

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



RELACIÓN DEL INTERVALO DE FLORACIÓN Y RENDIMIENTO DE
GRANO EN MAÍZ (*Zea mays* L.) BAJO ESTRÉS Y RIEGO NORMAL

POR:

JOSÉ ALBERTO GUTIÉRREZ LÓPEZ

TESIS:

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO.

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

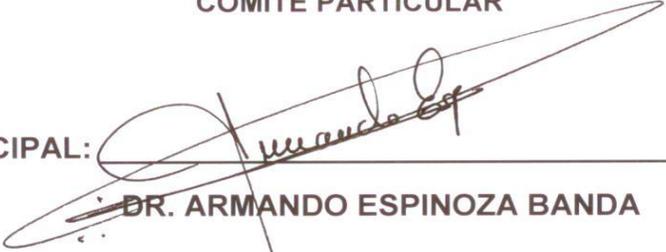
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. **JOSÉ ALBERTO GUTIÉRREZ LÓPEZ** ELABORADO BAJO LA
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

COMITÉ PARTICULAR

ASESOR PRINCIPAL:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:


DRA. MARTHA CAMERON WILLCOX GALLAGHER

ASESOR:


MC. JOSE LUIS COYAC RODRÍGUEZ

ASESOR:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS UL


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2013

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA**

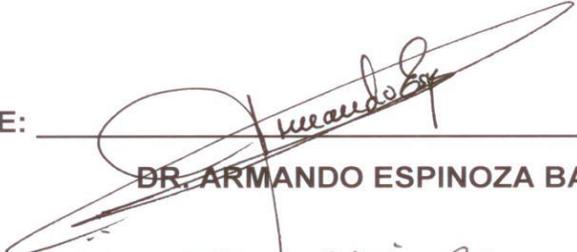
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. JOSÉ ALBERTO GUTIÉRREZ LÓPEZ SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

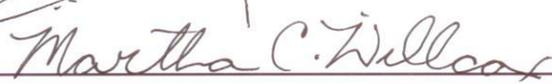
INGENIERO AGRÓNOMO

APROBADO POR:

PRESIDENTE: _____


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL: _____


DRA. MARTHA CAMERON WILLCOX GALLAGHER

VOCAL: _____


MC. JOSE LUIS COYAC RODRÍGUEZ

VOCAL

SUPLENTE: _____


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS.

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS UL


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2013

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión del Doc. Armando Espinoza Banda, Dra. Martha Willcox, doc. Juan Burgueño, Dra. Oralia e ing. José L Coyac, a quienes me gustaría expresar mi más profundo agradecimiento, por hacer posible la realización de este estudio

Además, de agradecer su paciencia, tiempo y dedicación que tuvieron para que esto saliera de manera exitosa.

A dios que gracias a su ayuda y bendición he concluido con mis estudios y todas mis metas.

A mis padres Petrona López Vázquez y Luciano Gutiérrez Pérez les agradezco todo su apoyo y esfuerzo que me han brindado durante todos estos años que estuve en esta universidad y cumplir mis metas.

A mis abuelitos Roberto y María que siempre an estado apoyándome y bendiciéndome en todo momento.

A mi hermano que ha estado con migo en cualquier momento.

A mi abuelita manuela que el día de hoy ya no está con nosotros.

A mis tios (as) Guadalupe, Judith, Male, Martha, Ofelia, Celina, Ilda, Juan, Pascual.

A mis primos Leyner, Jorge, Juanito, Kevin,

A personas muy especiales como el c. Reynaldo, mundo, esparza, que me han brindado su apoyo incondicional en el transcurso de esta carrera.

A mis amigos de CIMMYT, Ing. Armando Guadarrama, a su esposa Claudia y Armandito, así como a toda su familia al, ing. Enrique, Ing., Chepetla, c. Pedro y Francisco.

Y a mis amigos que me han apoyado en el trayecto de mis estudios

A mi Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL quien me ha brindado la oportunidad de estudiar en esta escuela.

Muchas gracias por todo su apoyo.

DEDICATORIA

En el presente trabajo quiero hacer un humilde reconocimiento a todas aquellas mujeres y hombres que han contribuido en la formación profesional y humana a lo largo de mi vida, con todo mi amor y cariño a mi madre Petrona López Vázquez, a mi padre Luciano Gutiérrez Pérez a mi hermano Efrén Gutiérrez López a mis abuelitos Manuela López Vázquez †, María Vázquez Montejo, Roberto López Pérez y a dios que con tanto sacrificio y esfuerzo han logrado que yo termine la carrera de ingeniero agrónomo.

Muchas gracias.

RESUMEN

Con el objetivo de conocer la relación entre el intervalo de floración (ASI) y el rendimiento de grano en maíz, se evaluaron 400 genotipos de diferentes áreas geográficas bajo condiciones de riego y sequía. Los genotipos fueron proporcionados por centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT). El experimento se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAA-UL) en Torreón, Coahuila, durante el ciclo verano de 2012. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2012 en surcos simples de 5 metros a 0.75 m entre surco y a 0.20 m entre planta y planta. Se utilizó un diseño experimental aumentado. Las variables utilizadas son: días a floración masculina (FM), días a floración femenina (FF), intervalo de floración femenina y antesis (ASI), peso de grano por hectárea ajustado al 12 % de humedad, peso de olate. Obteniendo la dispersión de rendimiento y el intervalo de floración (ASI) en condiciones de riego normal (RN) y restringido (RR). Bajo estas condiciones se observa una correlación negativa y no significativa para ambas condiciones de riego. El rendimiento de grano fue menor en riego restringido, pero la tendencia en ambas condiciones de riego el rendimiento disminuye con el incremento de intervalo de floración (ASI). Se observa que en riego restringido, el intervalo de ASI osciló de -15 a +12 días y, en riego normal este periodo fue más estrecho, pues oscila de -5 a +13 días de ASI. Los testigos fueron los que más sobresalientes en rendimiento y valores de ASI en ambas condiciones de riego. Con excepción de los testigos, los genotipos más sobresalientes en riego normal no fueron los mismos que en riego restringido

Palabras claves: maíz, rendimiento, intervalo, floración femenina y antesis (ASI)

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	III
RESUMEN	IV
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El agua y la planta de maíz	4
2.2. El estrés por sequía afecta a toda la planta	4
2.3. La sequía y el desarrollo del cultivo	6
2.4. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz	9
2.5. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical	11
2.6. Sequía en floración	13
2.7. La meta cuando se aplica estrés por sequía durante el llenado de grano ...	13
2.8. Características secundarias	14
2.9. Estrategias de mejoramiento para ambientes propensos a la sequía	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Localización geográfica y características del área de estudio	18
3.2. Material genético	18
3.3. Diseño experimental	19
3.3.1. Diseño del modelo de evaluación	19
3.4. Manejo agronómico	20
3.4.1. Preparación del terreno	20
3.4.2. Siembra	20
3.4.3. Instalación del sistema de riego	20
3.4.4. Aclareo de plantas	20
3.4.5. Fertilización	21
3.4.6. Colocación de sensores de humedad	21
3.4.7. Riegos	21
3.4.8. Control de plagas	23

3.4.9.	Control de maleza	23
3.4.10.	Cosecha	24
3.5.	VARIABLES AGRONÓMICAS EVALUADAS.....	24
3.5.1.	Días a floración masculina (FM).....	24
3.5.2.	Días a floración femenina (FF).....	24
3.5.3.	ASI.....	25
3.5.4.	Rendimiento de grano.....	25
3.5.5.	Toma de humedad de grano.....	25
3.5.6.	Peso de grano por hectárea ajustado al 12 % de humedad.....	25
3.5.7.	Estimación de la cobertura y crecimiento de las planta (NDVI)	25
3.5.8.	Contenido de clorofila (SPAD).....	26
3.5.9.	Enrollamiento foliar	26
3.5.10.	Senescencia.....	27
3.5.11.	Altura de la planta	27
3.5.12.	Altura de la mazorca.....	27
3.5.13.	Acame de tallo y raíz	28
3.5.14.	Peso de grano	28
3.5.15.	Numero de mazorcas cosechadas.....	28
3.5.16.	Peso de campo.....	28
3.5.17.	Peso de olote.....	28
3.5.18.	Largo de mazorca.....	28
3.5.19.	Ancho de mazorca	28
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1.	Correlación entre rendimiento de grano y ASI en riego restringido y riego normal	29
V.	CONCLUSIONES.....	34
VI.	BIBLIOGRAFÍA.....	35

I. INTRODUCCIÓN

En todo el mundo hoy en día, el maíz (*Zea mays* L.) es un alimento básico directo por millones de personas y, a través del consumo indirecto como cultivo de alimento, es un componente esencial de la seguridad alimentaria mundial. (Campos et al., 2004). En México el maíz es el cultivo más importante, existen poco más de 3 millones de productores de este grano, y es el cuarto productor mundial después de Estados Unidos, China y Brasil. Actualmente se cosechan en México aproximadamente 20.5 millones de toneladas de maíz (SAGARPA, 2012).

A pesar de altos niveles de producción de maíz, en la mayoría de las estaciones de crecimiento una parte significativa de la cosecha de maíz sufren de pérdidas de rendimiento causadas por la sequía (Jensen, 1995).

La sequía es uno de los estreses abióticos más importantes debido a sus graves efectos sobre el crecimiento y desarrollo de plantas y la posterior reducción del rendimiento de la cosecha mundial y la calidad. Patrones recientes del cambio climático global es probable que agravar aún más los efectos de la sequía en el futuro (Passioura 2007).

Afecta más al maíz cuando el incide está cerca de la floración ya que inhibe el desarrollo floral y provoca fallas en la fertilización y aborción de cigotes (Saini y Westgate, 2000). El rendimiento de grano se reduce más que en otros estadios del crecimiento debido a que la floración es un periodo crítico en la definición del número de granos, principal componente de rendimiento (Çakir, 2004).

Esta respuesta generalmente tiene lugar cuando se producen temperaturas superiores a las óptimas alrededor de la floración (Vara Prasad et al., 1999). En el maíz, estos efectos se atribuyeron principalmente a la reducción de emisión de polen (Schoper et al., 1987) y la viabilidad del polen (Herrero y Johnson, 1980; Mitchell y Petolino, 1988).

Estos estudios han podido demostrar que la pérdida en rendimiento de grano es particularmente severa si la sequía ocurre durante la floración o el llenado de grano (Claassen y Shaw 1970, O'Toole y Moya 1981)

La combinación de la crisis alimentaria mundial reciente y los efectos del cambio climático en la producción agrícola hace que la comprensión de la dinámica de la estacionalidad, la producción de alimentos y cómo se puede mejorar, sean doblemente importante (Cisne et al., 2010).

Además, en muchas regiones, como las tierras bajas tropicales, el uso de variedades resistentes a la sequía puede ser la única opción económica para muchos pequeños agricultores (Bolaños y Edmeades, 1993a). Las mejoras en la tolerancia a la sequía, un híbrido potencialmente podrían beneficiar a los productores de muchas maneras. Estos incluyen menores costos de riego mediante la mejora de la eficiencia del uso del agua y el aumento de la productividad durante los episodios de sequía en los sistemas de secano. Dado que la disponibilidad de agua es variable a través de los campos y los productores suelen crecer sólo un híbrido en un campo en particular, una cantidad moderada de tolerancia a la sequía es necesario en todos los híbridos de maíz (Bruce et al., 2002). Por lo tanto, el desarrollo y la adopción de variedades resistentes a la

sequía son vistos como una solución a largo plazo para muchos de los problemas que afectan a las regiones de producción de maíz expuestas a la sequía en todo el mundo (Logroño y Lothrop, 1997).

El último desarrollo de variedades resistentes a la sequía del maíz en los programas de mejoramiento a menudo ha implicado la identificación y selección de los rasgos morfo-fisiológicos beneficiosos, tales como un intervalo antesis-floración femenina reducida (ASI) (Campos et al., 2004). En el presente trabajo se han evaluado materiales del banco de germoplasma del CIMMYT para posibles programas de mejoramiento para resistencia a sequía en maíz tropical.

1.1. Objetivo

Conocer la relación entre el intervalo de floración (ASI) y el rendimiento de grano en los materiales evaluados bajo condiciones de riego y sequía.

1.2. Hipótesis

H₀: La relación entre ASI y rendimiento de grano en ambas condiciones es negativa.

H_a: La relación entre ASI y rendimiento de grano es positiva.

H_a: No exista relación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El agua y la planta de maíz

Para la planta el agua es importante debido a que funciona como solvente, como agente enfriador y como reactivo; además, mantiene la estructura de las plantas turgentes. Cuando la planta se marchita, su turgencia se acerca a cero, las células comienzan a colapsarse, las membranas se dañan y las proteínas, en este caso enzimas claves para la planta que se desnaturalizan debido a que su estructura se altera. Las células pueden recuperarse después de haber padecido estrés por sequía, pero tienen que reparar el daño, lo cual toma tiempo (de 0.5 a 7 días). Si el daño es severo, las células mueren (Bänziger *et al.*, 2012).

2.2. El estrés por sequía afecta a toda la planta

Cuando los cambios a nivel celular se manifiestan en toda la planta, se observan las siguientes respuestas a la sequía en el maíz:

- Cuando llueve al principio del ciclo y después hay sequía, las semillas germinan, pero el suelo se seca a grado que el siguiente establecimiento y la población de plantas se ven muy afectados (Bänziger *et al.*, 2012).
- La sequía provoca la reducción de la expansión de hojas, estigmas, tallos, raíces y granos (Bänziger *et al.*, 2012).

La escasa expansión del área foliar resulta ser un sombreado incompleto del suelo. En condiciones de alto potencial de evapotranspiración, la senescencia

foliar se acelera y continúa hacia la parte superior de ésta, disminuyendo aún más la intercepción de la radiación solar(Bänziger et al., 2012).

- En las hojas los estomas se cierran, y la fotosíntesis y la respiración disminuyen a causa de la foto-oxidación y el daño a las enzimas. La planta trata de mantener la división celular mediante el ajuste osmótico, especialmente en los meristemas en crecimiento, pero este ajuste al parecer no juega un papel importante en mantener el crecimiento cuando el estrés es severo(Bänziger et al., 2012).
- Durante este proceso el flujo de asimilados a los órganos en crecimiento se reduce, el crecimiento de los estigmas se retrasa y hace que se retrase también la emisión de éstos, en consecuencia se alarga el intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas y el aborto de mazorcas y granos aumenta y las plantas se pueden volver estériles. La esterilidad puede provocar la pérdida total del rendimiento. En la planta las estructuras reproductoras femeninas se dañan mucho más que las espigas, aunque éstas últimas también se llegan a marchitar si la temperatura se aumenta por encima de los 38°C”(Bänziger et al., 2012).
- La proporción raíz:tallo-vástago aumenta levemente. Cuando el estrés se agrava, se reduce marcadamente la captación de nutrientes por flujo o difusión masiva y el crecimiento radicular disminuye(Bänziger et al., 2012).
- La planta puede movilizar las reservas del tallo hacia los granos cuando el estrés coincide con la etapa lineal del crecimiento de éstos. En casos

extremos, esto puede provocar que el cultivo se acame antes de llegar a la madurez (Bänziger *et al.*, 2012).

2.3. La sequía y el desarrollo del cultivo

Aunque la sequía afecta, hasta cierto punto, el rendimiento de grano del maíz en casi todas las etapas de su desarrollo, el cultivo es más susceptible durante la floración, cuando el estrés por sequía se produce justo antes y durante el tiempo de floración, los resultados de estrés hídrico en el aumento de la longitud del intervalo de sincronía de la floración (ASI), las pérdidas de rendimiento son más graves. El maíz parece ser extremadamente sensible a la sequía desde 2 días antes y hasta 22 días después de la emisión de estigmas, pero la máxima sensibilidad se registra a los 7 días; las plantas se pueden volver casi completamente estériles si padecen estrés desde justo antes del espigamiento hasta el inicio del llenado de grano (Grant *et al.* 1989).

Se piensa que el maíz es más susceptible durante la floración que otros cultivos de temporal. A diferencia de otros cereales, en el maíz las flores masculinas y femeninas están separadas por una distancia de hasta un metro, y el polen y el frágil tejido estigmático están expuestos a una atmósfera seca que es hostil a la polinización (Grant *et al.* 1989).

Además, y lo que es más importante, el crecimiento de los estigmas y el número de granos al parecer dependen directamente del flujo de los productos fotosintéticos durante las tres semanas de la floración, período de sensibilidad extrema (Schussler and Westgate 1995). Cuando la fotosíntesis por planta se

reduce durante la floración por efecto de la sequía y otras causas de estrés abiótico, el crecimiento de los estigmas se retrasa, lo cual lleva a un incremento del intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas (IPE, intervalo polen-estigmas), y al aborto de granos y mazorcas (Bolaños y Edmeades 1996; DuPlessis y Dijkhuis 1967; NeSmith y Ritchie 1992).

El estrés hídrico en la etapa de formación de flores disminuye el número de granos por planta, mientras que en el llenado de grano reduce el tamaño del grano (Grant *et al.*, 1989).

En otras investigaciones se ha encontrado que la sequía inhibió la fotosíntesis más rápido (Pellesch *et al.*, 1997) o en mayor grado (Schellenbaum *et al.*, 1998) en los genotipos de maíz susceptibles que en los tolerantes.

Schussler y Westgate (1991) sugirieron que la afectación del número de granos en plantas sometidas a sequía se debe a la reducción de la fotosíntesis. Además, se ha demostrado una estrecha asociación entre el aborto de granos y la provisión de carbohidratos durante la floración (Zinselmeier *et al.*, 1999; McLaughlin y Boyer, 2004). Por ello, la tasa fotosintética y los azúcares solubles se han utilizado como marcadores para detectar genotipos tolerantes a la deshidratación en trigo (*Triticum* spp.) (Kameli y Lösel, 1993) y maíz (Pelleschi *et al.*, 1997; Schellenbaum *et al.*, 1998).

Aunque con frecuencia las plantas forman, mucho antes de la floración, una cantidad razonable de reservas que son almacenadas en el tallo, la mazorca en desarrollo tiene muy poca capacidad de movilizar y atraer estas reservas en las

primeras dos semanas de su vida. Es posible que la polinización se realice con éxito en plantas que padecen estrés por sequía y que, poco días después, éstas aborten los granos (Westgate y Bassetti 1991; Westgate y Boyer 1986). Cabe señalar que la selección dirigida a reducir el crecimiento del tallo (altura de la planta) y de la espiga puede reducir la competencia por los asimilados durante la floración, lo cual disminuye el aborto de los granos. (Bänziger *et al.*, 2012)

Una vez que los granos entran en la fase lineal de la acumulación de biomasa, dos o tres semanas después de la polinización, éstos desarrollan suficiente atracción en el recipiente para movilizar los asimilados de reserva almacenados en el tallo y las brácteas. Si los granos llegan a esta etapa, lo normal es que crezcan y lleguen a pesar por lo menos 30% de lo que pesan los granos de una planta no estresada, incluso si la sequía se vuelve mucho más intensa (Bolaños y Edmeades 1996).

La sequía durante la floración favorece el desarrollo de la inflorescencia masculina de la planta, lo que asegura la producción y la dispersión del polen, pero inhibe el desarrollo de la mazorca (Sangoi, 1996). Por lo tanto, una de las principales causas de la susceptibilidad de maíz a la sequía durante la floración es el potencial falta de sincronía entre la aparición de los estigmas y la liberación de polen, lo que reduce la tasa de fertilización sexual y disminuye conjunto del núcleo (Westgate y Bassetti, 1990; Bolaños y Edmeades, 1996).

Dado que el maíz tiene un periodo de floración corto y definido y el polen permanece viable sólo durante un breve período de tiempo, cada día de retraso entre la liberación de polen y la polinización de la mazorca conduce a un retraso

de la fecundación sexual, el aumento de las plantas de estériles y una reducción significativa del rendimiento (Bolaños y Edmeades , 1993 ; Beck et.al. , 1996 ; Sangoi y Salvador , 1996).

Esto debido a que se considera que la floración y las etapas iniciales del período de llenado de grano son críticas para la determinación del rendimiento de grano. Debido a esto, la presencia de temperaturas altas, frecuentemente asociadas con sequías durante estas etapas, pueden afectar los procesos de polinización, fecundación y desarrollo del grano. Esto es consecuencia de la desecación de estigmas y/o de los granos de polen y la reducción de la tasa y/o duración del período de llenado de grano, que afectan el número y peso individual de los mismos (Bassetti y Westgate, 1993; Suzuki et al., 2001; Wilhelm et al., 1999).

Para maíz, una temperatura mayor de 35°C acompañada con una baja humedad relativa provoca desecación de los estigmas, y temperaturas superiores a 38°C reducen la viabilidad del polen. En base a esto, se ha sugerido que por cada grado centígrado (°C) que se incrementa la temperatura por encima del óptimo (25°C), se reduce un 3 a 4 % el rendimiento de grano (Cheikh y Jones, 2001).

2.4. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz

Estos estudios han podido demostrar que la pérdida en rendimiento de grano es particularmente severa si la sequía ocurre durante la floración o el llenado de grano (Claassen y Shaw 1970, O'Toole y Moya 1981), ya que se ha

podido observar que durante la formación de los gametos la planta es altamente sensible al déficit de agua; siendo el gametofito masculino la estructura más sensible, induciendo principalmente esterilidad (Namuco y O'Toole 1986). Los efectos de la sequía en maíz, cuando ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo se manifiestan, en una reducción del número de granos, debido principalmente a la absorción del ovario o esterilidad del polen; esto debido a que el déficit hídrico inhibe la fotosíntesis y disminuye el flujo de fotosintatos a los órganos en desarrollo (Boyer y Westgate 2004). Cuando el estrés ocurre durante el desarrollo del cigoto, se provoca abortación o bien el saco embrionario puede ser afectado en su desarrollo pueden ser entre un 15 y 43 % induciendo una asincronía entre la antesis y la floración femenina (Ouattar et al. 1987a, Ober et al. 1991, Desai y Singh 2001).

Los bajos potenciales hídricos en maíz provocados por la sequía, contribuyen a detener el crecimiento del embrión, disminuyen el flujo de sacarosa y generan alteración en el metabolismo de los carbohidratos en los ovarios (Zinselmeier et al. 1995). Schussler y Westgate (1991), mencionan que el déficit de agua disminuye la distribución de materia seca, carbohidratos y reduce el nitrógeno en los granos de maíz; sin embargo, la acumulación de carbohidratos en hojas y tallos continúa inmediatamente después de la polinización; por lo que concluyen que la pérdida de grano por sequía es debido en gran parte, a una reducción en el suministro de carbohidratos a la mazorca. Setter et al. (2001) y Schussler y Westgate (1995), mencionan que el flujo de carbohidratos y el ácido

abscísico actúan como componentes de un sistema regulatorio por medio del cual la sequía tiene menos efecto en el grano después de la polinización.

Para tener éxito en la formación de la semilla del maíz, según Herrero y Johnson (1981), debe ocurrir una rápida expansión de las estructuras reproductivas, particularmente del pistilo, pero cuando la sequía ocurre durante la antésis, se inhibe el crecimiento del estigma y del jilote, más que el de la espiga; esta diferencia incrementa la asincronía entre la caída del polen y la emergencia del estigma y con ello una falla en la polinización. Moss y Downey (1971), encontraron que la asincronía bajo estrés por sequía, varió entre 13 y 16 días mientras que en plantas que crecieron en condiciones de humedad fue de tres, y la reducción en rendimiento que se ha estimado alcanza valores de entre el 21 y 40 %, siendo el peso del grano el componente más afectado (NeSmith y Ritchie 1992).

Generalmente se ha reportado que existe menor asincronía entre la floración masculina y femenina en genotipos de maíz cuando el desarrollo ocurre en condiciones de humedad (O'Toole y Namuco 1983).

2.5. La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical

La sequía afecta el rendimiento del maíz reduciendo el número de granos y mazorcas por planta, fundamentalmente debido a un retraso en el intervalo de la floración y una pérdida de la viabilidad de los estigmas. Esta mayor variabilidad en

el intervalo de la floración bajo sequía permite una identificación más fácil de las familias superiores.(Bolaños y Edmeades, 1990).

Al ASI se le ha considerado como un rasgo secundario precisa, que tiene una alta heredabilidad y se correlaciona con el rendimiento de grano en condiciones de sequía. Selección por sus siglas ASI puede contribuir a una alta proporción de ajustes de la mazorca para el rendimiento de grano (Bolaños et al, 1993; 1996; Ribaut et al, 1997; Edmeades et al, 1999).

Sin embargo, la selección convencional para ASI requiere condiciones de sequía cuidadosamente manejados, lo que limita su uso en programas de mejoramiento de maíz. Con el desarrollo de la mercados, es posible identificar los principales loci de rasgos cuantitativos (QTL) que regulan las respuestas específicas de sequía, y proporcionará un medio eficaz para mejorar la tolerancia a la sequía en el maíz germoplasma (Stuber et al, 1987; Zehr et al, 1992; Schon et al, 1994; Veldboom et al, 1994; 1996).

La estrategia actual del CIMMYT para mejorar la resistencia a sequía del maíz tropical es seleccionar primero para buena sincronización floral y rendimiento bajo sequía, asegurándose de mantener el potencial productivo y la madurez del germoplasma constante. (Bolaños y Edmeades, 1990).

Bolaños y Edmeades (1988) concluyeron que en maíz el parámetro más importante a seleccionar es el intervalo entre antesis y extrusión de estigmas (anthesis - silking – intervalo). Sin embargo, mencionan que la sincronización de la floración masculina y femenina no es garantía para la producción bajo estrés y que

es necesario un vivero de sequía para lograr la expresión de la variación genética en estas condiciones.

2.6. Sequía en floración

El estrés se debe manejar para permitir la máxima expresión de esta variabilidad presente ya niveles representativos de los ambientes, para los cuales el material se encuentra destinado.(Bolaños y Edmeades, 1990).

El riego se programa de manera tal que la sequía durante la floración sea lo suficientemente severo como para retrasar la emisión de estigmas y provocar el aborto de las mazorcas. Los componentes que determinan el rendimiento son el número de granos y de mazorcas por planta. Lo ideal es que el IPE dure, en promedio, de 4 a 8 días, que el número de mazorcas por planta sea, en promedio, de 0.3 a 0.7, y que los rendimientos sean, en promedio, de 1 a 2 t/ha (o sea, de 15 a 20% de los rendimientos en condiciones de agua abundante). Si el estrés por sequía durante la floración no es suficientemente grave, la precisión (heredabilidad y varianza genética) con la que el IPE y el número de mazorcas por planta pueden ser medidos disminuye (Bolaños y Edmeades 1996).

2.7. La meta cuando se aplica estrés por sequía durante el llenado de grano

El riego se programa con el fin de que la sequía ocurra inmediatamente después de la floración y la senescencia foliar se acelere. El componente del rendimiento que se ve afectado en este caso es el peso del grano, debido a que la fotosíntesis disminuye durante el llenado de grano. Lo ideal es que el IPE no se

vea muy afectado por este tipo de estrés, pero los rendimientos deben disminuir a 50% del potencial de rendimiento, como mínimo (es decir, si los rendimientos en condiciones sin estrés son de cerca de 7 t/ha, los producidos bajo este tipo de estrés no deben exceder los 3.5 t/ha)(Bänziger et al., 2012).

2.8. Características secundarias

Algunos rasgos secundarios están asociados con las etapas de desarrollo específicos, tales como la floración, mientras que otros, tales como la tasa de fotosíntesis, son indicativos de crecimiento de la planta durante todo el ciclo de vida del cultivo. Idealmente, las características secundarias deben estar correlacionados con el rendimiento de grano bajo estrés, altamente heredables, fácil de medir, y estable en el tiempo.

Se recomienda utilizar las características secundarias que aparecen a continuación (ordenadas de mayor a menor importancia) en un programa orientado a mejorar la tolerancia a sequía (Bänziger et al., 2012).

- Rendimiento de grano.
- Número de mazorcas por planta.
- Intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas.
- Senescencia foliar.
- Tamaño de la espiga.
- Enrollamiento foliar.

2.9. Estrategias de mejoramiento para ambientes propensos a la sequía

Turner (1979) cita a May y Milthorpe (1962) quienes identificaron tres tipos de resistencia a sequía en las plantas: 1) Escape a la sequía; 2) Tolerancia a la sequía con altos potenciales hídricos en los tejidos; 3) Tolerancia a sequía con bajos potenciales hídricos en los tejidos. Slatyer (1957 a) menciona que el estrés de humedad afecta el rendimiento de grano en cereales cuando se producen tres etapas claves: 1) Iniciación floral y desarrollo de la inflorescencia (aquí se determina el número de granos potenciales); 2) Antesis y fertilización; y 3) Llenado de grano (cuando el peso de grano se incrementa progresivamente). Pérez (1979) menciona que Sopher (1973) determinó que la sequía que ocurre en el período de floración del maíz es la más determinante para el rendimiento del grano.

Muñoz (1988) indica que son varios caracteres los que están asociados en las plantas para resistir a la sequía, menciona la tolerancia a marchitez, fecundidad femenina, precocidad, intensidad del color verde bajo sequía y persistencia del área foliar como indicadores que condensa los efectos de varios caracteres, y concluye que la resistencia a sequía debe ser considerada como un carácter cuantitativo, por lo que pueden ser aplicables todos los principios de la genética cuantitativa y los esquemas genotécnicos, relativos a caracteres poligénicos. Menciona además que para evaluar la resistencia a sequía se hace necesario tener al menos dos niveles de sequía: (1 = condición favorable, 2 = deficiencia hídrica). Finalmente, agrega que el efecto de factores adversos como las plagas, las enfermedades, las heladas y los bajos niveles nutrimentales de una u otra manera inciden sobre la resistencia a sequía.

Un método usado para aumentar la tolerancia y estabilizar el rendimiento en condiciones de estrés es el mejoramiento genético, mediante selección recurrente en campo, de los genotipos más rendidores en sequía. Este método ha demostrado ser efectivo en maíz, pero también es costoso y tardado; así, en la variedad de maíz Tuxpeño Sequía obtenida con ocho ciclos de selección en sequía, se incrementó el rendimiento de grano en 108 kg ha⁻¹ por ciclo (Bolaños y Edmeades, 1993a).

Las variedades tolerantes a sequía se caracterizan por producir más en condiciones de sequía, o sea que, si sobreviven pero no producen grano, son de muy poca utilidad. (Bänziger et al., 2012).

El alto potencial de rendimiento (incluida la heterosis) es una característica constitutiva que suele aumentar el rendimiento en condiciones de sequía moderada, es decir, cuando el estrés por sequía provoca una reducción de los rendimientos inferior al 50%. Para estimar la probabilidad de que haya efectos en un ambiente que beneficien también a otro, es necesario examinar la correlación genética entre los rendimientos de las mismas variedades sembradas en esos dos ambientes. Estos efectos son de esperarse cuando es positiva y significativa la correlación genética (r_G) entre los rendimientos en sitios con estrés por sequía y los obtenidos en sitios con agua abundante. Si la r_G es escasamente positiva, cero o negativa, la selección dirigida a mejorar el potencial de rendimiento por sí sola no afectará en gran medida la tolerancia a sequía. (Bänziger et al., 2012)

Es importante generar variedades precoces que son capaces de evadir la sequía esto permitirá completar su desarrollo dentro de un ciclo de corta duración.

En la selección para obtener madurez precoz, la fenología del cultivo es adaptada de acuerdo con el régimen de agua disponible. Como el período desde la siembra hasta la floración o hasta la madurez fisiológica es una característica altamente heredable. La precocidad conlleva un “castigo” que afecta el rendimiento cuando llueve más de lo normal. El rendimiento de una variedad precoz es restringido por la cantidad de radiación que ésta logra captar, que suele ser menos de lo que capta una variedad de ciclo más largo. (Bänziger et al., 2012)

Modernos híbridos templados tolerantes al estrés muestran una menor aumento de ASI en relación a los híbridos de más edad (Bruce *et al.*, 2001), Aunque cuando ASI se compara con el rendimiento de grano a través de un gran número de híbridos de élite cultivados bajo estrés durante la floración, la variación en ambos rasgos es todavía muy evidente.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica y características del área de estudio

La Comarca Lagunera se localiza a **24° 22'** de latitud norte y **102° 22'** de longitud oeste, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. Geográficamente la región lagunera está formada por una enorme planicie semidesértica de clima caluroso y con un alto grado de aridez. Abarca 5 municipios en el estado de Coahuila y diez en el estado de Durango, ambos en la parte norte del país. Su extensión territorial es de 4 637 km², (SEMARNAT, 2013).

El trabajo se realizó en el campo experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL) en Torreón, Coahuila. El clima es árido con lluvias deficientes en todas las estaciones. La temperatura promedio fluctúa entre los 28 y 40 grados centígrados, pero puede alcanzar hasta 48°C (2008) en verano y -8°C (1997) en invierno, (SEMARNAT, 2013).

3.2. Material genético

El material genético utilizado en la experimentación fue proporcionados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) del programa Descubriendo la Diversidad Genética de la Semilla, (Seeds of Discovery) perteneciente al programa de Recursos Genéticos y consiste de 400 entradas del Experimento de Asociación Genómica o GWAS. El experimento de GWAS es basado en la “Colecta Nucleo de los Mejoradores” del Banco de Germoplasma de CIMMYT (4471 accesiones). Un accesión es una colecta de maiz de un sitio para conservar un un banco de germoplasma. Una sola planta por accesión fue

cruzada con un híbrido de CIMMYT para hacer mestizos modificados. La planta de la accession se uso como macho y también se tomaron tejido de la hoja para extraer ADN para caracterización genómica por secuencia. 400 mestizos de las accesiones fueron evaluado bajo condiciones de calor: Calor con sequía y calor con riego adecuado.

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental en hileras y columnas aumentado con cuatro testigos para análisis espacial: P4082 y P3055 repetidos 15 veces, en tanto que Bisonte y H431 repetidos 14 veces. La parcela experimental consistió de un surco de 5 metros de longitud a 0.75 m entre surco y con una distancia de 0.20 m entre planta y planta.

3.3.1. Diseño del modelo de evaluación

Incluye un efecto de testigos con 5 niveles, uno para cada testigo y el 5 nivel común para todas las cruzas, con el efecto del híbrido anidado. Se utilizaron 4 híbridos formados por líneas CIMMYT que fueron CML269/CML264 (73 veces) CLM373/CML311 (32 cruzas), CML451/CML486 150 cruzas, CML495/CML494 87 cruzas y el efecto de accesión anidado en híbrido y testigo.

Los efectos de híbrido y testigo son considerados fijos y el de accesión fue considerado aleatorio. A partir del análisis del modelo se obtuvo la varianza genética y residual, para el cálculo de la heredabilidad y se obtuvieron los “Best Linear Unbiased Predictors” (BLUPS) para las accesiones. Los BLUPS son los mejores predictores lineales insesgados en promedio.

El modelo se ajustó a un modelo espacial autoregresivo de orden, uno para hileras y columnas. Se utilizaron los programas SAS y ASREML para el análisis de datos, generándose los BLUPS.

3.4. Manejo agronómico

3.4.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se realizó el 24 de mayo de 2012. Consistió en medir el terreno a utilizar, para después realizar el barbecho, el rastreo, la nivelación y el trazo de los surcos.

3.4.2. Siembra

La siembra se realizó el 25 de mayo del 2012, con el terreno seco y a mano, depositando dos semillas por punto de siembra.

3.4.3. Instalación del sistema de riego

El mismo día de la siembra se instaló el sistema de riego que fue por goteo, colocando por surco cintilla calibre 6000 con emisores a 20 cm, controlando la presión con manómetro.

3.4.4. Aclareo de plantas

El aclareo de planta se realizó a los 20 días después de la siembra, dejando una sola planta a 0.20 m entre planta en los 5 metros con un total de 26 plantas por surco con una densidad de población aproximada de 53,000 plantas por hectárea.

3.4.5. Fertilización

Se fertilizó con la fórmula 160-80-00, aplicando el 50% del nitrógeno al momento de la siembra más el 100% del fósforo. En el primer cultivo se aplicó el 50% restante del nitrógeno. Como fuente de nitrógeno se utilizó Urea (46% N) y Sulfato de Amonio (20.5 % N) y, el Fosfato Diamónico (11-46-00).

3.4.6. Colocación de sensores de humedad

Se colocó 15 tubos en riego normal y 27 tubos en riego restringido, se tomaban los datos con el data logger y 3 veces a la semana,

3.4.7. Riegos

Se llevaron a cabo un total de 26 riegos distribuidas de la siguiente manera:

Cuadro 3.1. Número de riegos, fecha, tiempo de aplicación en condiciones riego normal-restringido, 2012.

No. Riegos	Fecha	Presión PSI	R.N (ww) horas	R.R (WS)
1	26-may	5	2	2
2	29-may	5	2	2
3	05-jun	5	4	4
4	16-17-jun	5	12	12
5	26-jun	5	2	0
6	29-jun	5	1	2.40
7	03-jul	5	2	1
8	09-jul	5	8	5.30
9	13-jul	7	6	3
10	20-jul	7	6	0
11	23-jul	10	0	4
12	24-jul	10	9	2
13	29-jul	7	6	3
14	01-ago	6	8	4
15	05-ago	7	4	2
16	09-ago	8	4	2
17	11-ago	5	4	2
18	15-ago	7	4	2
19	18-ago	10	4	2
20	22-ago	10	4	0
21	25-ago	9	6	3
22	28-ago	5	7.30	0
23	29-ago	7	0	3.30
24	03-sep	10	3	1.5
25	06-sep	10	4	2
26	10-sep	11	4	2

N°R= número de riegos, R.N (WW) =riego normal, R.R (WS)= riego reducido, Hrs=
horas

3.4.8. Control de plagas

Cuadro 3.2.Control de plagas, dosis de aplicación, nombre del producto utilizado, fecha de aplicación en los en ensayos de riego normal-sequia.

Dosis (20 L H ₂ O)	Producto	F.A	plaga
46.8 ml	Clorpirifos	09-jun	G. cogollero
15 ml	Decisforte	15-jun	“
54 ml	Agricover	15-jun	“
46.8 ml	Clorpirifos	04-jul	“
75 ml	Cipermetrina	04-jul	Pulgón negro
75 l	Cipermetrina	06-jul	G. cogollero
75 ml	Abamectina	24-ago	Araña roja

F.A= fecha de aplicación

También como control de gusano cogollero se liberaron huevos de crisopas *Chrysopa perla*. Para la determinación de las aplicaciones para cada una de las plagas presentes se realizaban muestreos para determinar las incidencias, en el caso de gusano cogollero (*Spodopterafrugiperda*) cuando el muestreo presentaba un 15 %, y en el caso de la araña roja (*Tretranychussp.*) cuando se presentaban los primeros síntomas visibles como hojas cloróticas.

3.4.9. Control de maleza

Para el control de maleza se realizó de la siguiente manera: se realizó una aplicación de herbicida pre-ermegente y post-emergente (HarneexXtra), el 31 de mayo de 2012 a los 6 días después de la siembra a una dosis de 200 ml/20L de agua, para que el cultivo germinara sin competencia por malas hierbas y poder

emerger sin problemas. A los 30 días se realizó una escarda con la finalidad de aporcar a la planta y pueda tener más sostén el tallo y también eliminar las malas hierbas que se encuentra dentro del surco. También se llevaron a cabo limpieza de las parcelas manualmente.

3.4.10. Cosecha

La cosecha se llevó a cabo el 19 de octubre, esta se hizo de manera manual, dejando la primera y la última planta sin cosechar de cada parcela, con la finalidad de que estas tienen menor competencia y aprovechan mejor los nutrientes. La cosecha se llevó a cabo en el campo experimental de la UAAAN-UL, posteriormente se colocaron al inicio de cada surco para calificar.

3.5. Variables agronómicas evaluadas

Para una mejor evaluación de los híbridos utilizados en estos experimentos se llevaron a cabo la toma de las siguientes variables;

3.5.1. Días a floración masculina (FM)

El registro se llevó a cabo como el número transcurrido desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas de la parcela se encontraba liberando polen.

3.5.2. Días a floración femenina (FF)

El registro se llevó a cabo como el número transcurrido desde la siembra hasta la fecha en la cual el 50% de las plantas mostraban los estigmas por fuera.

3.5.3. ASI

Los datos de obtuvieron al restar la floración femenina menos la floración masculina. El intervalo de la floración se define como el intervalo en tiempo- entre la dehiscencia de polen (antesis) y la extrusión de estigmas para el 50% de las plantas presentes por cada genotipo (anthesis silking interval, ASI).

3.5.4. Rendimiento de grano

Se estimó en base al peso de campo de cada surco, transformándose de kilos por surco a kilos por hectárea.

3.5.5. Toma de humedad de grano

Se determina al colocar una muestra en un sensor de humedad, este caso es el Dickey John.

3.5.6. Peso de grano por hectárea ajustado al 12 % de humedad

Para calcular este dato se utiliza la siguiente formula.

El peso de grano por hectárea = $((1 - \text{humedad de grano})) / ((1 - 0.12))$

3.5.7. Estimación de la cobertura y crecimiento de las planta (NDVI)

Esta variable se tomó para estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan al estar sometidas al estrés hídrico, mediante un sensor portátil (GreenSeeker) el cual calcula el índice de vegetación de diferencia normalizada. Se realizaron cinco tomas en total, en diferentes etapas fenológicas de las plantas distribuidas de la

siguiente manera; la primer toma se realizó el 16 de junio, a los 22 DDS, la segunda toma se efectuó el 30 de junio, a los 36 DDS, la tercer toma fue llevada a cabo el 8 de julio, a los 44 DDS, la cuarta toma se ejecutó el 21 de agosto a los 88 DDS, la quinta y última toma se efectuó el 12 de septiembre, a los 110 DDS.

3.5.8. Contenido de clorofila (SPAD)

Esta variable se tomó mediante el medidor de clorofila SPAD 502, que mide la concentración relativa de clorofila por medio de la luz transmitida a través de la hoja en 650 nm (longitud de onda fotosintéticamente activa) y 940 nm. La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional. Las lecturas fueron tomadas de una hoja por planta, en cinco plantas por parcela útil (plot), aproximadamente a la mitad de la distancia entre el tallo y el ápice de la hoja n, y a la mitad de la distancia entre el borde la hoja y el nervio medio en la hoja donde va insertada la mazorca. Se realizaron tres tomas: Junio 09, Agosto 23 y el 08 de Septiembre. En la semana 2, 4,6 después de la etapa de floración tanto femenina como masculina.

3.5.9. Enrollamiento foliar

Estas tomas se realizaron para identificar visualmente cuáles genotipos se comportaban mejor al estar sometidos al estrés hídrico. Se calificó mediante un escala de 1 a 5 donde:

1 = no hay enrollamiento; hoja turgente

2 = Las orillas de la hoja se empiezan a enrollar

3 = La hoja tiene forma de V

4 = Las orillas de la hoja se enrollan y cubren parte de la lámina foliar

5 = La hoja se enrolla como si fuera cebolla. Se llevaron a cabo tres tomas después de la etapa de floración en la semana 2, 4 y 6, el 17 y 31 de Julio y, 14 de Agosto respectivamente.

3.5.10. Senescencia

La toma de esta variable se realizó para identificar a los materiales que retrasan la senescencia y por ende soportan más el estrés provocado por sequía. Estas tomas se realizaron después de la floración, calificando con una escala de 1 a 10. Se realizaron 3 tomas en total distribuidas de la siguiente manera: la primer toma se realizó 8 de julio a los 44 días después de la siembra, la segunda toma se efectuó el 21 de agosto a los 88 días después de la siembra, la tercera y última toma se llevó a cabo el 4 de septiembre a los 102 días después de la siembra.

3.5.11. Altura de la planta

Se seleccionaron 5-10 plantas al azar, se midió la distancia desde la base de la planta hasta el punto donde comienza a dividirse la espiga (panoja).

3.5.12. Altura de la mazorca

En las mismas 5-10 plantas cuya altura se midió, se determina la distancia en centímetros desde la base de la planta hasta el nudo con la mazorca más alta.

3.5.13. Acame de tallo y raíz

Los acames se registran el día de la cosecha, existen dos acames uno de tallo y otro de raíz. El de tallo se registra el número de plantas con tallos rotos abajo de las mazorcas, pero no más arriba y el acame de raíz. Se registran las plantas con una inclinación más de 30° este dato se estima

3.5.14. Peso de grano

Se calcula al desgranar el total de la mazorcas cosechadas en campo y pesarlos con una báscula.

3.5.15. Numero de mazorcas cosechadas

Se cuentan todas las mazorcas cosechadas y el total de plantas.

3.5.16. Peso de campo

Se calcula al pesar todas las mazorcas cosechadas.

3.5.17. Peso de olote

Se resta al peso de campo el peso de grano y nos da el peso de olote.

3.5.18. Largo de mazorca

Se mide con una regla la longitud de la mazorca.

3.5.19. Ancho de mazorca

Se mide con un vernier el grosor de la mazorca.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Correlación entre rendimiento de grano y ASI en riego restringido y riego normal

En la Figura 4.1, se presenta la dispersión de los datos de rendimiento y el intervalo de floración (ASI) en condiciones de riego normal (RN) y restringido (RR). Bajo estas condiciones se observa una correlación negativa y no significativa para ambas condiciones de riego. El rendimiento de grano fue menor en riego restringido, pero la tendencia en ambas condiciones de riego el rendimiento disminuye con el incremento de intervalo de floración (ASI). Bolaños y Edmeades, (1990) indican que la sequía afecta el rendimiento del maíz reduciendo el número de granos y mazorcas por planta, fundamentalmente debido a un retraso en el intervalo de la floración y una pérdida de la viabilidad de los estigmas.

Se observa que en riego restringido, el intervalo de ASI osciló de -15 a +12 días y, en riego normal este periodo fue más estrecho, pues oscila de -5 a +13 días de ASI. Desai y Singh (2001) menciona cuando el estrés ocurre durante el desarrollo del cigoto, se provoca abortación o bien el saco embrionario puede ser afectado en su desarrollo pueden ser entre un 15 y 43 % induciendo una asincronía entre la antesis y la floración femenina (ASI).

La mayor variabilidad en el intervalo de la floración bajo sequía permite una identificación más fácil de las familias superiores. En el cuadro 4.2 se presentan los 20 genotipos con mejor rendimiento de grano y su ASI respectivo. Se observan que tres de los testigos sobresalen en ambas condiciones de riego y, además con

el menor valor de ASI. La superioridad de los testigos se puede explicar porque son materiales altamente seleccionados y muy probablemente bajo condiciones de estrés. Los 20 mejores genotipos no fueron los mismos en riego normal y restringido. Los genotipos y/o mestizos sobresalientes en riego normal y restringido, fueron CML451/CML486)/OAXA319_5977 y CML373/CML311)/CHIH71_2179 respectivamente.

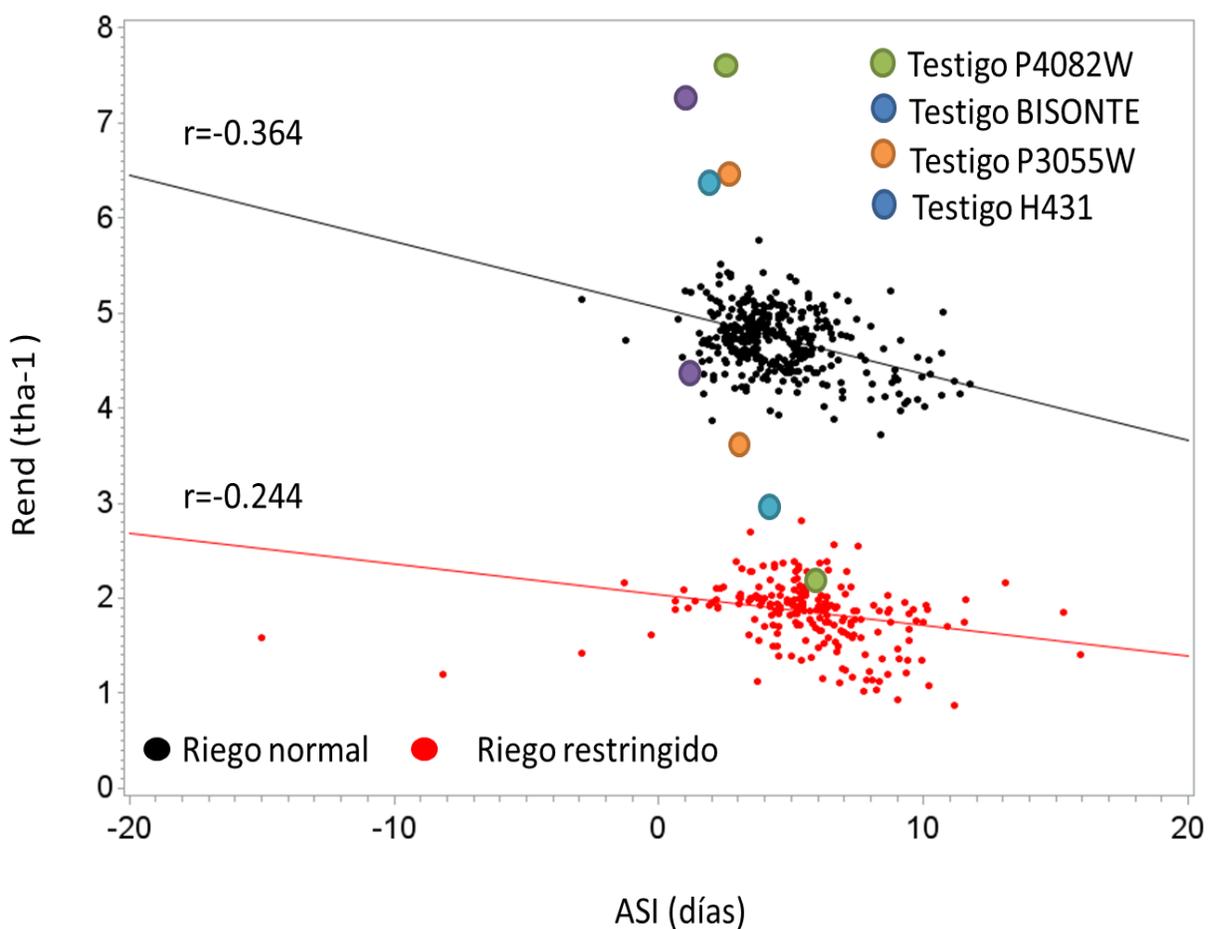


Figura 4.1. Correlación de rendimiento ($t\ ha^{-1}$) con ASI (días).

Cuadro 4.2. Genotipos con mayor rendimiento de grano y valores de ASI en riego normal (RN) y restringido (RR).

Riego Normal (RN)				Riego Restringido(RR)			
No	Genealogía	REN	ASI	No	Genealogía	REN	ASI
1	P4082W	7.60	2.52	1	BISONTE	4.40	1.34
2	BISONTE	7.26	1.15	2	P3055W	3.61	3.16
3	P3055W	6.46	2.54	3	H431	3.03	4.10
4	H431	6.42	2.41	4	(CML373/CML311)/CHIH71_2179	2.82	5.37
5	(CML451/CML486)/OAXA319_5977	5.77	3.78	5	(CML451/CML486)/NAYA35_2252	2.69	3.45
6	(CML451/CML486)/GUER260_16189	5.52	2.34	6	(CML495/CML494)/BRAZSC012_22021	2.57	6.62
7	(CML269/CML264)/NAYA183_7058	5.43	3.92	7	(CML373/CML311)/SINA71_7178	2.55	7.52
8	(CML451/CML486)/CELAYAWAXYSMC2_9192	5.42	2.58	8	(CML269/CML264)/OAXA230_5841	2.39	6.33
9	(CML495/CML494)/SINTETICOMEXICANOBLANCO_1046	5.41	2.71	9	(CML269/CML264)/URUG679_6565	2.39	5.09
10	(CML495/CML494)/GUAT1150_27643	5.39	2.27	10	(CML451/CML486)/NAYA21_587	2.39	2.90
11	(CML495/CML494)/VERDEPEA1_26447	5.38	2.69	11	(CML269/CML264)/PUEBGP1_70	2.37	6.05
12	(CML451/CML486)/VERA48_704	5.38	4.98	12	(CML451/CML486)/COLORAPERGAM_26377	2.37	4.67
13	(CML451/CML486)/MORE162_15971	5.34	5.17	13	(CML451/CML486)/SINA115_7221	2.35	4.37
14	(CML373/CML311)/MAYAXVI_25954	5.30	2.29	14	(CML269/CML264)/URUG1208_6625	2.35	5.25
15	(CML373/CML311)/COAH83_18848	5.28	1.56	15	(CML451/CML486)/OAXA53_17869	2.34	3.91
16	(CML495/CML494)/BRAZWP025_26366	5.26	3.41	16	(CML451/CML486)/CAMP37_23152	2.32	4.34
17	(CML269/CML264)/MORE53_16360	5.23	8.73	17	(CML451/CML486)/ARZM01013_19224	2.31	3.11
18	(CML451/CML486)/MICH164_175	5.23	1.02	18	(CML269/CML264)/URUG655_6558	2.31	5.27
19	(CML451/CML486)/CRISTALINODECHIHUAHUA_2605	5.22	1.19	19	(CML451/CML486)/APVRPEVII_26442	2.30	5.24
20	(CML495/CML494)/NAYA315_25292	5.22	1.23	20	P4082W	2.29	6.39

En la **Figura 4.3**, se presenta la relación del intervalo de floración ASI en riego normal y restringido. Con excepción de 9 genotipos que mostraron valores negativos de ASI, el resto fueron valores positivos. Los valores negativos que se observan para dos genotipos en el cuadrante superior izquierdo de la Figura 4.2, la floración femenina se presentó posterior a la masculina en riego restringido (RR), pero en riego normal sucede lo contrario, donde aparece primero la floración femenina.

Así mismo los siete genotipos que se encuentran en el cuadrante inferior derecho de la misma Figura 4.2. La floración femenina se presentó primero que la masculina en riego restringido, en cambio, en riego normal se presentó posterior a la masculina. Lo anterior se explica pues cuando la fotosíntesis por planta se reduce durante la floración por efecto de la sequía y otras causas de estrés abiótico, el crecimiento de los estigmas se retrasa, lo cual lleva a un incremento del intervalo entre la antesis y la emisión de estigmas (IPE, intervalo polen-estigmas), y al aborto de granos y mazorcas (Bolaños y Edmeades 1996; DuPlessis y Dijkhuis 1967; NeSmith y Ritchie 1992).

Los genotipos con valores estrechos de ASI y que se ubican cercanos al origen del gráfico presentaron la mejor sincronía de floración en ambas condiciones de riego. Se puede decir que estos genotipos son los más resistentes y/o tolerantes a sequía y susceptibles de ser seleccionados.

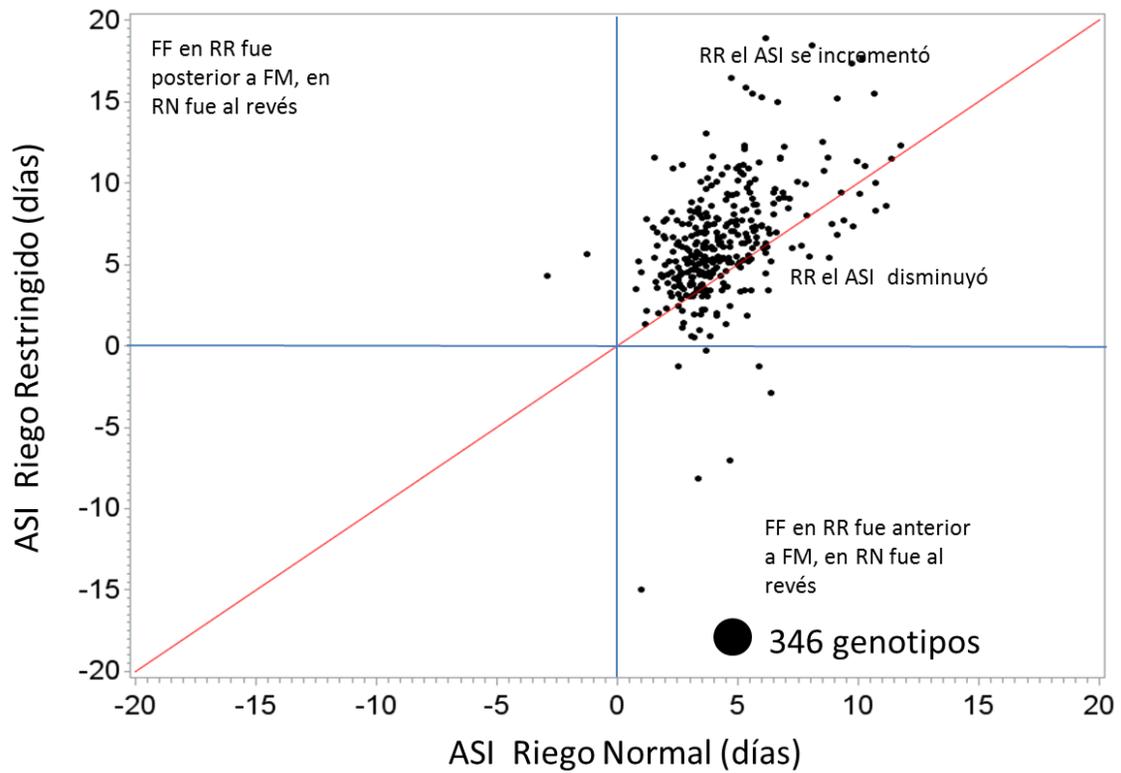


Figura 4.2. Correlación entre el intervalo de floración (ASI) en riego normal (RN) y restringido (RR) en 346 genotipos evaluados en la Comarca Lagunera. UAAAN UL.

V. CONCLUSIONES

De la evaluación realizada en 342 genotipos y cuatro testigos bajo condiciones de riego normal y riego restringido se concluye:

- En condiciones de riego normal y restringido no se encontró correlación entre rendimiento y ASI.
- Los testigos fueron los que más sobresalientes en rendimiento y valores de ASI en ambas condiciones de riego.
- Con excepción de los testigos, los genotipos más sobresalientes en riego normal no fueron los mismos que en riego restringido
- En riego restringido se promovió un mayor intervalo de floración en los genotipos, contrario a lo observado en riego normal.
- Para la selección de genotipos para sequia es necesario sembrarlos en condiciones de estrés hídrico para la expresión del valor de los genotipos.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Bänziger, M G OEdmeades, D Beck y M Bellon(2012) Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: De la teoría a la práctica. México, D.F.: CIMMYT.
- Avendaño C HArrazate, J D Molina G, C Trejo L, C López C, J Cadena-Iñiguez (2008) Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía mesoamericana* 19(1): 27-37.
- Zea J L , J LQuemé, A Aguiluz, L Brizuela, H Córdova (1991) Efecto de la Selección Recurrente por Sequía sobre el Rendimiento y Características Agronómicas de Líneas S1 de Maíz (*Zea mays* L.) Evaluadas en Tres Ambientes de Centro América. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 2: 11-18.
- Zarco E P, V A González H, Ma. C López P y Y Salinas M (2005) Physiological markers for drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Fisiología Vegetal*. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (vagh@colpos.mx). 2Campo Experimental Valle de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Apartado Postal 10. 56230 Chapingo, Estado de México.
- BolañosJ, y G.O. Edmeades (1990). La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistenciaa sequía en maíz tropical. *AgronomíaMesoamericana* 1: 45-50.
- Sangoi L, R and Jonathan Salvador (1998)Maize susceptibility to drought at flowering: a new approach to overcome the problem. *Cienc. Rural* vol.28 no.4 Santa Maria Oct./Dec.
- DixonB L, S E Hollinger, P Garcia and V Tirupattur(1994) Estimating Corn Yield Response Models to Predict Impacts of Climate Change. *Journal ofAgricultural and Resource Economics*, 19(1): 58-68.
- TsimbaR, G O Edmeades, J P Millner and P D. Kemp (2013)The effect of planting date on maize: Phenology, thermal timedurations and growth rates in a cool temperate climate. *Field Crops Res.* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2013.05.021>
- MilgroomJ,and K.E. Giller(2013) Courting the rain: Rethinking seasonality and adaptation to recurrent drought in semi-arid southern Africa. *Agricultural Systems* 118 91–104.
- Yang Liu, Li Wang, Xin Xing, Liping Sun, Jiaowen Pan, Xiangpei Kong, Maoying Zhang and Dequan Li (2013). *ZmLEA3*, a Multifunctional Group 3 LEA Protein from Maize (*Zea mays* L.), is Involved in Biotic and Abiotic Stresses.

Published by Oxford University Press on behalf of Japanese Society of Plant Physiologists.

Alpha Y. Kamara, Sylvester U. Ewansiha and AbebeMenkir (2013). Assessment of nitrogen uptake and utilization in drought tolerant and Striga resistant tropical maize varieties. Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650340.783204

Chunmei He, Ying He, Qiang Liu, Tieshan Liu, Chunxiao Liu, Liming Wang, Juren Zhang (2012) Co-expression of genes ApGSMT2 and ApDMT2 for glycinebetaine synthesis in maize enhances the drought tolerance of plants. Published online: 24 November, Springer Science+Business Media Dordrecht.

Rattalino J I y E, M E Otegui (2012) Heat stress in temperate and tropical maize hybrids: Differences in crop growth, biomass partitioning and reserves us. Field Crops Research 130 87–98.

Boomsma C R, T J Vyn (2008) Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscularmycorrhizal symbiosis? Field Crops Research 108 14–31.