula es una estructura heterogénea, a la vez específica de cada especie y regulada ambientalmente. El papel de la cutícula es el de ser una barrera ante el ambiente externo, protegiendo a la planta de la pérdida de agua, radiación solar intensa y agentes estresantes tanto bióticos como abióticos (Holloway, 1994).

El modo primario de entrada de los agentes contaminantes en el follaje es a través de los estomas abiertos. Se ha demostrado que el ozono induce cierre estomático en muchas plantas diferentes a distintas concentraciones (Winner *et al.*, 1988). Durante muchos años, se creyó que este era un efecto indirecto (Matyssek *et al.*, 1992). Torsethaugen *et al.*, (1999), mostraron que los canales de entrada del potasio (K^+) en las células oclusivas, que producen la apertura estomática se ven directamente afectados por la exposición a ozono (O_3), reduciendo la capacidad del estoma para abrirse. Estos resultados proveen evidencia de un efecto directo del O_3 sobre las células de guarda; la idea reinante en la discusión actual es que la planta no se verá afectada adversamente por el O_3 si los estomas están cerrados durante el tiempo de exposición (Torsethaugen *et al.*, 1999). Esto resulta especialmente relevante durante la sequía, cuando la exposición al O_3 puede impedir la reapertura de los estomas y afectar negativamente la capacidad fotosintética (Torsethaugen *et al.*, 1999).

En presencia de H_2O , el O_3 reacciona formando radicales hidroxilo (OH), aniones superóxido (O_2^-) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2) (Heath, 1980). Se sabe que estos productos reaccionan con los ácidos aromáticos, los grupos sulfidrilos y los lípidos insaturados (Dominy y Heath, 1985).

La exposición a agentes contaminantes puede tener muchos efectos diferentes sobre las interacciones planta-patógeno. Los agentes contaminantes entran en contacto con los patógenos que habitan la superficie de las plantas y potencialmente son capaces de inhibir el crecimiento y/o la capacidad reproductiva de dichos patógenos. Sin embargo, es más habitual que los agentes contaminantes debiliten a la planta hospedera, haciéndola por tanto más susceptible a la infección por patógenos (Dowding, 1988).

La base para la tolerancia de la planta a los agentes contaminantes atmosféricos viene por factores internos o genéticos, siendo los mecanismos de detoxificación una línea común de defensa. Otros factores biológicos que

determinan la sensibilidad de la planta a los agentes estresantes incluyen la edad de la planta o de los órganos, el estado nutricional y la salud y vigor general de la planta (Treshow y Anderson, 1989). Los mecanismos de detoxificación pueden incluir el secuestro, la eliminación y la descomposición enzimática de los compuestos tóxicos.

La detoxificación a través de descomposición enzimática se asocia más comúnmente con el conjunto de enzimas antioxidantes, incluyendo la ascorbato peroxidasa (APX), glutatión reductasa (GR) y superóxido dismutasa (SOD). Estas y otras enzimas antioxidantes tienen típicamente varias isoformas y varias localizaciones celulares. Por ejemplo, las SOD se encuentran en el citosol, los cloroplastos y las mitocondrias, y cada una de dichas localizaciones posee una diferente isoforma de SOD que requiere un diferente cofactor metálico (Buchaman *et al.*, 2000).

Factores del Estrés por Causas Climáticas

Dentro de los procesos biofísicos más afectados por la carencia de agua, se encuentra la expansión celular y el crecimiento; desórdenes que afectan a otros procesos biofísicos (Pugnaire *et al.*, 1994).

Las respuestas de las plantas al estrés dependen en gran medida de si la perturbación es continua o periódica y en este último caso, el momento en el que ocurre, la intensidad y la duración de los episodios de estrés son capitales para determinar los efectos producidos. En climas con marcada estacionalidad, muchas plantas se aclimatan a las condiciones ambientales propias de cada estación, lo que mejora su eficiencia supervivencia bajo esas condiciones (Pereira y Chaves, 1993; 1995).

Cuando las condiciones ambientales o los recursos son limitantes no solo se reduce el crecimiento sino también existen cambios en la distribución de biomasa para minimizar la limitación del crecimiento por un factor único. En un

análisis cuantitativo reciente de la distribución de biomasa, Poorter y Nagel (2000), concluyeron que la respuesta de las plantas a las variables ambientales sigue el llamado modelo de “equilibrio funcional”, en el que las plantas responden a una carencia de recursos por encima del suelo con mayor distribución a partes aéreas (mayor área foliar), y a una disminución en recursos en el suelo (agua, nutrientes) con incremento de la distribución a raíces.

Al igual que lo mencionado para el estrés hídrico, los efectos de las bajas temperaturas en las plantas incluyen cambios en la bioquímica y biofísica de las membranas, en la síntesis proteica, modificaciones conformacionales en enzimas, en la ultra estructura de mitocondrias y cloroplastos (Kratsch y Wise, 2000) y en los metabolismos fotosintético y respiratorio (Nilsen y Orcutt, 1996) además de disminución del crecimiento y alteraciones en el desarrollo (Allen y Ort, 2001).

El frío produce la llamada ‘separación de fases’, que si se prolonga en el tiempo, impide a la biomembrana mantener los gradientes iónicos y el metabolismo comienza a sufrir alteraciones. Finalmente, la muerte de la célula puede sobrevenir si el daño se acentúa. En este sentido, ha recibido considerable atención el papel de la insaturación de lípidos de membrana en la tolerancia a bajas temperaturas y de hecho éste ha sido considerado como uno de los factores críticos entre los mecanismos de tolerancia por frío (Nishida y Murata, 1996).

Este fenómeno puede tener diversas causas, entre otras, la disminución de la conductividad hidráulica de las raíces y alteraciones en el grado de control estomático (Allen y Orr, 2001), conduciendo a un desbalance entre captación de agua y transpiración.

El daño inducido por bajas temperaturas varía ampliamente según las especies, tanto en magnitud como en la escala temporal en la que los primeros síntomas aparecen. En algunas especies estos daños pueden aparecer durante

el episodio de estrés, en otras, en cambio, en el período posterior de recuperación, en que las plantas son sometidas a temperaturas 'normales' para la especie (Nilsen y Orcutt, 1996).

La variabilidad en el grado de daño también puede observarse a nivel celular, donde unos componentes son más dañados que otros. Se ha señalado que los cloroplastos parecen ser los organelos más sensibles a las bajas temperaturas (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas cultivadas se ven sometidas a diferentes grados de estrés en alguna etapa de su crecimiento, los cambios generados son una respuesta a la sobrevivencia de la planta misma; el efecto del estrés por sequía generalmente es reflejado en una disminución de la producción y del crecimiento total; esto con respecto al grado de reducción de factores, como la etapa de crecimiento y el agotamiento de agua, así como el tiempo de duración de las condiciones de sequía (Kramer, 1983).

En un marco fisiológico, a menudo la tolerancia a estreses abióticos como la sequía está asociada a la supervivencia de la planta. Sin embargo, desde un punto de vista agronómico, la tolerancia se entiende más bien en términos del rendimiento (magnitud y estabilidad) de un cultivo en condiciones limitantes de disponibilidad hídrica (Passioura, 1996).

Un ejemplo clásico de 'crossover', que en general se produce a bajos rendimientos promedio, es decir, en condiciones de estrés severo, puede observarse en las variedades enanas de trigo. Estos cultivares, cuyo rendimiento potencial es alto, poseen un sistema radicular menos desarrollado, lo que les confiere mayor susceptibilidad a condiciones de sequía (Ali *et al.*, 1990).

Estrés Hídrico

El conocido estrés hídrico puede ser tanto por una falta de agua (sequía), como por un exceso de ella (asfixia radicular). Estrategias a largo plazo que incluyen patrones fijos (genéticamente dependientes) de reparto de biomasa (raíz/follaje); modificaciones anatómicas que se heredan entre generaciones, mecanismos fisiológicos complejos como el metabolismo CAM, crecimientos reducidos para optimizar el uso del agua y la captura de energía (Pugnaire *et al.*, 1994).

Las plantas, a lo largo de su vida, se ven sometidas a un gran número de condiciones ambientales adversas, como el déficit de agua en su entorno; y esto no resulta una limitante para su distribución en las diferentes condiciones climáticas de la superficie terrestre. Esta amplia distribución se da gracias a que las plantas cuentan con mecanismos muy eficientes para hacer frente a los factores ambientales adversos (Pérez y Ochoa, 1990).

Las plantas presentan principalmente dos mecanismos de respuesta frente al déficit hídrico, como la evitación o escape y la tolerancia (Kramer, 1983).

La evitación se entiende como el uso de ciclos de crecimiento muy rápidos o de madurez temprana, permitiendo el aprovechamiento rápido de la disponibilidad de agua y evitando así la pérdida o sequía. Las plantas pueden desarrollar mecanismos, tanto morfológicos como fisiológicos, al ser sometidas a un estrés por sequía (Turner, 1986; Padilla, 1994).

Factores del Estrés Asociados al Manejo del Cultivo

Algunas especies de plantas mueren al aplicar un herbicida en tanto que otras lo toleran. Esto se debe a que los herbicidas sistémicos actúan interfiriendo algún proceso vital para la planta, generalmente fotosíntesis y en

tanto que algunas especies no pueden defenderse químicamente otras forman (o ya las poseen desde antes) moléculas que inactivan al herbicida. Esta es una característica genética heredable y la aplicación de un producto no puede crearla y menos aun pasarla a los descendientes. En realidad no son los individuos los que se hacen resistentes, sino las poblaciones (Rojas, 1995).

Con respecto a la inducción de resistencia a los herbicidas por aplicación de alguna sustancia se deben distinguir dos conceptos: el de desintoxicante y el de antídoto. Un desintoxicante sería una sustancia que al aplicarse a una planta afectada por un herbicida inactivara de alguna manera las moléculas del producto permitiendo que la planta volviese a la normalidad (Rojas, 1995).

El estrés salino induce una serie de respuestas morfológicas, fisiológicas y bioquímicas en las plantas. Estas respuestas varían ampliamente dependiendo del genotipo y del estadio de desarrollo de la planta. Mientras algunas especies presentan elevada tolerancia a la salinidad otras son altamente susceptibles. Las plantas tolerantes a elevadas concentraciones se clasifican como halófitas, las cuales presentan, además, la capacidad de acumular una gran cantidad de Na^+ y Cl^- (Ungar, 1991). En general el estrés salino restringe el crecimiento de las plantas. Niveles excesivamente elevados de salinidad causan la necrosis de células del sistema radical y de la parte aérea. Este conjunto de daños permanentes puede producir la muerte de la planta.

Munss (1993), ha propuesto un modelo bifásico de respuesta del crecimiento de las plantas a la salinidad. Según este modelo, el crecimiento es reducido, inicialmente, debido a la disminución del potencial del agua del suelo. En esta fase, el crecimiento se ve afectado por el estrés hídrico y regulado por señales provenientes de la raíz, entre los cuales se destaca el ácido abscísico (ABA). Mientras que en esta primera fase la reducción del crecimiento se refiere a los efectos de las sales que están fuera de la planta, la segunda fase se caracteriza por los efectos de las sales en su interior. Los efectos específicos de

los iones se presentan como daños, sobre todo en las hojas, que llevan a la senescencia prematura. Cuando la tasa de muerte de las hojas sobrepasa la tasa de producción de nuevas hojas, ocurre un sustancial descenso en el suministro de fotoasimilados y/o cambios en el suministro de reguladores de crecimiento y, posteriormente, si el estrés se mantiene, la muerte de la planta.

La capacidad de la planta de reducir su potencial hídrico es fundamental para su adaptación a ambientes salinos. La reducción del potencial hídrico, o ajuste osmótico, ocurre tanto en halófitas como en glicófitas. Las halófitas realizan el ajuste osmótico utilizando principalmente las sales absorbidas del medio ambiente, mientras que las glicófitas tienden a sintetizar solutos orgánicos para realizar su osmorregulación (Läuchly y Epstein, 1990).

Los solutos compatibles actúan tanto en el ajuste osmótico como en la osmoprotección. En el ajuste funcionan como osmolitos, facilitando la retención de agua en el citoplasma y posibilitando el secuestro del Na^+ en la vacuola o en el apoplasto. Alternativamente, actúan en la protección de estructuras celulares a través de interacciones con membranas, enzimas o complejos proteicos (Bohnert *et al.*, 1995). Los solutos compatibles también representan una reserva de carbono para las plantas bajo condiciones de estrés. El acúmulo de solutos compatibles está, de manera general, correlacionado con una mayor tolerancia al estrés salino así como hídrico. Por otro lado, hay evidencias de que el acúmulo de estos solutos, como la prolina por ejemplo, podría ser un síntoma de desequilibrio metabólico provocado por el estrés (Hanson *et al.*, 1979).

La acumulación de altos niveles de ácido jasmónico en plantas heridas requiere de la activación de la maquinaria responsable de su síntesis. La síntesis de jasmonatos se produce en plantas a partir de ácido linolénico a través de la denominada ruta de los octadecanoides. Esta ruta guarda un elevado paralelismo con la síntesis de prostanooides en animales en la que el punto de partida es el ácido araquidónico. Se han identificado y caracterizado

las actividades y las enzimas implicadas en los distintos pasos se han clonado muchos genes que las codifican (Creelman y Mullet, 1997; León *et al.*, 1999).

Las heridas son un estrés ambiental que las plantas padecen como resultado de daño mecánico o de ataque por plagas. Estudios recientes indican que las heridas de las hojas producen una regulación coordinada de las relaciones de defensa (Roitsch, 1999). Las respuestas de las plantas al ataque de patógenos y a sus metabolitos, incluyen una panoplia de compuestos químicos que van desde compuestos tóxicos de bajo peso molecular (fitoalexinas) hasta barreras estructurales (lignina, callosa, hidroproxilina y proteínas estructurales ricas en prolina además de ligadas a polímeros fenólicos de pared), o proteínas específicas relacionadas con la patogénesis (PR) (Lusso y Kuc, 1999).

Factores del Estrés por Causas Asociadas a Momentos Fenológicos

La tolerancia al estrés hídrico en las plantas se expresa en varios niveles de organización: de desarrollo (época de floración), estructural (morfología de la raíz), fisiológico (eficiencia del uso del agua) y metabólico y químico. En este último nivel la resistencia puede evaluarse en función de un pequeño número de productos génicos. En concreto las rutas de síntesis de osmolitos, al ser relativamente simples, son indicadores potenciales de la biotecnología en la ingeniería metabólica de la tolerancia al estrés hídrico en especies de interés agronómico (Greenway y Munns, 1980; Turner y Jones, 1980; Yancey *et al.*, 1982; Le Rudulier *et al.*, 1984; McCue y Hanson, 1990; Bartels y Nelson, 1994).

Múltiples factores ambientales inducen estados de estrés en las plantas. El estrés hídrico es la principal barrera para incrementar la producción y la calidad; en conjunto con las plagas y enfermedades y la dinámica nutrimental forman parte del objetivo de los sistemas de producción tecnificado (Cornejo, 2002).

Las plantas no se encuentran sometidas a un solo factor que les provoque estrés sino a un conjunto diverso de factores que actúan sobre ella a la vez. Como formulara Lichtenthaler (1988): “un estrés suave puede activar el metabolismo celular, incrementar la actividad fisiológica de una planta, y no causar ningún efecto dañino aún a largo plazo. Tal estrés suave y estimulante es favorable para la planta”.

Solución al Estrés

Las respuestas de las plantas al estrés no solo son debidas a los efectos directos de la pobreza de recursos o a las condiciones hostiles sino también a ajustes fisiológicos que minimizan las perturbaciones en el metabolismo vegetal. A través de las respuestas de retroalimentación las plantas procesan esta información y responden continuamente a los cambios en el ambiente, evitando cualquier alteración importante debida al estrés (Lambers *et al.*, 1998).

Entre las plantas tolerantes se encuentran aquellas que evitan la deshidratación utilizando mecanismos morfofisiológicos complejos como hojas pequeñas y cerosas; estructuras que facilitan la captación del rocío o bien, raíces muy profundas (plantas freatófilas), reducción del número y tamaño de los estomas, modificación de la estructura del dosel, cambios anatómicos en la epidermis, ubicación de los estomas en cavidades, cutículas gruesas y cerosas en combinación con tejidos suculentos, metabolismos CAM (Frensch, 1997).

Larcher (1995), definió la resistencia a la sequía como la capacidad de una planta para soportar periodos de déficit hídrico. Esta capacidad es una característica compleja. Las perspectivas de una planta bajo estrés severo debido a sequía son mejores cuanto más tiempo pueda ser retrasada una disminución peligrosa del contenido relativo de agua del protoplasma (evitación de la desecación) y cuanto más sea posible desecar este protoplasma sin resultar dañado (tolerancia a la sequía).

La aparición de una sequía corta o prolongada durante el ciclo de vida en un cultivar agrícola cualquiera origina casi en forma inmediata un cierre de los estomas, como un mecanismo de protección y/o resistencia de esa adversidad. Este fenómeno ha sido ligado a incrementos en los niveles endógenos de ácido abscísico (ABA), en la gran mayoría de especies investigadas (Rojas y Ramírez, 1996).

Las plantas, como todos los organismos, son capaces de responder y adaptarse a cambios ambientales por medio de la síntesis de proteínas específicas, las cuales modifican su metabolismo celular (Przymusinski *et al.*, 1995).

En la terminología de Levitt (1958), la resistencia a la sequía es el resultado de la evitación y la tolerancia a la desecación. Además de la evitación y la tolerancia, existe otro mecanismo consistente en no enfrentarse a la sequía, el escape (Levitt, 1980; Bradford y Hsiao, 1982).

Diversas respuestas de las plantas han sido vinculadas a una mejor tolerancia al frío. Quizás el rasgo mejor caracterizado es el nivel de insaturación de los lípidos de membrana, ya mencionado anteriormente. La insaturación, entre otras cosas, protege al *PSII* de la foto inhibición, acelerando el proceso de reemplazo del péptido *D1* a nivel del centro de reacción (Nishida y Murata, 1996).

Entre otros, ha sido propuesto el ácido abscísico (ABA) como un regulador que incrementaría la tolerancia al frío (Xin y Li, 1992). Presumiblemente, el *ABA* podría actuar en forma indirecta a través de la mejora del estatus hídrico (Pérez de Juan *et al.*, 1997) o bien mediando otro tipo de respuestas tal como cambios a nivel de las membranas (Janowiak y Dörffling, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El experimento se realizó en el laboratorio de malezas del Departamento de Parasitología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Buenavista, Saltillo en el estado de Coahuila, México.

Material genético evaluado

El material biológico fue proporcionado por el Instituto Mexicano del Maíz y fue el híbrido AN 360.

Descripción de agroquímicos usados

Los insumos utilizados fueron urea foliar sin biuret, quelatos, aminoácidos y como fuente de sacarosa, azúcar. El glifosato se usó como factor estresante. La fertilización se proporciono con una fórmula 12-45-12.

Establecimiento del experimento

En bolsas de polietileno negro de capacidad de 1000 g previamente perforadas y llenas con sustrato BM2 Berger humedecido, se sembró colocando 4 semillas de maíz AN 360 manualmente el día 3 de marzo del 2009, colocando las bolsas en la cámara bioclimática.

La cámara bioclimática se mantuvo en una temperatura constante de 28 ± 4 °C, con un fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad y con una intensidad de luz de $800 \mu\text{mol m}^2\text{s}^{-1}$ proporcionada por luz fluorescente. El riego se daba según las necesidades de las plántulas, adicionando 100 ml de agua por maceta, dando 5 riegos los días 6, 9, 13, 16 y 18 de marzo. Se fertilizó las plántulas a 6 días de la siembra aplicando una solución de 50 ml por maceta, cuya dosis consistía en 300 gr de 12-45-12 en 6 lt de agua.

La aplicación del glifosato se realizó 7 días después de la siembra teniendo 2 hojas verdaderas ayudado por un atomizador manual, ajustando la dosis a una cuarta parte de la dosis comercial y con un gasto de 200 lt por hectárea, quedando una solución total de 2.8 ml de Herbipol aforando a 450 ml de agua. Se aplicó dentro de una pecera de cristal para evitar acarreo del herbicida.

Diseño experimental

El diseño experimental fue un completamente al azar con diferente número de repeticiones con la finalidad de mantener la uniformidad de las plantas con cinco tratamientos y un testigo. Los tratamientos fueron aminoácidos, quelatos, urea foliar, sacarosa y una la fórmula tradicional, que es la suma de los cuatro tratamientos anteriores.

El análisis estadístico se realizó por medio del paquete de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la UANL (Olivares, 1994), realizando una prueba de medias por Tuckey y un análisis de varianza.

Aplicación de productos

La aplicación de los tratamientos se realizó 11 días después de la siembra. El tratamiento de aminoácidos se realizó con una solución de 1.5 ml de Megafol, producto comercial, en 450 ml de agua. Se aplicaron 3ml de

Poliquel, como fuente de quelatos, en 450 ml de agua. La aplicación de Lobi, urea de manera foliar, fue aplicado a una dosis de 2.25 gr en 450 ml de agua. Para proporcionar la sacarosa a las plantas en el experimento fue con la intervención de azúcares, en donde la proporción fue de 1.5 gr de azúcar en 450 ml de agua. La fórmula tradicional consistió en una suma de todos los productos antes mencionados, con la misma dosis empleada para cada tratamiento por separado. Se realizó una segunda aplicación a los 15 días de la siembra utilizando las mismas dosis para cada tratamiento.

Variables usadas para la evaluación

Las variables que se registraron fueron peso fresco de las plántulas y longitud de las plántulas, utilizando una balanza analítica y un escalímetro respectivamente para cada variable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La emergencia de la semilla de maíz fue al tercer día de la siembra, debido a que la temperatura del sustrato llegó hasta los 32 °C, así como por efecto de los focos de luz fluorescente y que se mantuvo la humedad del sustrato en todo momento. El porcentaje de germinación en estas condiciones fue del 99.6%, registrándose solo dos semillas sin germinar.

A consecuencia del desarrollo tan acelerado de las plántulas de maíz, estas alcanzaron las dos hojas verdaderas a los 6 días de la fecha de siembra, por lo que se decidió aplicar el glifosato al séptimo día.

Normalmente los primeros síntomas de daño por glifosato se presentan a los siete días después de su aplicación; pero en este caso se presentaron al tercer día. A esta fecha las plantas presentaron síntomas característicos por glifosato, que son una clorosis general, enrollamiento de las hojas, necrosis del follaje y la descomposición de las partes subterráneas.

Los tratamientos anti-estrés Megafol (aminoácidos), Poliquel como fuente de quelatos, urea de manera foliar (Lobi), azúcares para proporcionar sacarosa, y la fórmula tradicional se aplicaron a los 11 días después de la fecha de siembra, con la ventaja de tener síntomas claros del efecto del glifosato y repitiéndose la aplicación de los tratamientos a los 15 días después de la siembra. La toma de datos se realizó a los 20 días.

Para la evaluación de las plantas consideré el peso fresco por medio de una balanza analítica del Laboratorio de Toxicología del Departamento de Parasitología de la UAAAN, obteniendo los valores que se pueden observaren el Cuadro 1.

Cuadro 1. Peso fresco de las plántulas de maíz aplicadas con glifosato y tratadas con nutrición anti-estrés.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Testigo	1.58	1.39	0.43	1.33	0.90	1.14	1.34	1.43	1.27	0.95	1.09	1.69	1.09	
Azúcar	1.55	1.52	1.90	2.61	1.61	1.88	1.33	2.07	1.35	0.36	0.36	1.57	0.78	
Aminoácidos	1.29	1.55	1.31	1.01	1.76	2.08	0.45	0.91	1.43	1.33	1.80	0.99	0.53	
Urea Foliar	1.49	0.87	1.12	1.57	0.90	0.96	1.07	1.92	1.73					
Quelatos	1.34	2.29	1.18	1.11	1.57	1.51	1.54	1.88						
Tradicional	1.93	0.90	1.41	1.15	1.29	1.26	1.24	0.67	0.62					

*Valores expresados en gr

Como se puede observar (Cuadro 1), en el inicio del experimento para peso fresco se plantearon 14 repeticiones de los cuales los tratamientos, de quelatos, urea foliar, y tradicional fueron los que al ajustar el número de repeticiones para uniformizar las condiciones, presentaron menor número de repeticiones; al analizar numéricamente nuestros resultados no se observan grandes diferencias por lo que se procedió a realizar una prueba de medias.

Por otro lado, estas plantas fueron medidas con un escalímetro dentro del laboratorio antes mencionado, registrando los valores que se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Longitud de las plántulas de maíz aplicadas con glifosato y tratadas con nutrición anti-estrés.

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
Testigo	34.0	22.5	17.2	36.7	28.5	25.5	35.0	29.5	28.0	27.3	25.4	29.8	36.3	13.0
Azúcar	28.7	38.4	37.6	46.3	35.4	37.8	34.0	40.3	45.2	28.1	26.2	35.8	31.4	
Aminoácidos	34.7	34.2	34.0	29.3	28.7	35.8	26.7	32.0	32.3	34.0	35.0	27.7	28.0	
Urea Foliar	31.5	32.5	35.1	36.0	31.0	33.0	33.2	33.0	41.3					
Quelatos	36.8	41.1	34.2	29.0	30.4	34.8	32.7	46.0						
Tradicional	32.7	33.0	38.2	34.0	31.3	31.1	32.8	32.3	32.8					

*Valores expresados en cm

Al observar los datos de Longitud, Cuadros 2, a simple vista, no se encuentran diferencias entre los tratamientos, por lo que al igual que la variable anterior se procedió a realizar una prueba de medias por medio del paquete de diseños experimentales.

Aunque no hubo diferencias significativas para la variable Peso Fresco entre tratamientos, se procedió a realizar el análisis de varianza obteniendo un coeficiente de variación de 35.71%, siendo este alto, al presentar diferencias entre los valores obtenidos.

Cuadro 3. Análisis de Varianza para el Peso Fresco de plántulas de maíz.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	0.977425	0.195488	0.8722	0.507
Error	60	13.447578	0.224126		
Total	65	14.25003			
C.V.=	35.71%				

Posteriormente se realizó el análisis de varianza de la variable longitud, donde se obtuvo un coeficiente de variación del 19.60% que fue menor y además, logró detectar las diferencias entre los tratamientos.

Cuadro 4. Análisis de Varianza para la variable longitud en respuesta a la aplicación de los diferentes tratamientos.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	5	524.312500	104.862503	2.6628	0.030
Error	59	2323.414063	39.379898		
Total	64	2847.726563			
C.V.=	19.60%				

Cuadro 5. Comparación de medias por el método de Tuckey al 5% para la variable longitud, en las plántulas sometidas a los diferentes tratamientos.

Número de Tratamientos	Tratamiento	Media	
1	Sacarosa	36.0923	A
2	Tradicional	33.1333	A
3	Urea foliar	32.9778	A
4	Aminoácidos	31.7231	AB
5	Quelatos	31.1500	AB
6	Testigo	27.3615	B

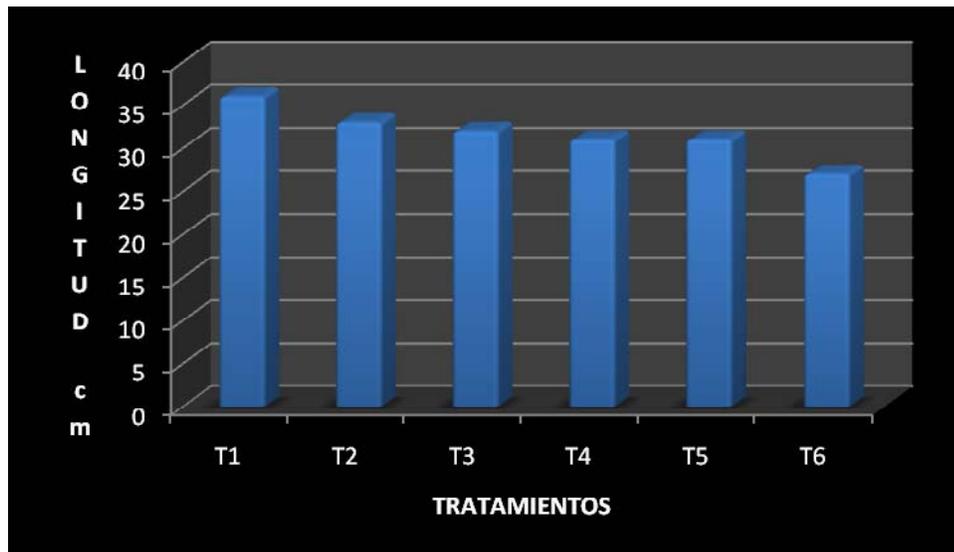


Figura 2. Efecto de los tratamientos en la longitud, aplicados a plántulas de maíz (*Zea mays* L.).

Como se puede observar en el Cuadro 5 y Figura 2, los tratamientos 1,2, y 3, presentaron una mejor respuesta a la aplicación de dichos tratamientos. Sin embargo los tratamientos 4 y 5 aunque mostraron una respuesta positiva, ésta es menor en comparación con los tratamientos antes mencionados.

Finalmente podemos mencionar que el testigo, fue el que presentó una mínima recuperación, en comparación con la respuesta de los otros tratamientos. Observando una respuesta favorable de los tratamientos evaluados

CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en este trabajo muestran que la aplicación de productos destinados a la recuperación de plantas de maíz, afectadas por glifosato resultan satisfactorias.
- La variable peso fresco no manifestó diferencia entre los diferentes tratamientos.
- La evaluación de la variable longitud mostró que las plantas tratadas con sacarosa (36.0923 cm), urea foliar (32.9778 cm) y la fórmula tradicional (33.1333 cm), presentaron mayor recuperación en comparación con el testigo (27.3615 cm).
- La evaluación de los tratamientos a base de quelatos (31.1500 cm) y aminoácidos (31.7231 cm) mostraron una respuesta menos significativa si es comparada con el testigo (27.3615 cm). Sin embargo esto no significa que estos productos no ejerzan un efecto favorable, para la recuperación de las plantas de maíz expuestas a estrés por glifosato.
- La urea (32.9778 cm) y sacarosa (36.0923 cm) por separado fueron significativos para la longitud. El contenido de nitrógeno reducido en la planta aumentó con la urea, pero se redujo con la sacarosa.

LITERATURA CITADA

- Andrade, F., Sadras, V. 2002. Plagas y cultivos. Una perspectiva fitocéntrica. 359-375 p. En: Andrade FH; Sadras, VO. Eds. Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja.
- Aldrich, S.R., Leng, E.R. 1974. Producción moderna del Maíz. 1ra ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur. 300p.
- Ali, D. T., Monneveux, P., Araus, J.L. 1990. Breeding durum wheat for drought tolerance. Analytical, synthetical approaches, and their connections. In 'Symposium on Wheat breeding. Prospects and future approaches' Varna, Bulgaria. 1-33 p.
- Allen, D.J., Ort, D.R. 2001. Impacts of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants. Trends in Plant Science (6): 36-42 p.
- Bartels, D., Nelson, D.1994. Aproaches to improve stress tolerance using molecular genetics. Plant. Cell Envir. (17):359-667 p.
- Beadle, G.W. 1939. Teosinte and the origin of maize. Hered, J. (30): 245-247 p.
- Beadle, G.W. 1978. Teosinte and the origin of maize. In D.B. Walden, ed. Maize breeding and genetics, New York, NY, USA, J. Wiley & Sons. 113-128 p.
- Beadle, G.W. 1980. The ancestry of corn. Sci. Am. (242): 112-119 p.
- Beas, J.C. 1982. Como lo usamos. 1ra ed. México, DF. Arbol Editorial. 102 p.
- Benavides, M.A. 2002. "Ecofisiología y química del estrés en plantas", Departamento de agricultura/ UAAAN.

- Blum, A. 1988. Plan Breeding for stress Environments, Boca Raton Florida, CRP Pres Inc. 223 p.
- Bohnert, H., Sheveleva, E. 1998. Plant stress adaptation: making metabolism move. *Curr. Opin. Plant Biol.* (1):267-274 p.
- Bohnert, H., Nelson, D.E., Jensen, R.G. 1995. Adaptation to environmental Stresses. *Plant Cell* (7):1099-1111 p.
- Bradford, K.J., Hsiao, T.C. 1982. Physiological response to moderate water stress. 263-324 pp. En: O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond y H. Ziegler (eds.). *Physiological Plant Ecology II*. vol. 12B. Springer-Verlag, Berlín.
- Buchanan, B.B., Gruissem, W., Jones, R.L. 2000. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. American Society of Plant Physiologists.
- Calderón, M.J., Celis, R., Quintana, M.A., Durand, S., Cornejo, J. 2005. Soil components as affecting glyphosate soil retention (unpublished results).
- Cámara Uruguaya de Semillas. 2009.
URL: <http://www.cus.org.uy/es/biotecnologia/cultivos-aprobados/44-cultivos-tolerantes-a-herbicidas-th> Fecha de Consulta: 16/03/10
- Centro de Investigaciones Agrarias. 1980. El cultivo de Maíz en México. Edición del 25 Aniversario. México DF. Editorial Mexicana. 148 p.
- C.I.M.M.Y.T. 2001. The AQuality Protein Maize Revolution. Improvet Nutrition and Livelihoods for the Poor. Folleto Informativo Programa de Maíz del CIMMYT. México, D.F. 7p.
- C.I.M.M.Y.T. 2004. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. 4ta ed. México, D.F. 112 p.

- CONAZA.1994. Plan de acción para combatir la desertificación en México, Sedesol-FAO, 1a. ed. 110 p.
- Cornejo, O.E. 2002. "Factores ambientales que originan el estrés. Ecofisiología y química del estrés en plantas", Departamento de agricultura/UAAAN.
- Creelman, R.A., Mullet, J.E. 1997a. Biosynthesis and action of jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* (48): 355-381 p.
- Creelman, R.A., Mullet, J.E. 1997b. Oligosaccharins, brassinolides, and jasmonates: non traditional regulators of plant growth, development, and gene expression. *The Plant Cell* 9(7): 1211-1223 p.
- Davies, W.J., Zhang, J. 1991. Roots signal and the regulation of growth and development of plants in drying soil *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* (42): 55-76 p.
- De Jonge, H., de Jonge, L.W. 1999. Influence of pH and solution composition on the sorption of glyphosate and prochloraz to a sandy loam soil. *Chemosphere*, (39):753-763 p.
- De Jonge, H., de Jonge, L.W., Jacobsen, O.H., Yamaguchi, T., Moldrup, P. 2001. Glyphosate sorption in soils of different pH and phosphorus content. *Soil Science* (166):230-238 p.
- Dominy, P.J., Heath, L.R. 1985. Inhibition of the K⁺ stimulated ATPase of the plasmalemma of pinto bean leaves by ozone. *Plant. Physiol.* (77):43-45 p.

Dowding, P. 1988. Air pollutant effects on plant pathogens. En S Schulte-Hostede, NM Darrall, LW Blank, AR Welburn, eds, Air Pollution and Plant Metabolism. Elsevier Applied Science, Londres, 329-355 p.

Dowswell, C.D., Paliwal, R.L., Cantrell, R.P. 1996. Maize in the third world. Boulder, CO, USA, Westview Press.

Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2000 © 1993-1999 Microsoft Corporation

Frensch, J. 1997. "Primary responses of root and leaf elongation to water deficit in the atmosphere and soil solution", J. Exp. Bot., (48):985-999 p.

Galinat, W.C. 1995. El origen del maíz: el grano de la humanidad. The origin of maize: grain of humanity. Econ. Bot., (49): 3-12 p.

García, T. L., Fernández, Q. C. 1989. Fundamentos sobre malas hierbas y herbicidas. Coedición. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 348p.

Gimsing, A.L., Borggaard, O.K., Jacobsen, O.S., Amand, J., Sørensen, J. 2004. Chemical and microbiological soil characteristics controlling glyphosate mineralisation in Danish surface soil. Appl. Soil Ecol. (27) 233-242 p.

Glanze, P. 1973. El Maíz de Grano. Producción mecanizada de maíz de grano en las regiones tropicales y subtropicales. Edición Leipzig. D.F., México. Ediciones Euroamericanas Klaus Thiele. 198p.

Gómez, B. J.G. 1993. Control Químico de la Maleza. 1ra ed. México D.F. Editorial Trillas. 246 p.

Greenway, H., Munns, R. 1980. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes Annu. Rev. Plant. Physiol. (31):149-190 p.

- Hanson, A.D., Nelsen, C.E., Everson, E.H. 1979. Capacity for proline accumulation during water stress in barley and its implications for breeding for drought tolerance. *Crop. Sci.* (19):489-493p.
- Heath, R.L. 1980. Initial events in injury to plants by air pollutants. *Annu. Rev. Plant. Physiol* (31):395-431 p.
- Hodking, T.V., Ramanatha, R., Riler, K. 1993. Current issues in conserving crop landraces in situ. Paper presented at the on farm conservation workshop, Bogor, 6-8 December.
- Holloway, P.J. 1994. Plant cuticles: Physiochemical characteristics and biosynthesis. En KE Percy, J.N Cape, R. Jagels, C.J. Simpson. Eds. *Air Pollutants and the Leaf Cuticle*. NATO ASI. Series. Springer Verlag, Berlín (36):1-14 p.
- Iltis, H.H., Doebley, J. 1980. Taxonomy of *Zea* (Gramineae). II. Subspecific categories in the *Zea mays* complex and a generic synopsis. *Am. J. Bot.* (67): 994-1004 p.
- I.N.I.A. 1992. Ciclos de Cultivo: diagramas de las principales especies vegetales con las cuales se efectúan investigaciones agrícolas en México. México, D.F. 86 p.
- Janowiak, F., Dörffling, K. 1996. Chilling of maize seedlings: changes in water status and abscisic acid content in ten genotypes differing in chilling tolerance. *Journal of Plant Physiology.* (147): 582-588 p.
- Jugenheimer, R.W. 1981. Maíz, Variedades Mejoradas, Métodos de Cultivo y Producción de Semillas. Limusa. México, D.F.357-442 p.

- Klingman, G., Ashton, F. 1980. Estudio de las plantas nocivas. Principios y prácticas, México. Editorial Limusa. 449 p.
- Kramer, P.J. 1983. "Drought Tolerance and Water Efficiency", en: Water Relations of Plants, Nueva York, Academy Press. 390-415p.
- Kratsch, H.A., Wise, R.R. 2000. The ultrastructure of chilling stress. *Plant Cell and Environment* (23): 337-350 p.
- Lafond, P.R. 1998. Manejo y caracterización de los genotipos autóctonos de maíz (*Zea mays*, L.) de la comunidad El Tejar, La Jocuma, La Palma, Pinar del Río.
- Lambers, H., Chapin, F.S., Pons, T.L. 1998. *Plant Physiological Ecology* Springer, Nueva York. 540 p.
- Larcher, W. 1995. *Physiological Plant Ecology*. 3rd ed. Springer-Verlang. Berlin, Heidelberg. 506 p.
- Läuchli, A., Epstein, E. 1990. Plant responses to saline and sodic conditions. En KK Tanji, ed. *Agricultural Salinity Assesment and Management*. American Society of Civil Engineer, New York. 113-137 p.
- Le Rudulier, D., Strom, A.R., Dandekar, A.M., Smith, L.T., Valentine, R.C. 1984. Molecular biology of osmoregulation. *Science* (24): 1064- 1068 p.
- León, J., Rojo, E., Titarenko, E., Sánchez, S.J.J. 1998. Jasmonic acid dependent and independent wound signal transduction pathways are differentially regulated by Ca^{2+} /calmodulin in *Arabidopsis thaliana*. *Molecular and General Genetics* 258(4): 412-419 p.

Leonard, D. 2000. Una introducción a los cultivos individuales.

URL:<http://media.payson.tulane.edu:8083/html/spanish/pc/m0035s/m0035s08.htm> Fecha de Consulta: 7/04/10

Levitt, J. 1958. Frosts, drought and heat resistance. *Protoplasmatologia*, 6, 87 p.

Levitt, J. 1980. Responses of Plants to Environmental Stresses. Water, radiation, salt and other stresses. Physiological Ecology series. Academic Press. New York. (1):129–186 p.

Lichtenthaler, H.K. 1988. In vivo chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. 139-142 p. In: H.K. Lichtenthaler (ed.). applications of Chlorophyll Fluorescence in Photosynthesis Research, Stress Physiology, Hydrobiology and Remote Sensing. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. 366 p.

Longley, A.E. 1941. Chromosome morphology in maize and its relatives. *Bot. Rev.*, (7): 263-289 p.

Lusso, M., Kuc, J. 1999. Plant Response to pathogens. En HR Lerner, ed. Plant Responses to Environmental Stresses. From Phytohormones to Genome Reorganization. Marcel Dekker, Nueva York. 683-706 p.

Matyssek, R., G. Georg, M.S., Saurer, M., Keller, T. 1992. Seasonal growth: ¹³C in leaves and stem and floem structure of birch (*Betula pendula*) under low ozone concentration. *Trees* (6):69-76 p.

Mertz, E.T., Bates, L.S., Nelson, O.F. 1964. Mutant gene that change protein composition and increase lysine content of maize endosperm. *Science* (145):279-280 p.

- McCue, K.F; Hanson A.D. 1990. Drought and salt tolerance: towards understanding and application. Trends Biotechnology. (8):358-362 p.
- Mollo, J. 2006. Sulfato de Amonio Líquido en Aplicaciones con Glifosato.
URL: <http://www.agronoticia.com/agricola/news/170.html>
Fecha de Consulta: 16/02/10
- Munns, R. 1993. Physiological processes limiting plant growth in the saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant Cell Environ. (17):303-309 p.
- Nilsen, E.T., Orcutt, D.M. 1996. Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley & Sons, INC. New York.
- Nishida, I., Murata, N. 1996. Chilling sensitivity in plants and cyanobacteria: the crucial contribution of membrane lipids. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology (47): 541-568 p.
- Olien, C.R. 1974. Energies of freezing and frost desiccation. Plant Physiol. (53):764-767 p.
- Olivares, S.G. 1984. Mejoramiento genético del maíz: cosechas abundantes y más nutritivas, ciencia y desarrollo. (55-58): 84-93 p.
- Olivares, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales. FAUANL. Versión 2.5. Facultad de Agronomía UANL. Marín, NL.
- Padilla, R. J.S. 1994. Osmotic adjustment of Cotton (*G. hirsutum*. L.) in Response to Water Stress, Las Cruces, Nuevo México, Universidad de Las Cruces. 110 p.
- Passioura, J.B. 1996. Drought and drought tolerance. Plant Growth Regulation (20): 79-83 p.

- Pereira, J.S., Chaves, M.M. 1993. Plant water deficit in Mediterranean ecosystems *En* JAC South, H Griffiths, eds Plant Responses to Water Deficit-from Cell to community. BIOS Scientific Publ. 237-248 p.
- Pereira, J.S., Chaves, M.M. 1995. Plant responsive to drought under climate change in Mediterranean-type ecosystem. *En* J.M. Moreno, W.C. Oechel. Eds. Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems. Springer. Verlag. Berling-Heidelberg-Nueva York. 140- 160 p.
- Pérez de Juan, J., Irigoyen, J.J, Sánchez, D.M. 1997. Chilling of drought-hardened and non-hardened plants of different chilling-sensitive maize lines. Changes in water relations and ABA contents. *Plant Science* (122): 71-79.
- Pérez, M. B.E., Ochoa, A.N. 1990. "Respuesta de las plantas al déficit hídrico". *Ciencia*. 333-344 p.
- Peterson, R., Higley, L. 2001. Illuminating the Black Box: The Relationship between Injury and Yield. 3-12 p. *En*: Peterson R; Higley, L. Eds. Biotic Stress and Yield Loss. CRC Press.
- Poorter, H., Nagel, O. 2000. The rol of biomass allocation in the growth response of plants different levels of light, CO₂ nutrient and water a quantitative review. *Aust. J. Plant Physiol.* (27): 595-607 p.
- Przymusinski, R., Rucinska, R., Gwózdź, E. 1995. The Stress-strimulaated 16kDa plypeptide from Lopin roots has properties of cytosolic Cu: Zn-Superoxide dismutase. *Elservier Science Ltd. Environmental and Experimental Botany.* No. 4. (35):485-495 p.

- Pugnaire, F., Endolz, L.S., Pardos, J. 1994. Constraints by water stress on plant growth. In. Handbook of plant and crop stress, Nueva York, Basel, Hong Kong, M. Pasarakli, ed., Marcel Dekker, Inc.
- Quinn, J.P., Peden, J.M.M., Dick, R.E. 1988. Glyphosate tolerance and utilization by the microflora of soils treated with the herbicide. Appl. Microbiol. Biotechnol. (29):511-516 p.
- Quiroga, M. R. R. 1995. Enfermedades de maíz (*Zea mays*, L.) en algunas regiones tropicales de México, con énfasis en el estado de Chiapas: Manual para técnicos, investigadores y estudiantes. Universidad Autónoma de Chiapas. 16 p.
- Rabí. 2001. Guía Técnica para la producción del cultivo del Maíz (*Zea mays*, L.). Apoyo al programa para el cultivo popular de productos básicos en las provincias orientales del país. 8 p.
- Ramella, R. 1948. El Maíz en la Argentina, la planta y su cultivo. Editorial Sudamérica. Buenos Aires Argentina.
- Reymond, P., Weber, H., Damond, M., Farmer, E.E. 2000. Differential gene expression in response to mechanical wounding and insect feeding in Arabidopsis. The Plant Cell 12(5): 707-719 p.
- Riveiro, S. 2004. El día en que muera el sol: contaminación y resistencia en México. GRAIN
- Roitsch, T. 1999. Source – sink regulation by sugar and stress. Curr. Opin. Plant Biol. (2):198-206 p.
- Rojas, G.M., Ramírez, H. 1996. Control hormonal del desarrollo de las plantas, México, Limusa. 239 p.

- Rojas, G.M., Vázquez, G.R.J. 1995. Manual de Herbicidas y Fitorreguladores: Aplicación y Uso de Productos Agrícolas. 3ra ed. México, D.F., Editorial Limusa. 157 p.
- SEP. 1988. Manual para Producción agropecuaria de Maíz, Editorial Trillas 7ma reimpresión.
- Schwentesius, R. 2003. ¿El campo no aguanta más? CIESTAAM – UACH y La Jornada.
- Socorro, M.A., Martín, D.S. 1989. Ciudad de la Habana. Editorial Pueblo y Educación. 317p.
- Taba, S., Van Ginkel, M., Hoisington, D., Poland, D. 2004. Wellhausen-Anderson Plant Genetic Resources Center: Operations Manual. El Batán, México: CIMMYT. 29 p.
- Taiz, L., Zeiger, E. 1991. Plant physiology. Benjamin Cumming Pub. Co. Inc. Redwood C.A. 346-347 p.
- Tocagni, H. 1980. El Maíz. 1ra Ed. Buenos Aires, Argentina. Editorial Albatros. 143 p.
- Torsethaugen, G., Pell, E.J., Assmann, S.M. 1999. Ozone inhibits guard cell K^+ channels implicated in estomatal opening. P. Natl. Acad. Sci (96): 13577-13582 p.
- Thorner, D.W., Peterson, H.B. 1975. Técnica de riego, fertilidad y explotación de los suelos. 6ta reimpresión. Ed. C.E.C.S.A. México. 15-20 p.
- Turner, N.C. 1986. "Adaptation to Water Stress Deficit: A Changing Perspective", Aust. J. Plant. Phisiol., (13):175-90 p.

- Turner, N.C., Jones, M.M. 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: A review and evaluation. En NC Turner, Kramer, P.J. eds, *Adaptation of Plants to Water and High Temperature Stress*. Wiley, Nueva York. 87-103 p.
- Treshow, M., Anderson, F.K. 1989. *Plant Stress from Air Pollution*. John Wiley and Sons, Nueva York.
- Unsworth, M.H., Biscoe, P.V., Black, V. 1976. Analysis of gas exchange between plants and polluted atmospheres. En TA Mansfield, ed. *Effects of Air Pollutants on Plants*. Cambridge University Press, Cambridge, 4-16 p.
- van Dobben, H.F. 1996. Decline and recovery of epiphytic lichens in and agricultural area in the Netherlands (1900-1988). *Nova Hedwigia* 62:477-485 p.
- van Dobben, H.F., de Backer, A.J. 1996. Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO₂ and increasing NH₃. *Acta Bot. Neerl.* 45:55-71 p.
- Ungar, I.A. 1991. *Ecophysiology of vascular halophytes*. CRC Press Boca Raton, Florida, 209 p.
- Vasal, S.K. 1994. High Quality Protein Corn. In: A.R. Hallauer. Ed. *Speciality Corn*. CRC press. Boca Raton. Florida USA. 75 p.
- Villalba, A. 2009. Efectos de glifosato y metsulfurón metil en plantas acuáticas y uso posible uso como bioindicadoras. *Revista Ciencia Docencia y Tecnologia*. (29): 169-186 p.
- Wilkes, H.G. 1979. Mexico and Central America as a centre for the origin of agriculture and the evolution of maize. *Crop Improv.*, 6(1): 1-18 p.
- Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, XXX: 209-223 p.

- Wilkes, H.G., Goodman, M.M. 1995. Mystery and missing links: the origin of maize. In S. Taba, ed. *Maize genetic resources Mexico*, DF, CIMMYT. 1-6 p.
- Winner, W.E., Gillespie, C., Shen, W.S., Mooney, H.A. 1988. Stomatal responses to SO₂ and O₃. En S Schulte-Hostede, NM Darral, LW Blank, AR Welburn. Eds. *Air Pollution and Plant Metabolism*. Elsevier Applied Science, Londres. 255-271 p.
- Xin, Z., Li, P.H. 1992. Abscisic acid-induced chilling tolerance in maize suspension-cultured cells. *Plant Physiology* (99): 707-711 p.
- Xion, L., Zhu, J.K. 2002. Molecular and genetic aspects of plant responses to osmotic stress. *Plant Cell. Env.* (25):131-139 p.
- Yancey, P.H., Clark, M.E., Hand, S.C., Bowlus, R.D., Somero, G.N. 1982. Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*. (217):1214-1222 p.

CONSULTAS EN INTERNET

URL: www.innovakglobal.com/periodicos/periodico_innovak_enero.pdf

Fecha de Consulta: 5/02/10