

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**INTERACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y
RENDIMIENTO EN MESTIZOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)
EVALUADOS EN CONDICIONES DE
RIEGO-SEQUÍA**

POR:

CARLOS GUZMÁN HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADA 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
TÍTULO DE TESIS
INTERACCIÓN DE CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y
RENDIMIENTO EN MESTIZOS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)
EVALUADOS EN CONDICIONES DE RIEGO-SEQUÍA.

POR:

CARLOS GUZMÁN HERNÁNDEZ

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:



DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:



DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:



M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRIGUEZ

ASESOR:



DRA. MARTHA CAMERON WILLCOX GALLAGHER



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA. MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. CARLOS GUZMÁN HERNÁNDEZ QUE SE
SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR,
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRONOMO

APROBADO POR:

PRESIDENTE:


DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

VOCAL:


DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:


M. C. JOSÉ LUIS COYAC RODRIGUEZ

VOCAL:


DRA. MARTHA CAMERON WILLCOX GALLAGHER


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

DICIEMBRE DE 2013

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme las fuerzas para salir adelante con mis estudios

A mi madre que me apoyo en todo momento a pesar de la distancia, gracias por sus buenos consejos que gracias a ellos pude salir adelante. A mis hermanos por sus palabras emotivas y su apoyo incondicional y los buenos deseos.

Al profesor y amigo Ofelio Justo Rodríguez y a toda su familia, por su apoyo y sus palabras de aliento y sus buenos consejos.

A mis compañeros, amigos, y personas que siempre me apoyaron desde el inicio de mi carrera.

A mis compañeros de casa que siempre me apoyaron en todo.

A mi universidad autónoma agraria Antonio Narro-UL y a todos mis maestros que participaron en mi formación académica

Al doctor Armando Espinoza Banda, por su apoyo y acertadas sugerencias para el presente trabajo, sobre todo por su paciencia, comprensión y amistad.

Al M.C. José Luis Coyac Rodríguez y a la Dra. Oralia Antuna Grijalva por aceptar ser parte del comité de sinodales.

Al ingeniero Édgar Antonio Suárez por sus buenos consejos y sus buenos deseos y apoyos brindados en el presente trabajo, además de ser un buen amigo.

A la doctora Martha Willcox y al doctor Juan Burgueño por la confianza y enseñanzas durante la realización del presente trabajo y aceptar ser parte del comité de sinodales.

A mis compañeros de clases que compartimos muchas experiencias estos cuatros años.

DEDICATORIA

A dios por darme las fuerzas y cada segundo de vida que me dio cada día, y los obstáculos que me ayudo a superar.

A mi madre, ejemplo de trabajo y perseverancia, a pesar de la distancia gracias por su incondicional apoyo y cariño.

A mis hermanos, Alicia Abril, paúl, y Alberto, porque siempre me dieron ánimos y fuerza cuando más cuando más lo necesitaba.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
RESUMEN	VII
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos	4
1.2. Hipótesis	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. El estrés provocado por déficit hídrico	5
2.1.1. Estimación de la cobertura vegetal (NDVI) y el rendimiento	11
2.1.2. Contenido de clorofila mediante el uso del SPAD y rendimiento.....	15
2.1.3. Senescencia y rendimiento	17
2.1.4. Enrollamiento foliar y rendimiento	22
III. MATERIALES Y METODOS	25
3.1. Localización geográfica y características del área de estudio	25
3.2. Material biológico	25
3.3. Diseño experimental	26
3.4 Manejo agronómico	26
3.4.1. Preparación del terreno	26
3.4.2. Siembra	26
3.4.3. Instalación del sistema de riego	26
3.4.4. Instalación de tubos para toma de humedad y Tomas de humedad	27
3.4.3. Aclareo de plantas.....	27
3.4.4. Fertilización	27

4.5. Riegos	28
3.4.6. Control de plagas	29
3.4.7. Control de maleza	29
3.5. Variables determinadas	30
3.6.1. Estimación de la cobertura vegetal (NDVI)	30
3.6.2. Contenido de clorofila (SPAD).....	31
3.6.3. Enrollamiento foliar.....	32
3.6.4. Senescencia.....	32
3.6.5. Cosecha	33
3.6.6. Rendimiento de grano	33
3.6.7. Análisis de datos	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	34
4.1. Relación entre rendimiento y NDVI para la condición de riego normal	34
4.2. Relación entre NDVI y rendimiento en riego deficitario (RR)	37
4.3. Relación del rendimiento y la senescencia en condición de riego normal.	39
4.4. Relación del rendimiento y la senescencia en condiciones de riego deficitario.....	41
4.5. Relación del rendimiento en función del contenido de clorofila (SPAD) para la condición de riego normal	43
4.6. Relación del rendimiento en función del contenido de clorofila (SPAD) para la condición de riego de ficitario.....	45
4.7. Relación del rendimiento en función del enrollamiento foliar para la condición de riego deficitario	47
V. CONCLUSIONES.....	49
VI LITERATURA CITADA	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Número de riegos, fechas de aplicación y lamina de riego a los 400 genotipos evaluados en las dos condiciones riego normal-restringido 2012.....	31
Cuadro 3.2. Control de plagas, dosis de aplicación, nombre del producto utilizado, fecha de aplicación en los en ensayos de riego normal-sequia.....	32

INDICE DE FIGURAS

- Figura 4.1.** Relación del rendimiento en función del NDVI a los 22(A), 44(B), 88(C), y 110(D) DDS para riego normal en 346 genotipos y cuatro testigos (en color). UAAAN-UL 2012.....39
- Figura 4.2.** Relación del rendimiento en función del NDVI de 346 genotipos y cuatro testigos a los 22(A), 44(B), 88(C), y 110(D) DDS, para la condición de riego deficitario UAAAN-UL 2012.....41
- Figura 4.3.** Relación entre el rendimiento y la senescencia a la 2, 4, 6 semanas después de floración de 346 genotipos y cuatro testigos para la condición de riego normal UAAAN-UL 2012.....43
- Figura 4.4.** Relación del rendimiento de grano con la senescencia en 346 genotipos y cuatro testigos para la 2^o, 4^o, 6^o semana, en la condición de riego deficitario UAAAN-UL 2012.....45
- Figura 4.5.** Relación entre el rendimiento y el contenido de clorofila (SPAD) de 346 genotipos y cuatro testigos, calificados en la 2^a, 4^a y 6^a semana. En la condición de riego normal UAAAN-UL 2012.....47
- Figura 4.6.** Relación entre el rendimiento y el contenido de clorofila (SPAD) de 346 genotipos y cuatro testigos, calificados en la 2^o, 4^o, 6^o semana en riego deficitario UAAAN-UL 2012.....49
- Figura 4.7.** Relación del rendimiento y el enrollamiento foliar de 346 genotipos y cuatro testigos para riego deficitario, tomadas en la 2^a, 4^a y 6^a semana después de floración UAAAN-UL 2012.....52

RESUMEN

Con el objeto de conocer la relación existente del rendimiento con las variables fisiológicas; Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), senescencia, contenido de clorofila (SPAD) y enrollamiento foliar, en condiciones de riego normal y deficitario, se evaluaron 400 genotipos de diferente origen geográfico, provenientes del 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 verano de 2012. La siembra se realizó el 25 de mayo de 2012 en surcos dobles de 5 metros a 0.75 m entre surco y a 0.25 m entre planta y planta. Se utilizó un diseño aumentado sin repeticiones y cuatros testigos. Se tomaron las variables: índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI) a 2, 3, 5 ,6 y 7 semanas después de la germinación; el contenido de clorofila (SPAD), y senescencia, en la semanas 2, 4 y 6 después de la floración, enrollamiento foliar en la semana 1, 2, 4 también después de floración. Las variables se correlacionaron con el rendimiento, utilizando como variable dependiente el rendimiento. Para cada caso se elaboró una gráfica de dispersión y la línea de tendencia. Los resultados permiten establecer que la relación del rendimiento y el NDVI en las diferentes etapas del cultivo para riego normal es baja dándose un incremento de los valores de NDVI en la etapa reproductiva pero sin tener asociación con el rendimiento de grano. En tanto para riego deficitario se observó la relación entre estas dos variables, la cual se incrementó en la etapa reproductiva. La asociación del rendimiento con senescencia, aumentó al estar sometidas al estrés hídrico. Similares resultados se observaron en la asociación del rendimiento con el contenido de clorofila (SPAD). En general en el presente trabajo se observó que la correlación se incrementa en la condición de riego deficitario.

Palabras clave: maíz, *rendimiento, NDVI, SPAD, enrollamiento, senescencia*

I. INTRODUCCION

El agua disponible es generalmente el principal factor que limita el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz en condiciones extensivas. Además, el grado de sensibilidad al estrés hídrico en este cultivo, depende del momento en que ocurra (Andrade *et al.*, 1996)

En México el principal factor que limita la productividad de los cultivos anuales en condiciones de temporal es la sequia; la magnitud del daño que esta puede ocasionar, en particular al maíz depende las etapa de desarrollo de la planta en que ocurra; las etapas mas criticas son las sercanas a la floracion (Edmeades *et al.*,1996).

El maíz es el cultivo más importante en términos de consumo humano; sin embargo, aproximadamente el 50% de la producción se lleva a cabo en zonas de temporal, donde la lluvia es escasa y su distribución aleatoria (Muñoz, 1980), lo que provoca una reducción importante en el rendimiento. La mayoría de los trabajos de mejoramiento genético realizados en maíz en condiciones de sequía han sido enfocados principalmente al estudio de los componentes del rendimiento, bajo el supuesto de que la selección masal visual estratificada en condiciones de humedad restringida del suelo, incrementa la resistencia a la misma (Molina, 1983).

En México el maíz (*Zea mays* L.) ocupa el primer lugar por superficie cultivada y producción, pero su rendimiento promedio (2.47 t ha⁻¹) es inferior al mundial

(4.47 t ha⁻¹) (FAOSTAT, 2004). Esto, principalmente, se atribuye a que 80 % de la superficie utilizada dispone del agua de lluvia escasa y mal distribuida. La sequía afecta más al maíz cuando incide 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).

La escases de agua en la planta disminuye el potencial hidrico y la turgencia celular. Si la disminución en el potencial hidrico ocurre acompañada de una reducción en el potencial osmotico, las células desarrollan la capacidad de ajuste osmotico, que varía entre los diferentes órganos y tejidos de la planta (Morgan, 1980), y también con la edad de la misma.

Jiang y Huang (2000) mencionan que, si bien el conocimiento que se tiene acerca de cómo interactúan e influyen el estrés hídrico y el estrés por calor en las plantas es poco, existe la posibilidad de poder determinar el efecto combinado, ya que en la medida que se amplíe el conocimiento acerca de la interacción, se podría mejorar la identificación de los efectos fisiológicos involucrados con la presencia de estos dos factores, esto, con la finalidad de mejorar el desempeño de las plantas ante estas condiciones. (Savin y Nicolas 1999), indican que si bien ambos factores pueden llegar a afectar la producción de un cultivo, las temperaturas altas pueden llegar a causar mayores reducciones en las tasas fotosintéticas que la ocurrencia de un estrés hídrico por sí solo.

Espinosa *et al.*, (2001) señalan que el estrés hídrico tiene efectos negativos sobre la síntesis de proteínas en las plantas, por lo que es posible que la capacidad de resistencia de un genotipo a estrés hídrico, pudiera estar relacionada de alguna manera con la capacidad de síntesis de cierto tipo de proteínas.

Como ya se mencionó, en las regiones agrícolas donde la humedad y temperatura alta es una limitante en la producción, se presentan reducciones en el crecimiento y desarrollo y, por consiguiente, el rendimiento de grano de las plantas se ve reducido (Beltrán *et al.*, 2003).

De acuerdo a lo anterior el presente trabajo consistió en evaluar la interacción de las variables fisiológicas en 400 genotipos en condiciones de riego normal, y deficitario, con el rendimiento de grano.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Evaluar y caracterizar 400 genotipos de diferentes orígenes geográficos en dos diferentes condiciones: riego normal, y riego deficitario, con relación en su potencial de rendimiento y características fisiológicas.

1.1.2. Objetivos específicos

1. Determinar cuál es el mejor material genético de acuerdo a sus características fisiológicas evaluadas durante su desarrollo.
2. Determinar los mejores híbridos por su comportamiento en dos condiciones diferentes.

1.2. Hipótesis

Ho: Los genotipos se comportan fisiológicamente diferentes en rendimiento y en características fisiológicas.

Ha: los genotipos se comportan fisiológicamente similares en rendimiento y en características fisiológicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El estrés provocado por déficit hídrico

En estudios se ha podido observar que la sequía provoca el aborto de los sacos embrionarios e induce una a sincronía entre la antesis y la floración femenina (Desai y Singh, 2001). El déficit hídrico en las plantas provoca toda una serie de respuestas morfológicas, fisiológicas y fenológicas, las cuales pueden tener algún valor adaptativo y por lo tanto conferir un cierto grado de tolerancia a esta condición de estrés (Dreesmann *et al.*, 1994; Attipalli *et al.*, 2004). En maíz, la sequía reduce el rendimiento de grano como consecuencia del menor número de granos por mazorca y peso del mismo (Stone *et al.*, 2001).

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008)

Durante el estrés hídrico en los tejidos de las plantas se genera una acumulación activa de solutos como respuesta de sobrevivencia (Attipalli *et al.*, 2004). Uno de los principales solutos registrados durante este estrés es la prolina, cuya función ha sido asociada a sostener la turgencia de los tejidos para mantener la función celular (Ramanjulu *et al.*, 2000).

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso en agua, en donde la tasa de transpiración excede a la

toma de agua. El déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar. Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. Otro proceso que se modifica es el crecimiento radicular. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters *et al.*, 2007; Shao *et al.*, 2008).

Las restricciones causadas por la baja disponibilidad de agua del suelo o por la alta demanda evaporativa accionan ciertos mecanismos fisiológicos que permiten a los vegetales escapar o tolerar esas limitaciones climáticas, modificando su crecimiento y desarrollo, y hasta mismo atenuando las reducciones en la producción final (Pimentel *et al.*, 1995).

Las plantas también responden al estrés por déficit hídrico a nivel celular y molecular (Shinozaki, *et al.*, 2007). Una de las principales respuestas al estrés hídrico es la modificación de la expresión génica, relacionada con la producción de enzimas clave en la vía de síntesis de osmolitos, proteínas con función protectora, enzimas antioxidantes, factores de transcripción y otras. (Colomb. 2009) proteínas involucradas en las respuestas al estrés hídrico (Bray, 1997; Zhu *et al.*, 2002). Los osmolitos, principalmente compuestos orgánicos de bajo peso molecular, permiten el ajuste osmótico y facilitan la toma de agua por la planta (Cushman, 2001).

Entre las proteínas más importantes por su efecto protector potencial están las LEA (*Late Embriogénesis Abundante Proteins*) y las que funcionan como antioxidantes (Danon *et al.*, 2004). Se ha propuesto que las proteínas LEA protegen proteínas y membranas del daño debido a la deshidratación (Bray, 1993).

Una de las respuestas fisiológicas del estrés provocado por la sequía a nivel celular, es la acumulación de ácido abscísico (ABA). Este se genera principalmente en las raíces y estimula su crecimiento. De ahí, pasa a las hojas (y, en mucho menor grado, a los granos), donde provoca enrollamiento, cierra los estomas y acelera la senescencia foliar. Esto sucede aun antes de que los mecanismos hidráulicos reduzcan la turgencia foliar (Zhang *et al.*, 1987). El ABA participa en los mecanismos de adaptación de las plantas al déficit hídrico, en los cuales actúa promoviendo el cierre de los estomas para reducir las pérdidas de agua y estimular la absorción de este líquido a través de la raíz. La pérdida

de turgencia en los tejidos es señal que origina en la planta un incremento en la síntesis de ABA (Bray, 1993)

Los cambios que ocurren en las células para ayudar a mantener su turgencia y reducir los efectos negativos del descenso del potencial hídrico son mecanismos de tolerancia a la sequía (Setter, 1996)

Cada órgano de la planta presenta una respuesta diferencial a la acumulación de ABA; la raíz del maíz se considera uno de los más sensibles al déficit hídrico (Ribaut y Pilet, 1991).

El cierre de estomas evita la pérdida excesiva de agua pero reduce la fotosíntesis de la hoja, lo que a su vez limita la producción de los fotoasimilados necesarios para el crecimiento y desarrollo de la planta, en consecuencia, la tasa de acumulación de materia seca en las diferentes estructuras se reduce. Cuando esta reducción ocurre durante el desarrollo y crecimiento de las estructuras reproductivas del maíz, el jilote resulta más afectado que la espiga pues se retrasa la exposición de los estigmas y esto aumenta el intervalo de floración (Bolaños y Edmeades, 1993)

El ajuste osmótico es otra respuesta al estrés por sequía, la mayoría de las especies son capaces de formar sustancias que son osmóticamente activas en el citoplasma y la vacuola. Esto permite a la planta absorber más agua del suelo y mantener su turgencia y la función celular durante más tiempo cuando hay sequía. El ajuste osmótico es especialmente visible en el sorgo, el trigo y el arroz (el incremento de la negatividad es de 1 a 1.7 MPa), y mucho menos visible en el maíz (de 0.3 a 0.5 MPa) (Bolaños y Edmeades 1991).

La actividad enzimática en general se reduce cuando hay sequía. Por ejemplo, la conversión de sacarosa a almidón en el grano se reduce porque disminuye la actividad de la invertasa ácida, una enzima clave que convierte la sacarosa en azúcares hexosas (Westgate 1997; Zinselmeier *et al.*, 1995).

El ABA está involucrado en el proceso de adaptación de la planta a diferentes tipos de estrés ambiental, y se ha comprobado que durante estos estreses los niveles de ABA se incrementan en los tejidos vegetativos (Zeevaart y Creelmen, 1988).

El ABA participa en los mecanismos de adaptación de las plantas al déficit hídrico, en los cuales actúa promoviendo el cierre de los estomas para reducir las pérdidas de agua y estimular la absorción de este líquido a través de la raíz. La pérdida de turgencia en los tejidos es señal que origina en la planta un incremento en la síntesis de ABA (Bray, 1993)

Cuando hay estrés de leve a moderado, la expansión celular se inhibe. A medida que el estrés se intensifica, esto se manifiesta en una menor expansión del área foliar, seguida por un menor crecimiento de los estigmas, un menor alargamiento del tallo y, finalmente, menos crecimiento radicular (CIMMYT, 2012).

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, 1993).

Dentro de los mecanismos que pueden contribuir para la resistencia a la sequía, y que han sido considerados en programas de mejoramiento genético, se anotan: a) sistema radicular extenso o mayor relación raíz/parte aérea; b) pequeño tamaño de células; c) cutícula foliar (espesura, serosidad); d) cambios en el ángulo foliar; e) comportamiento y frecuencia estomática; f) acumulo de metabolito intermediario; g) ajuste osmótico; h) resistencia a la deshidratación de las células (Magalhães & Silva. 1987).

El Fito mejoramiento para aumentar el rendimiento de grano en condiciones de estrés es muy complicado, debido a la baja heredabilidad de este carácter cuantitativo y principalmente a la variación en la intensidad del estrés en condiciones de campo (Ludlow y Muchow, 1990), por lo que es necesario que existan criterios de selección adicionales al de rendimiento de grano, como tradicionalmente se ha hecho. Por otro lado, la producción de biomasa es un punto que se ha venido investigando, el cual se ha atribuido como una característica importante cuando las plantas pasan por un estado de estrés ambiental (Bolaños y Edmeades, 1993).

En base a investigaciones realizadas en diferentes cultivos, se ha propuesto utilizar como criterio de selección de genotipos la producción de biomasa, tomando en cuenta que esta puede ser una forma de medir la eficiencia

fisiológica de las plantas; este criterio es importante ya que bajo condiciones ambientales restrictivas las variaciones en el rendimiento de grano y sus componentes, tienen una estrecha relación con las variaciones en la producción de biomasa (Edmeades *et al.*, 1999).

2.1.1. Estimación de la cobertura vegetal (NDVI) y el rendimiento

Existen un conjunto de parámetros numéricos que permiten estimar y evaluar el estado de salud de la vegetación en base a la medición de la radiación que las plantas emiten o reflejan. Estos parámetros permiten la construcción de índices, dentro de los cuales el más conocido y usado es el Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index).

El índice de vegetación de diferencia normalizada o NDVI se utiliza para estimar de la vegetación verde: crecimiento de las plantas (vigor) cobertura de la vegetación y la producción de la biomasa. Ya que el índice está relacionado con la actividad fotosintética de la vegetación, se calcula con bandas de imágenes de satélites, aprovechando las características únicas del reflejo de la vegetación verde. El índice varía entre -1 y 1.

La superficie de la planta refleja intensamente la energía en el rango de infrarrojo cercano, la reflectancia es determinada por las propiedades de los tejidos foliares, es decir, por su estructura celular y las interfaces entre la pared celular exterior, el Protoplasto y el cloroplasto (Kumar y Silva, 1973).

Las mediciones satelitales del NDVI se ven influenciadas por varios factores que no tienen relación con la vegetación, como las condiciones atmosféricas (por ejemplo, nubes, aerosoles y vapor de agua), la geometría y calibración satelitales (ángulos de visión y solares), así como, por el tipo de suelo y la cobertura de los cultivos (Holben 1986; Soufflet *et al.* 1991; Justice *et al.* 1991).

El GreenSeeker ; es un instrumento que provee un índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), cuya interpretación puede contribuir al diagnóstico rápido y dirigido de las condiciones nutricionales (especialmente de nitrógeno), el estado fisiológico, la incidencia de estrés, y el rendimiento potencial de los cultivos (Inman *et al.* 2005, Lan *et al.*, 2009).

La reflectancia es la fracción de energía reflejada por un objeto posteriormente a la incidencia de la misma en la superficie. La reflectancia espectral de un cultivo difiere considerablemente entre el rango del infrarrojo cercano ($\lambda = 700-1300$ nm) y del rojo visible ($\lambda = 550-700$ nm) (Kumar y Silva, 1973).

El NDVI logra predecir la actividad fotosintética de la planta ya que este índice de vegetación incluye tanto el rango del infrarrojo cercano como la luz roja. La actividad fotosintética de las plantas es determinada por el contenido y la actividad de la clorofila. Se ha comprobado que existe una relación entre el contenido de nitrógeno y la clorofila foliar en el cultivo de maíz (Piekielek y Fox, 1992; Chapman y Barreto, 1997) y el trigo (Evans, 1989).

(Teal *et al.*, 2006) encontraron un ajuste del 77% entre el NDVI (lectura realizada en V8) y el rendimiento del maíz. Martin *et al.*, (2007) determinaron que en las etapas tempranas del crecimiento (V3 a V5), el rendimiento en grano y la biomasa no se correlacionaron con el NDVI (R^2 26%), en los estadios V6 y V7 el ajuste fue de un 29% y en las etapas comprendidas entre V8 y V12 el mismo trepó hasta el 66%.

La relación del NDVI con los rendimientos y calidades ya ha sido probada en frutales, siendo una herramienta utilizada en los Estados Unidos, al igual que en Chile. En particular, investigación desarrollada en Australia (Johnson *et al.*, 1998; Lamb, 1999 y 2000), han demostrado la utilidad de emplear imágenes aéreas multiespectrales relacionadas con índices de vegetación para proponer áreas de manejo ("bloques") de cosecha.

Esta metodología se basa en la estimación de la expresión vegetativa a través de y su relación con la densidad foliar de las plantas. Así se ha visto que racimos provenientes de cuarteles con altos valores de NDVI presentaron mayores rendimientos y menor calidad enológica, lo contrario fue observado en fruta proveniente de sectores con bajos valores de NDVI (menor rendimiento y mayor calidad enológica percibida).

Se desarrolló un modelo empírico de estimación del rendimiento departamental de maíz, ponderando el efecto parcial del NDVI sobre el rendimiento durante cada etapa fenológica. (Unganai y Kogan 1998) utilizaron este procedimiento

para una región del SE de África, considerando como variables independientes sólo el NDVI de los períodos semanales que presentaban correlación significativa. A partir de estos modelos, que constituyen expresiones relativamente simples, se obtienen estimaciones que explican alrededor de 80% de la variabilidad interanual del rendimiento departamental. De acuerdo a los resultados que se obtienen para las siembras tempranas del 1 de septiembre (244) y del 1 de octubre (274), cuando en ambos casos se alcanza un R² máximo de 0,84, sería factible elaborar una proyección anticipada del rendimiento desde finales de enero y mediados de febrero, es decir un par de meses antes de la cosecha. Este análisis coincide en términos de anticipo con los resultados obtenidos por (Mkhabela *et al.*, 2005). Los resultados también confirman que a los efectos de pronosticar el rendimiento de maíz por medios satelitales es conveniente emplear distintas fechas de muestreo (análisis multitemporal) durante el ciclo (Chang *et al.*, 2003). Resultados de (Shanahan *et al.*, 2001), quienes emplearon el índice GNDVI para correlacionar con el rendimiento de maíz, obtuvieron coeficientes de 0,7 y 0,92 en las dos campañas que analizaron, y los valores más altos los obtuvieron durante la etapa del llenado de granos.

La variabilidad interanual que presenta la duración de los distintos sub períodos es reducida con respecto a las diferencias que acontecen entre fechas de siembra. En cualquier fecha de siembra tentativa, el valor de NDVI durante la etapa reproductiva expresa siempre una elevada asociación con el rendimiento. En las fechas de siembra tempranas, el NDVI acumulado durante la etapa de

maduración también tiene una alta capacidad para explicar la variabilidad del rendimiento; mientras que en las tardías es la etapa vegetativa, en cambio, la que exhibe esta mayor capacidad.

2.1.2. Contenido de clorofila mediante el uso del SPAD y rendimiento

El contenido de clorofila en la hoja de maíz esta estrecha y positivamente relacionado a la concentración de N en la hoja y, por lo tanto, refleja la condición nitrogenada del cultivo (Wolfe *et al.*, 1988).

El medidor de clorofila SPAD 502 es un instrumento que permite evaluar indirectamente y en forma no destructiva el contenido de clorofila en la hoja y por ende, el estado nutricional del cultivo a través de una simple lectura. Las medidas de clorofilas con el SPAD es un método interesante ya que es indicativo de la actividad fotosintética, al estar ésta relacionada con el contenido en clorofilas de las hojas (Gummuluru *et al.*, 1989).

En general la pérdida de clorofilas es una respuesta frecuente de las plantas a diversos tipos de estrés (Tenga *et al.*, 1989, Tenga y Ormrod 1990, Reynolds *et al.*, 2000), ligada en la mayor parte de los casos a una reducción del intercambio gaseoso.

El contenido en clorofila es uno de los parámetros biofísicos más relacionadas con la cantidad de nitrógeno en planta, dado que la mayor parte de éste se encuentra en las moléculas de clorofila (Daughtry *et al.*, 2000).

La clorofila en la hoja está estrechamente relacionada con la concentración de N y por lo tanto, refleja el estado nutricional con respecto a este importante

nutriente. El N es necesario para la síntesis de la clorofila y como parte de esta molécula, está involucrado en el proceso de la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992; Potash and Phosphate Institute, 1997). Cantidades adecuadas de N en la planta, producen hojas de color verde oscuro debido a que estas tienen alta concentración de clorofila. El pigmento verde de la clorofila absorbe la energía de la luz necesaria para iniciar la fotosíntesis.

En las plantas de maíz, el contenido de N foliar y el contenido de clorofila medido mediante el (SPAD 502) están positivamente correlacionadas, excepto en los estados iniciales de desarrollo del maíz. En situaciones en que la disponibilidad de N es grande, las lecturas del contenido de clorofila con SPAD 502 y el N foliar son poco correlacionadas, porque el potencial del sistema fotosintético ya se encuentra convirtiendo la energía lumínica en energía química y el excedente de N se encuentra formando parte de otros compuestos de reserva (Argenta *et al.*, 2001, Bullock y Anderson, 1998, Zotarelli *et al.*, 2003).

En estudios de La relación entre el contenido en clorofila de las hojas y los valores SPAD en trigo y cebada. Se observaron que el coeficiente de correlación entre los valores SPAD y el contenido en clorofila de las hojas fue muy significativo ($p < 0.001$), tanto para los trigos como para las cebadas.

2.1.3. Senescencia y rendimiento

El principal propósito de la senescencia en las plantas es la movilización y reciclaje de nutrientes que las hojas ya no necesitan y que el fruto o semilla requieren para su desarrollo. Se ha demostrado experimentalmente que la senescencia es reversible (Thomas y Donnison, 2000; Zavaleta-Mancera *et al.*, 1999).

La senescencia puede ser inducida prematuramente por condiciones ambientales; ciertas partes de las plantas pueden ser sacrificadas para incrementar las oportunidades de supervivencia. Durante el ataque de un patógeno, la planta elimina la hoja dañada por medio de la senescencia, permitiendo mover sus nutrientes y evitar el desarrollo de un patógeno.

La senescencia como síntoma es también causada cuando las partes verdes de las plantas son removidas y almacenadas originando el amarillamiento pos-cosecha y la pérdida de nutrientes en los vegetales dando como resultado pérdidas económicas importantes. (Buchanan-wollaston *et al.*, 2003).

La senescencia de la hoja es considerada como un resultado de la interacción de factores internos y externos. Las células sufren cambios estructurales, metabólicos y genéticos que causan una marcada disminución en la capacidad fotosintética (Smart, 1994; Chandlee, 2001; Yoshida, 2003). La senescencia foliar constituye una secuencia de eventos estructurales, bioquímicos y fisiológicos genéticamente regulados, que comprenden el último estadio de

desarrollo de la hoja, desde la madurez hasta la muerte (Thomas y Stoddart, 1980; Smart, 1994).

Actualmente la senescencia es considerada un tipo de muerte celular programada conocida como PCD por sus siglas en inglés (programmed cell death) (Smart, 1994; Buchanan-wollaston *et al.*, 2003).

Durante este proceso se expresan un conjunto de genes conocidos como SAGs (Senescence associated genes), que tienen una mayor expresión y codifican para para proteínas involucradas en la degradación celular, incluyendo ribonucleasas, preotesas, e hidrolasas entre otras (Biswal, 1999).

Durante la senescencia, los constituyentes celulares son degradados o desmantelados en un orden programado. Uno de los primeros eventos es la degradación de la clorofila, la cual es visible por el amarillamiento de las hojas; la degradación de proteínas y de RNA son paralelos a la perdida de actividad fotosintética, moléculas como el nitrógeno, fosforo, iones metálicos y minerales son transportados fuera de la hoja senescente hacia los tejidos en crecimiento como semillas y tallos (Buchanan-wollaston *et al.*, 2003).

En condiciones de déficit hídrico se inhiben varios procesos fisiológicos, tales como el crecimiento y apertura estomática y, por lo tanto, disminuye el intercambio de CO₂ reduciendo la carboxilación y el transporte de electrones, acelerando la senescencia foliar (Lawlor, 2002).

La secuencia de eventos que ocurren durante la senescencia foliar en plantas monocárpicas es similar a la que ocurre cuando son sometidas a un déficit

moderado de agua (-70kPa y -80kPa), debido a que se altera la arquitectura y el estatus hídrico de la planta (Pic *et al.*, 2002), así como la estructura de membranas, originando la degradación de proteínas, clorofilas y finalmente, el desmantelamiento del aparato fotosintético. La senescencia acompañada por potenciales hídricos bajos, promueve la remobilización de reservas, principalmente las derivadas del nitrógeno. En arroz, la senescencia foliar acelerada por déficit hídrico promueve la distribución de asimilados para el llenado del grano, reduciendo el tiempo de llenado (Yang *et al.*, 2002).

Durante la senescencia las concentraciones de algunas hormonas, tales como las citocininas, disminuyen en las plantas; sin embargo, otras como el etileno y el ácido abscísico (ABA) se incrementan, del mismo modo que cuando existe un déficit hídrico moderado. Los cambios en las concentraciones hormonales de las plantas son importantes porque son señales de comunicación en respuesta al ambiente entre la raíz y tallo o viceversa (Pospíšilová *et al.*, 2000; Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003). Las citocininas regulan y participan en diferentes procesos fisiológicos y bioquímicos de desarrollo en la planta; se sintetizan principalmente en los meristemas y son transportadas por el xilema. Estas moléculas pueden promover división y alargamiento celular, re-diferenciación de plastidios (Zavaleta-Mancera *et al.*, 1999b), desarrollo de yemas laterales, retraso de la senescencia, movilización de nutrientes, desarrollo floral y germinación de semillas, entre otros (Taiz y Zeiger, 1998; Schmölling *et al.*, 1997).

Es conocido el efecto de citocininas en el retraso de la senescencia foliar, retardando la pérdida de pigmentos y proteínas del cloroplasto (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003), promoviendo la acumulación de enzimas antioxidantes y reduciendo la concentración de H₂O₂ (Zavaleta-Mancera *et al.*, 2007).

Durante el envejecimiento la hoja pierde agua, lo que promueve inhibición de la fotosíntesis e intercambio de gases, y se genera incapacidad de recuperar su estado hídrico inicial. Numerosos trabajos refieren el efecto positivo que tienen las citocininas en el intercambio de gases durante la senescencia. Por ejemplo, en *Nicotiana* y *Digitalis* la transpiración y apertura estomática se incrementó cuando fueron propagadas *in vitro* con un medio enriquecido de citocininas, siendo el efecto dependiente de la concentración (Diettrich *et al.*, 1992; Pospíšilová *et al.*, 2000).

Las citocininas antagonizan diversos procesos fisiológicos inducidos por la pérdida de agua, principalmente aquellos que son mediados por el ABA. El ABA es un inhibidor de crecimiento que promueve la senescencia, mientras que las citocininas son consideradas como potentes inhibidores de ésta y actúan como antagonistas del ABA (Noodén y Leopold, 1988; Tanaka *et al.*, 2006).

Durante éste proceso se promueve la acumulación de ABA y de etileno en hojas y otros órganos de la planta (Buchanan-Wollaston *et al.*, 2003). La acumulación de ABA en las hojas de plantas expuestas a un continuo déficit hídrico afecta los movimientos estomáticos induciendo el cierre, reduciendo la tasa de transpiración, el transporte de solutos hacia las partes aéreas de la planta y la

tasa De asimilación de CO₂, procesos que también ocurren de manera natural durante la senescencia (Kramer, 1989; Chandlee, 2001).

El consumo de agua antes de la floración del cultivo limitaría este recurso para la etapa reproductiva generando un déficit hídrico (Bolton, 1981), que estimularía la senescencia foliar, la declinación del área foliar (Wolfe *et al.*, 1988), la reducción de la cantidad de radiación interceptada y el rendimiento (Connor *et al.*, 1985).

Puesto que el tamaño y la duración del aparato fotosintético están relacionados con el rendimiento, es de esperarse que las estrategias que conduzcan al incremento de éstos, darán en consecuencia un rendimiento más alto.

En la mayoría de los cultivos, el N ocasiona incrementos en el área foliar (AF) y en el índice de área foliar (IAF), lo cual puede ser producto de un mayor número y tamaño de hojas (McCullough *et al.*, 1994) En cereales, el incremento en el número de hojas con N puede deberse a un mayor número de tallos (Pearman *et al.*, 1977), y también a una mayor expansión foliar (Blanchet *et al.*, 1986; Lemcoff y Loomis, 1986; Muchow, 1988), a causa de un mayor número y tamaño de células (Hewitt, 1963).

La duración del área foliar (DAF) también es mayor en las plantas abastecidas con N (Novoa y Loomis, 1981). Por lo tanto, es de esperarse que un cultivo con N intercepte una mayor cantidad de radiación, puesto que esto depende del IAF y DAF (Muchow y Davis, 1988), Lo que probablemente se traducirá en una mayor producción de biomasa. Asimismo, la variación en DAF principalmente durante la etapa reproductiva está relacionada con la variación en el rendimiento

de semilla de trigo (Thorne, 1974) y maíz (Wolfe *et al.*, 1988), debido a que las semillas en crecimiento demandan gran cantidad de asimilados cuya producción depende principalmente de la actividad y duración del área foliar en esta etapa.

Por otra parte, la senescencia es de interés económico porque afecta la producción de los cultivos, al reducir el área fotosintética activa, debido a la movilización de metabolitos hacia la demanda (Noodén y Guiamét, 1989). El inicio del llenado de grano coincide con el de la senescencia foliar (Evans *et al.*, 1975).

La tasa de senescencia está altamente determinada por las condiciones ambientales y la actividad de la hoja está relacionada con la nutrición mineral (Ellen, 1987).

Algunos estudios han demostrado que el N retrasa la pérdida de clorofila (Debata y Murty, 1983) y así se tiene una mayor duración de la actividad fotosintética. De esta manera, con la fertilización nitrogenada puede lograrse un retraso en la senescencia y en consecuencia una mayor duración del área foliar y producción de biomasa.

2.1.4. Enrollamiento foliar y rendimiento

Algunas plantas cultivadas muestran cierta capacidad de adaptación a la sequía, por ejemplo, orientando las hojas para que no presenten la cara al sol (fríjol) o enrollándolas (maíz).

El estrés provocado por la sequía afecta algunas características fisiológicas clave hay acumulación de ácido abscísico (ABA). Este se genera principalmente en las raíces y estimula su crecimiento. De ahí, pasa a las hojas (y, en mucho menor grado, a los granos), donde provoca enrollamiento y cierre de los estomas., ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006). El proceso de cierre de los estomas, cuando el mesofilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998).

Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente, las plantas pueden presentar respuestas de aclimatación que tienen efectos sobre el crecimiento, como la disminución de la expansión foliar y el aumento del crecimiento radicular (Potters et al., 2007; Shao *et al.*, 2008).

El contenido de ABA en la hoja se incrementa debido a la descompartmentalización y redistribución desde los cloroplastos de las células del mesofilo y a la síntesis y transporte desde las raíces, siendo liberado al apoplasto para llegar a las células guarda a través de la corriente de transpiración (Zhang y Outlaw, 2001).

Esta fitohormona produce una pérdida de iones K^+ (calculada en 4-8 veces 182 Agron. Colomb. 27(2) 2009 de disminución, desde 400-800 mM hasta 100 mM) y de aniones Cl^- o malato $^{2-}$ en las células guarda, que provoca una salida de agua del citoplasma, dando lugar al cierre del estoma (Roelfsema y Hedrich, 2002)

El enrollamiento foliar es uno de los mecanismos de reducción de la radiación interceptada como respuesta al estrés hídrico. Además de reducir la radiación interceptada por el cultivo, el enrollamiento foliar se cita en la literatura como un mecanismo de la reducción de la transpiración y por tanto de ahorro de agua en momentos de déficit hídrico (Begg, Tumer, 1986). El enrollamiento foliar es muy sensible a cambios diurnos en déficit hídricos foliares y permite a la planta responder de forma rápida a periodos de alta demanda evaporativa y recuperarse rápidamente cuando la demanda evaporativa es menor. Estudios de enrollamiento foliar (IR) en sorgo (Begg, 1980) mostraron que bajo suministro hídrico adecuado apenas se producía variaciones de IR a lo largo del día, mientras que en condiciones de estrés se producía una oscilación del IR a lo largo del día, con valores mínimos poco después del mediodía solar y valores máximos al amanecer y anochecer.

Las medidas realizadas alrededor de medio día solar, cuando se observan las mayores diferencias de IR entre tratamiento, mostraron que el enrollamiento foliar fue un mecanismo de respuesta al estrés hídrico durante el periodo de riego deficitario y que este proceso fue reversible: el cultivo se recupera en las fases en las que cesaba el riego deficitario.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización geográfica y características del área de estudio

La Comarca Lagunera se localiza entre los meridianos 101 y 104° al oeste de Greenwich y los paralelos 24° 59' y los 26° 53' latitud norte. 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.

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 seco, con temperatura promedio de 21°C y una precipitación pluvial media anual de 200 mm con invierno benigno.

3.2. Material biológico

El material genético utilizado en la experimentación fueron 400 genotipos de diferente área geográfica, proporcionados por el centro internacional de mejoramiento de maíz y trigo (CIMMYT) del programa de mejoramiento, SEED OF DISCOVERY perteneciente al programa global de maíz.

3.3. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño aumentados sin repeticiones con cuatro testigos, la parcela experimental consistió en 1 surco de 5 metros de longitud a 0.75 m entre surco y surco y con una distancia de 0.25 m entre planta y planta.

3.4 Manejo agronómico

3.4.1. Preparación del terreno

La preparación del terreno se llevó acabo el 24 de mayo de 2012. Consistió en la realización de un barbecho, rastra, nivelación y trazos de los surcos.

3.4.2. Siembra

La siembra de se realizó el 25 de mayo de 2012, en seco manualmente depositando dos semillas por punto de siembra.

3.4.3. Instalación del sistema de riego

Se realizó la instalación de las cintillas como sistema de riego, se hizo de manera manual, tanto para el lote de la condición de riego normal y restringido.

3.4.4. Instalación de tubos para toma de humedad y Tomas de humedad

Se colocaron tubos de fibra de vidrio para la toma de humedad, se distribuyeron 15 tubos para el lote de riego normal, para el lote de riego restringido se distribuyeron 27 tubos. Se procedió a tomar la humedad el suelo tanto en riego normal como en riego restringido, estas tomas se realizaron cada tercer día (lunes, miércoles, viernes) durante el desarrollo del cultivo hasta el día de la cosecha.

3.4.3. Aclareo de plantas

El aclareo de planta se realizó a los 20 días después de la siembra, dejando una sola planta a 0.25 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.

3.4.4. Fertilización

Se fertilizó con la fórmula 160-80-00, aplicando el 50% del nitrógeno al momento de la siembra más el 100% del fosforo. 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 Di amónico (11-46-00-).

4.5. Riegos

Se llevaron a cabo un total de 26 riegos, el promedio de lámina de riego para la condición de riego norma fue de 2.79 cm³, mientras para el riego deficitario de 2.11 cm³. En la etapa de floración fue cuando a los genotipos se sometieron al estrés.

Cuadro 3.1. Número de riegos, fechas de aplicación y lamina de riego a los 400 genotipos evaluados en las dos condiciones riego normal-restringido, 2012.

	R. Normal(Lr)(cm ³)	R. Deficitario(Lr)(cm ³)
26-may-12	6.72	6.72
29-may-12	0.8	0.8
05-jun-12	1.6	1.6
16-jun-12	4.8	4.8
26-jun-12	0.8	
29-jun-12	0.4	0.96
03-jul-12	0.8	0.4
09-jul-12	3.2	2.96
11-jul-12	1.6	1.6
13-jul-12	3.36	1.68
20-jul-12	2.4	
23-jul-12		3.2
24-jul-12	5.52	2.16
29-jul-12	3.36	1.68
01-ago-12	3.84	1.92
05-ago-12	2.24	1.12
6-go-12	1	1
09-ago-12	1.37	1.28
11-ago-12	1.6	0.8
15-ago-12	2.8	0.8
18-ago-12	2.96	1.6
22-ago-12	3.2	
25-ago-12	3.84	2.16
28-ago-12		3.6
29-ago-12	1.84	
03-sep-12	2.4	0.6
06-sep-12	3.2	1.6
10-sep-12	3.84	1.76
14-sep-12	6	6

3.4.6. Control de plagas

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

Dosis	Nom.Pr	F.A	plaga
46.8 ml/20 LH ₂ O	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
125 g “	Fertinut	06-jul	
75 l “	Cipermetrina	06-jul	G. cogollero
75 ml “	Abamectina	24-ago	Araña roja

Nom.Pr= nombre del producto, F.A= fecha de aplicación

También como control de gusano cogollero se liberaron huevos de crisopas. 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 (*Spodoptera frugiperda*) cuando el muestreo presentaba un 15 %, y en el caso de la araña roja (*Tetranychus sp.*) cuando se presentaban los primeros síntomas visibles como hojas cloróticas.

3.4.7. Control de maleza

Para el control de maleza se realizó de la siguiente manera: se realizó una aplicación de herbicida pre-emergente y post-emergente (Harneex xtra), 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.

3.5. Variables determinadas

Para una mejor evaluación de los genotipos utilizados en estas condiciones, se llevaron a cabo la toma de variables agronómicas como; días a floración femenina (FF), días a floración masculina (FM), altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), acame de tallo (AT), acame de raíz (AR). Y también variables fisiológicas como fogueo, senescencia, enrollamiento, NDVI, contenido de clorofila (SPAD).

Para el siguiente trabajado se tomaron las siguientes variables fisiológicas y así hacer las correlaciones correspondientes con rendimiento de grano además de seguir más detalladamente el comportamiento de los genotipos sometidos al estrés hídrico.

3.6.1. Estimación de la cobertura vegetal (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 DDG, la segunda toma se efectuó el 30 de junio, a los 36 DDG, la tercer toma fue llevada a cabo el 8 de julio, a los 44 DDG, la cuarta toma se ejecutó el 21 de agosto a los 88 DDG, la quinta y última toma se efectuó el 12 de septiembre, a los 110 DDG.

3.6.2. 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.

3.6.3. 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 1, 2 y 4, el 17 y 31 de Julio y, 14 de Agosto respectivamente.

3.6.4. 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.

3.6.5. Cosecha

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

3.6.6. Rendimiento de grano

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

3.6.7. Análisis de datos

Todos los datos fueron analizados y ajustado mediante el paquete estadístico R, los coeficientes de correlación se determinaron con el programa Excel.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Para conocer la relación existente entre el rendimiento de grano y las variables fisiológicas evaluadas (NDVI, senescencia, contenido de clorofila (SPAD) enrollamiento) en condiciones de riego normal y deficitario, se realizaron las correlaciones de ambos parámetros, los cuales se presentan a continuación.

4.1. Relación entre rendimiento y NDVI para la condición de riego normal

La figura 4.1 muestra la relación entre el rendimiento y el NDVI a los 22(A) 44(B) 88(C) y 110(D) días después de germinación (DDG), se representan todos los datos de los genotipos, que fueron evaluados en la condición de riego normal en el ciclo verano de 2012.

De acuerdo a la dispersión que presentan los datos, se observa que no existe relación entre el rendimiento y el NDVI para riego normal. Lo anterior debido probablemente a que las plantas ó genotipos se encontraban en óptimas condiciones tanto de humedad como de nutrientes y las diferencias entre ellos pueden ser atribuidas al potencial intrínseco de cada genotipo. Otro factor que influyó, es que los materiales evaluados son de distintos orígenes y por tanto reflejan diferentes valores de NDVI. Lo anterior concuerda con Teal *et al.* (2006) el cual en estadio V9 y superiores no encontró correlaciones significativas con el rendimiento en grano (V9 $r^2=0.22$; V11-V12 $r^2=0.4$). Debido a la influencia del dosel en el campo de visión del sensor GreenSeeker, mediciones de NDVI más

tardías que V8 no son capaces de distinguir variaciones, este problema es similar al que reportan otros investigadores con diferentes técnicas de medición del NDVI mediante sensores remotos como fotos aéreas o satelitales Viña *et al.*, (2004). Los resultados indican que los valores de NDVI aumentaron, con el avance de las etapas fenológicas del cultivo, como lo citan Aparicio *et al.*, (2000) quienes encontraron que la correlación entre el NDVI y rendimiento de grano se incrementó como la etapa de crecimiento fue progresado, desde el inicio hasta la madurez, pero sin tener una correlación positiva. También Martin *et al.*, (2007) determinaron que en las etapas tempranas del crecimiento (V3 a V5), el rendimiento en grano y la biomasa no se correlacionaron con el NDVI ($R^2=26\%$), en los estadios V6 y V7 el ajuste fue de un 29% y en las etapas comprendidas entre V8 y V12 el mismo se elevó hasta el 66%.

Los valores más altos registrados por (Viney *et al.* 2005, Monteith y Unsworth 2008). ($r^2=0.7$ y 0.8) indicadores de plantas en las mejores condiciones representaría la densidad más alta posible de hojas verdes y saludables y una alta correlación con el rendimiento. Pero se encontraron genotipos con bajos niveles de NDVI pero mayores rendimientos que genotipos con altos valores de este parámetro y bajos rendimientos. Lo anterior coincide con lo encontrado en el presente trabajo pues genotipos con alto rendimiento de grano presentaron un valor de medio y bajo de NDVI en los cuatro muestreos (Figura 1). Puntualmente sobresale el genotipo (CML451/CML486)/OAXA319_5977). Donde también se puede observar que sobresalen los cuatro testigos utilizados. Si se hubiesen

evaluado genotipos mejorados como los testigos, la predicción en el rendimiento mejoraría.

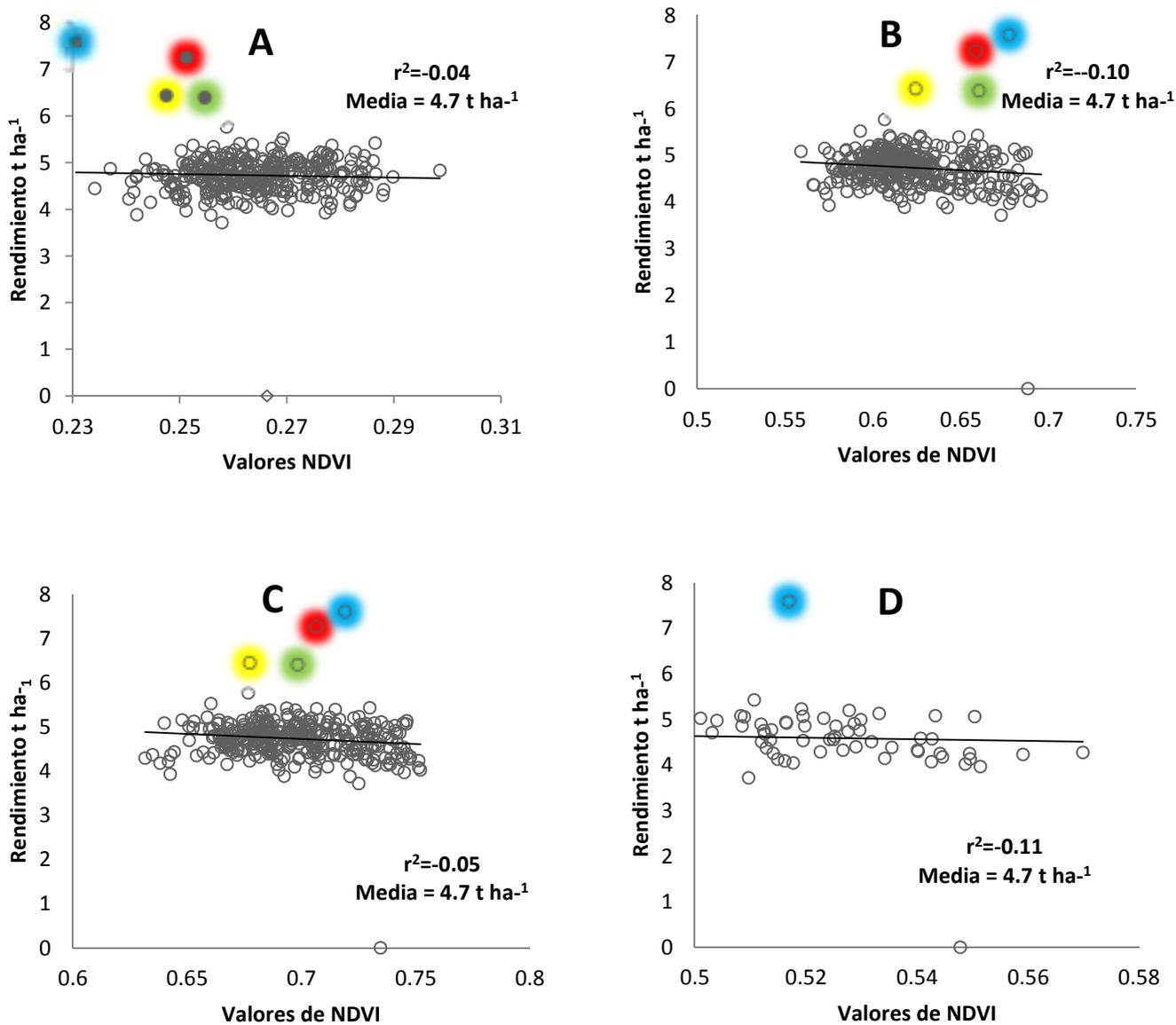


Figura 4.1. Relación del rendimiento en función del NDVI a los 22(A), 44(B), 88(C), y 110(D) DDS para de riego normal en 346 genotipos y cuatro testigos (en color). UAAAN-UL 2012.

4.2. Relación entre NDVI y rendimiento en riego deficitario (RR)

Dentro de los múltiples usos del NDVI es medir el nivel de estrés hídrico (agua disponible) en cierto período de tiempo del desarrollo del cultivo. En la Figura 4.2 (A, B, C y D) se observa la relación entre el rendimiento y el NDVI de los genotipos, a los 22, 44, 88 y a los 110 días después de germinación (DDG). Con la excepción del primer muestreo (22 DDS), el valor de la correlación tiende a aumentar en los tres últimos muestreos, en comparación con lo que se observó en riego normal. Este incremento puede deberse al aumento en la temperatura que se registra en el follaje por efecto del estrés hídrico experimentado por las plantas. Así la radiación infrarroja reflejada por las plantas con mayor temperatura es mayor, que la emitida por aquellas plantas más frescas y bien irrigadas. La temperatura foliar de las plantas está asociada a la tasa transpiratoria la que determina, en gran medida, la pérdida de calor por evaporación (también llamado calor latente). Por lo tanto, las plantas bien irrigadas poseen menores temperaturas foliares que las plantas que sufren déficit hídrico. Por lo que las plantas al estar sometidas al déficit hídrico se diferenciaron unas de otras y sobresalieron las más tolerantes a esta condición. Estos resultados coinciden con los estudios realizados por Aparicio *et al.* (2000) que observaron una correlación positiva entre el NDVI y el rendimiento de grano en todas las etapas de trigo en condiciones de secano. También se observa que los genotipos utilizados como testigos siguen sobresaliendo en esta condición, pues los testigos utilizados son materiales ya mejorados a diferencia de los genotipos que están en el proceso de mejoramiento para estrés hídrico.

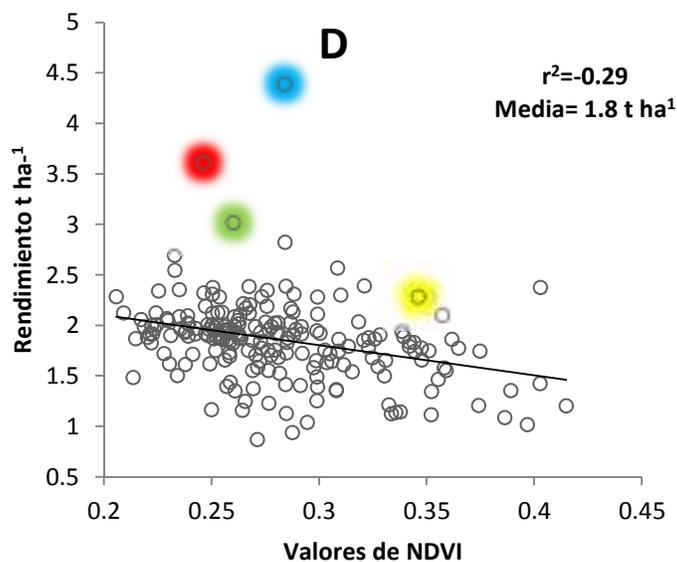
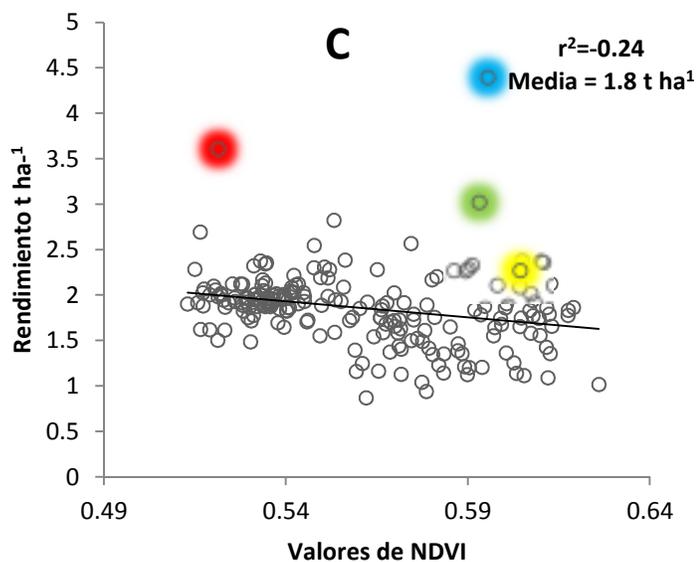
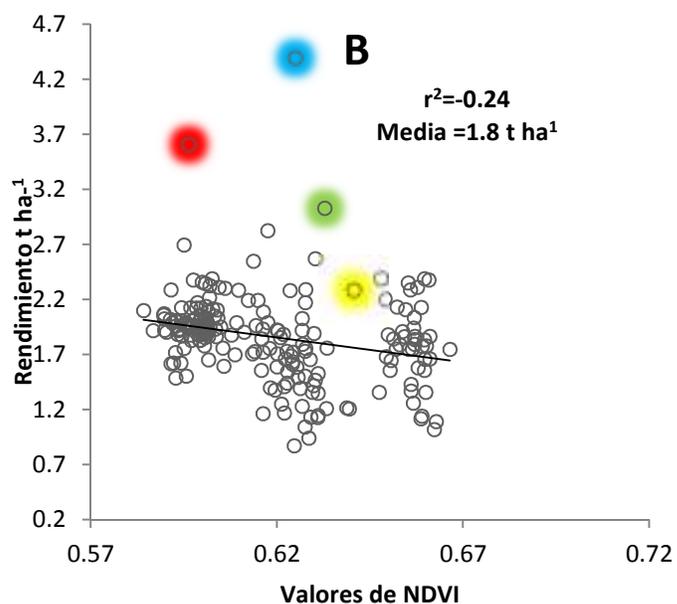
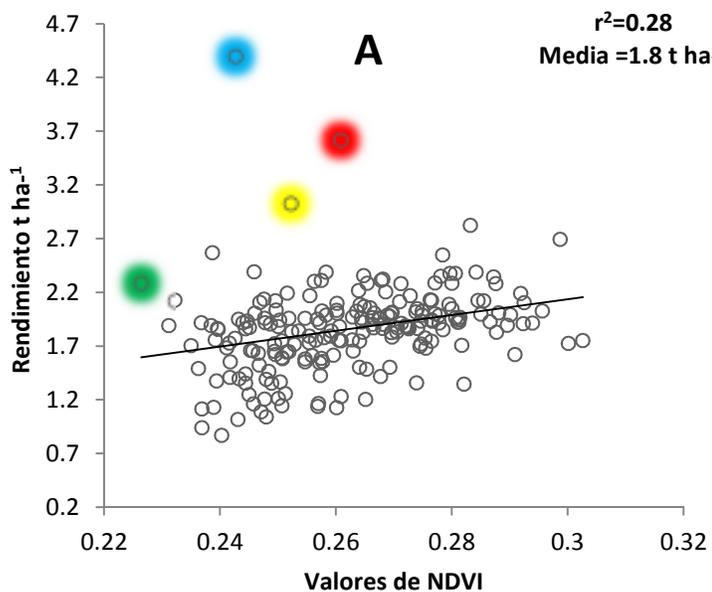


Figura 4.2. Relación del rendimiento y del NDVI a los 22(A), 44(B), 88(C), y 110(D) DDS, en riego deficitario de 346 genotipos y cuatro testigos. UAAAN-UL 2012.

4.3. Relación del rendimiento y la senescencia en condición de riego normal

En la Figura 4.3, se muestran la relación entre el rendimiento y la senescencia en la 2^a, 4^a y 6^a semana después de la floración. Se observó una baja correlación entre estos dos parámetros en los tres muestreos. Bajo estas condiciones el rendimiento se muestra independiente de la senescencia donde la senescencia de los genotipos estuvo mayormente influenciada quizás por la precocidad. El comportamiento de los genotipos en las condiciones de riego normal se manifestó en un retraso de la senescencia, que mantuvo la duración de la zona verde de tallos y hojas, lo que permitió que estas estructuras estuviesen disponibles para la activa translocación de foto asimilados en la fase de llenado de grano. Los resultados permiten detectar genotipos con alto rendimiento y valores de senescencia bajos, como en genotipo (CML451/CML486)/OAXA319_5977. De igual forma se encuentran materiales que retrasan la senescencia pero no tienen altos rendimientos como el genotipo (CML451/CML486)/MORE13_2241). Los testigos se comportaron de manera similar y mantuvieron valores de senescencia bajos y altos rendimiento.

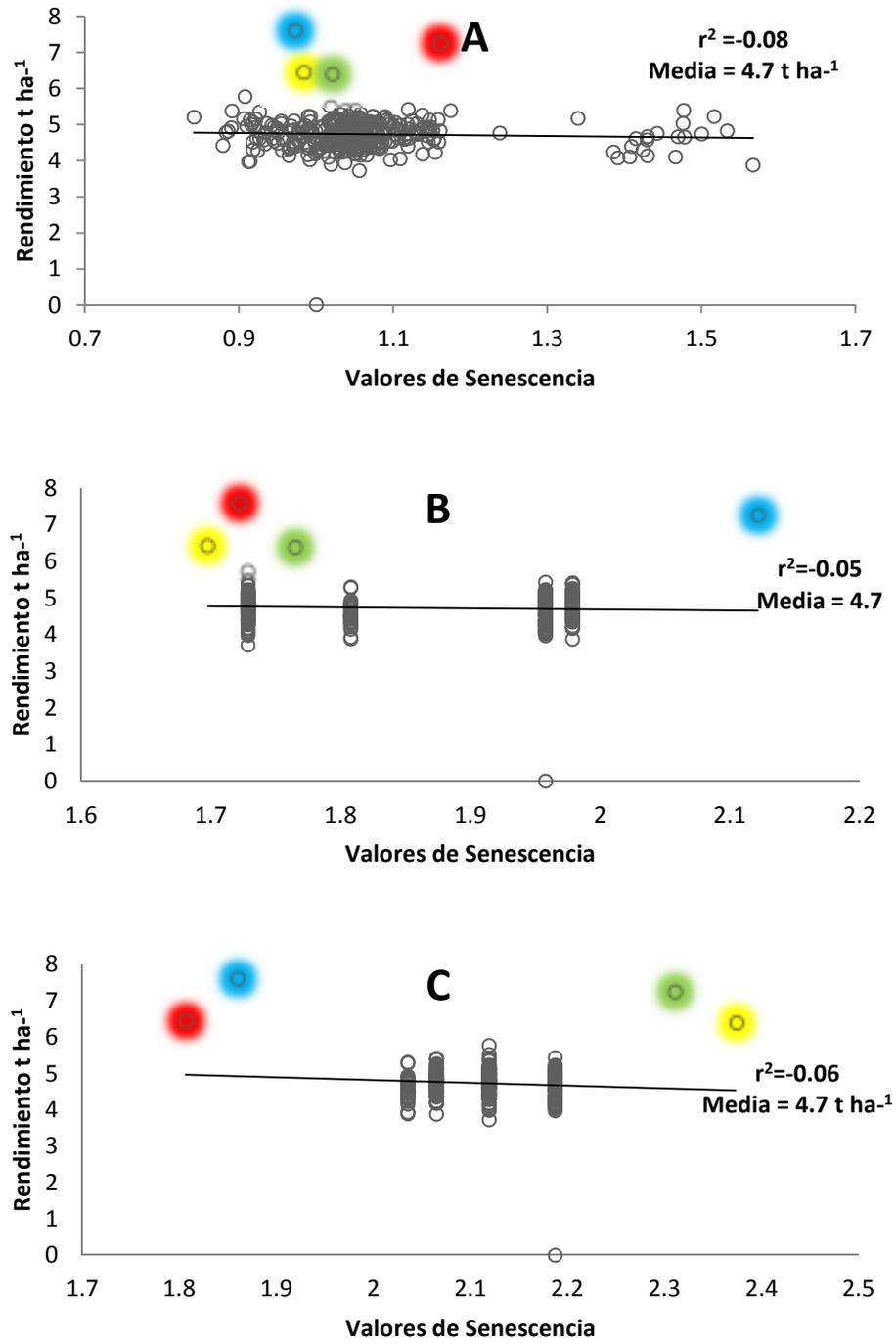


Figura 4.3. Relación entre el rendimiento y senescencia a las 2, 4 y 6 semanas después de floración para riego normal en 346 genotipos y cuatro testigos. UAAAN-UL 2012.

4.4. Relación del rendimiento y la senescencia en condiciones de riego deficitario.

En la figura 4.4, se observa la relación existente entre el rendimiento y la senescencia en riego deficitario, cuantificadas en la 2^a, 4^a, 6^a semanas después de la etapa de floración.

No se encontró relación del rendimiento con senescencia en la 2^a y 4^a semanas, en tanto se observó una baja correlación (0.28) en la 6^a semana de evaluación. También se observó un aumento en el valor de la senescencia, debido al efecto del estrés hídrico, pero sin tener una estrecha relación con el rendimiento.

Los resultados permiten observar un gran número de genotipos que retrasaron la senescencia con altos rendimientos. Así también, se observan genotipos que muestran altos valores de senescencia pero exhiben el mismo rendimiento promedio (1.8 t ha^{-1}) que aquellos que retrasan la senescencia. Esto se atribuye a que por el origen de los genotipos utilizados no todos se encontraban en la misma etapa fenológica, se encontraban precoces intermedios y tardíos. Entonces así los más precoces adelantaron el proceso de senescencia y la concentración de foto asimilados se trasladaron de las hojas al grano más rápidamente y totalmente y así no tener un efecto negativo en el rendimiento. Mientras que los genotipos intermedios y tardíos tardaron más en trasladar los foto asimilados a la mazorcas y solo algunos pudieron tener rendimiento promedios. El efecto del estrés hídrico aceleró el proceso de la redistribución de nutrientes que implica principalmente la degradación de los cloroplastos y la exportación del N_2 y otros nutrientes liberados hacia el grano en

algunos genotipos (Thomas *et al.* 2001). Se puede observar también que los testigos sobresalen en estas condiciones.

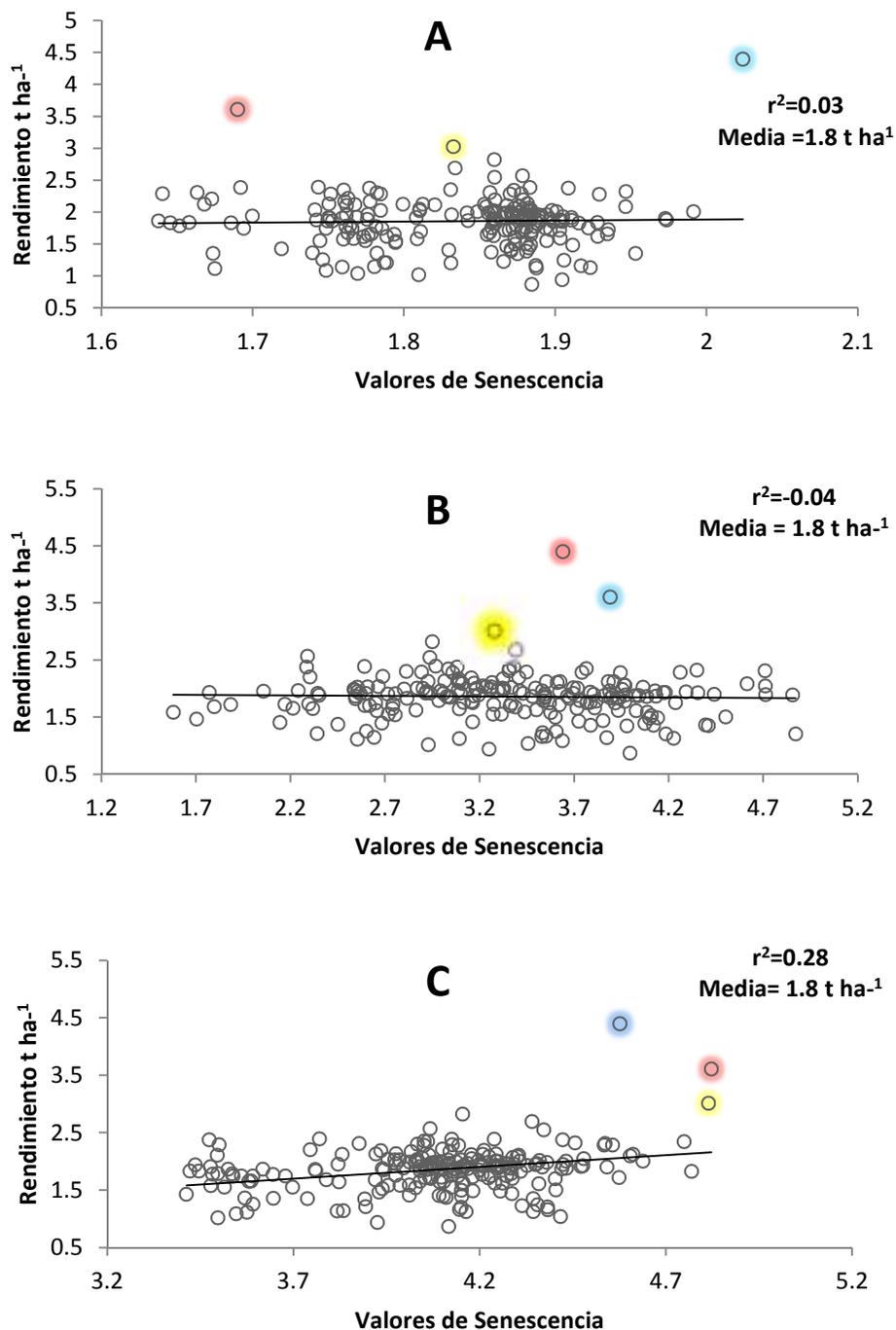


Figura 4.4. Relación del rendimiento de grano con la senescencia para la 2^o, 4^o, 6^o semana, en la condición de riego deficitario en 346 genotipos y cuatro testigos. UAAAN-UL 2012.

4.5. Relación del rendimiento en función del contenido de clorofila (SPAD) para la condición de riego normal

La Figura 4.5 muestra la relación entre el rendimiento y el contenido de clorofila medido con el SPAD en tres muestreos realizados en la 2^a (A) 4^a (B) y 6^a (C) semana después del periodo de floración. Se observa una baja correlación entre los valores de SPAD y el rendimiento de grano, como lo cita Blackmer and Schepers (1995) quienes encontraron bajos valores de correlación entre los valores del SPAD en el estadio V6 y el rendimiento del maíz. Los resultados del presente trabajo, no coinciden con las investigaciones realizadas por Piekielek *et al.*, (1995), quienes encontraron alta correlación entre los valores de SPAD en el estadio R3-R4 y el rendimiento de maíz. Lo anterior lo atribuyen posiblemente a la gran diversidad del origen de los genotipos, o también posiblemente a los factores ambientales como la temperatura media del aire, que influye sobre la síntesis de clorofila, existiendo una relación parabólica entre la temperatura media del aire y la concentración de clorofila en hojas de maíz. Cuando la temperatura aumenta en el rango de 15° y 20 °C se produce un fuerte incremento en la concentración de clorofila, mientras que por encima de los 20 °C la tasa decrece abruptamente con su incremento (Dwyer *et al.*, 1991). Por lo tanto, las diferentes temperaturas medias que se presentan en la Comarca Lagunera, podrían ser la causa de las bajas correlaciones observadas entre los valores del SPAD y el rendimiento de grano.

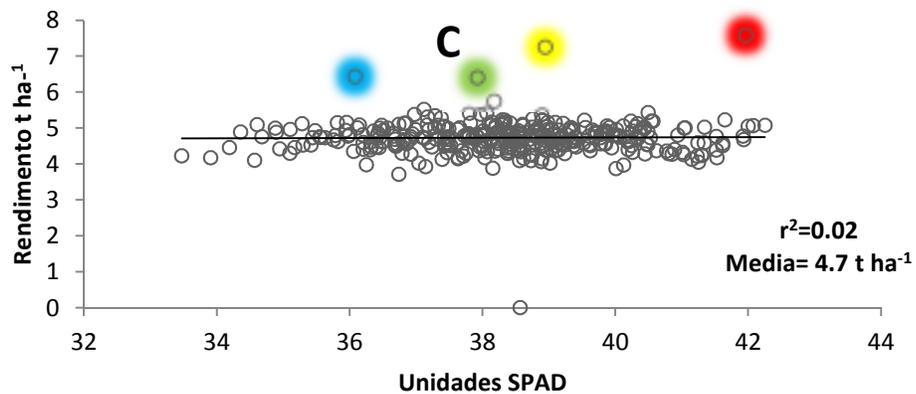
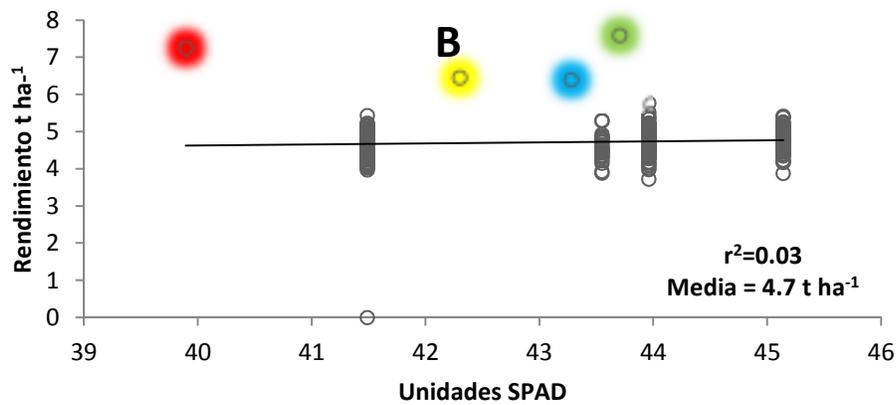
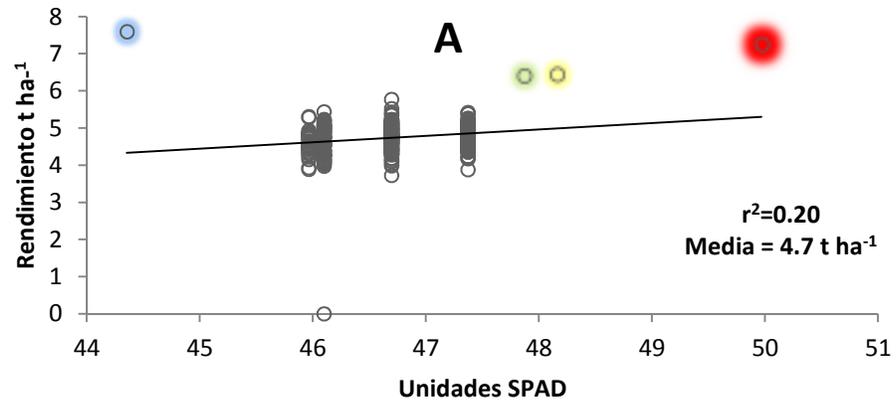


Figura 4.5. Relación entre el rendimiento y el contenido de clorofila (SPAD) en muestreos en la 2^a, 4^a y 6^a semana después de la floración en 346 genotipos y cuatro testigos en riego normal. UAAAN-UL 2012.

4.6. Relación del rendimiento en función del contenido de clorofila (SPAD) para la condición de riego deficitario

La Figura 4.6, se establece la relación del rendimiento y el contenido de clorofila de las plantas en la 2a, 4a y 6a semana después de floración, en condiciones de estrés hídrico. Se observa una baja correlación en las tres evaluaciones. Los valores de SPAD decrecen de la 2^a a la 4^a semana después de la floración, lo que se atribuye a la deficiencia hídrica del cultivo. Resultados similares se observan en otros trabajos que han mostrado que el estrés hídrico afecta las lecturas del SPAD. Así, en hojas de maíz, se detectó que el estrés hídrico era el causante de una débil asociación con las concentraciones de N₂ foliar (Schepers *et al.*, 1996). También los trabajos de Xian-He *et al.*, (1995) donde reportaron pérdidas de clorofila en trigo afectado por una deficiencia hídrica. Por su parte, Fotovat *et al.* (2007) encontraron que el contenido de clorofila foliar disminuía significativamente bajo un estrés hídrico severo respecto a aquellos con una mayor disponibilidad hídrica en siete cultivares de trigo. Se puede notar que los bajos niveles de clorofila, afectaron considerablemente el rendimiento en algunos genotipos. Se encontraron genotipos con altos valores de SPAD, es decir con alto contenido de clorofila pero con rendimientos bajos. En contraste, también se encontraron genotipos con bajos niveles de clorofila y rendimientos similares y mayores al promedio.

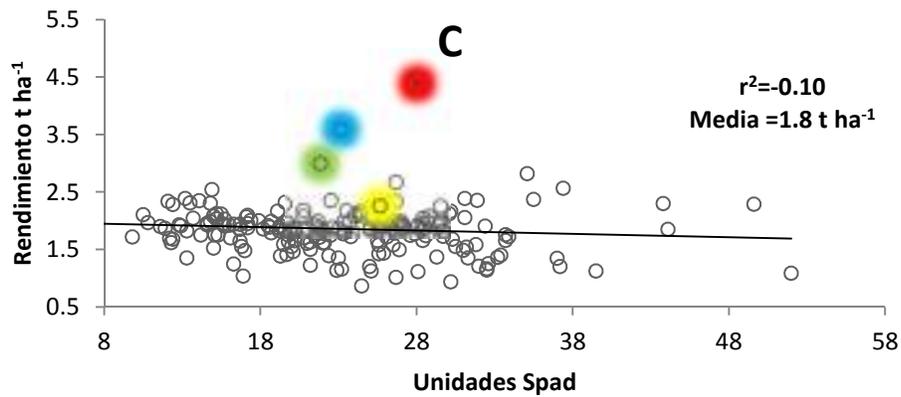
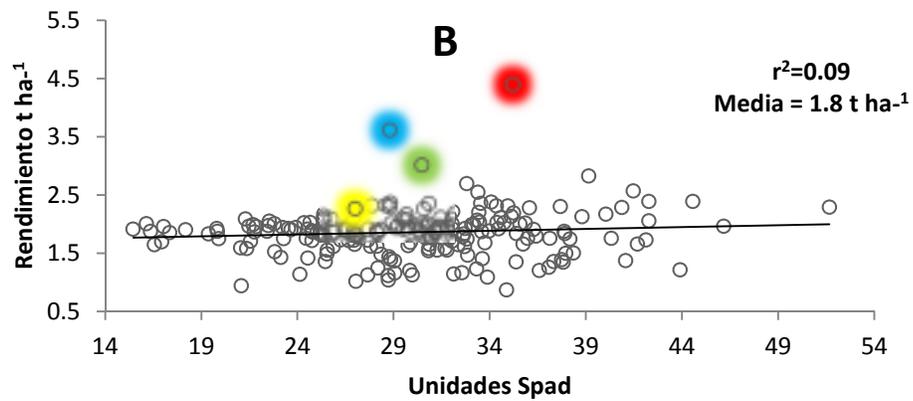
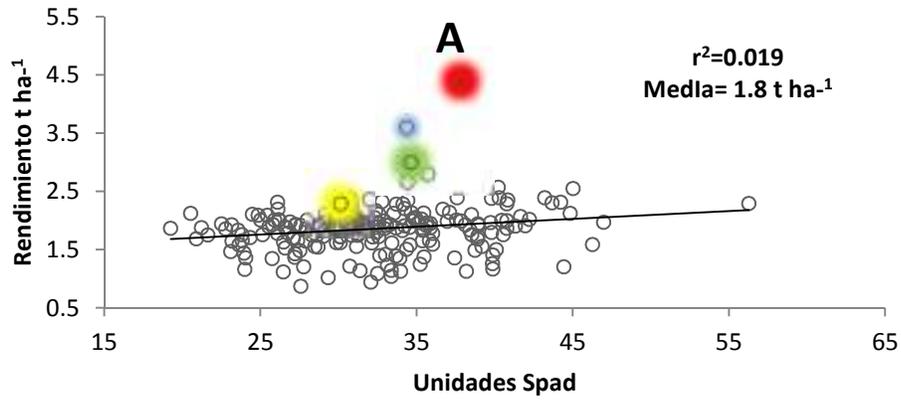


Figura 4.6. Relación entre el rendimiento y el contenido de clorofila (SPAD), calificados en la 2°,4°,6° semana después de la floración en 346 genotipos y cuatro testigos en riego deficitario. UAAAN-UL 2012.

4.7. Relación del rendimiento en función del enrollamiento foliar para la condición de riego deficitario

Algunas plantas cultivadas mostraron cierta capacidad de adaptación a la sequía, enrollando las hojas. En la Figura 4.7, se observa la relación que existe entre el rendimiento de grano y el enrollamiento foliar, tomadas en las diferentes etapas de la planta, a la 1a (A) 2a (B) y 4a(C) semana después de la etapa de floración.

Los resultados muestran valores de correlación baja y no significativa en los muestreos realizados entre estos dos parámetros. Se pueden notar genotipos con valores elevados de enrollamiento pero sin afectarles negativamente en el rendimiento de grano y, genotipos que no muestran en déficit hídrico enrollamiento foliar pero con efectos negativos en el rendimiento final. El estrés hídrico tiene un efecto negativo sobre el rendimiento de grano y por ende las correlaciones bajas en estas dos variables. El estrés provocado por la sequía aumenta la acumulación de ácido abscísico (ABA) en las hojas donde provoca el enrollamiento foliar. Esto ayuda a los genotipos a tolerar el estrés hídrico, pero influye negativamente en el rendimiento de grano. Los resultados son similares a estudios anteriores de enrollamiento foliar (IR) en sorgo por Begg, (1980) que mostró que bajo suministro hídrico adecuado apenas se producía variaciones de IR a lo largo del día, mientras que en condiciones de estrés se producía una oscilación del IR a lo largo del día, con valores mínimos poco después del mediodía solar y valores máximos al amanecer y anochecer.

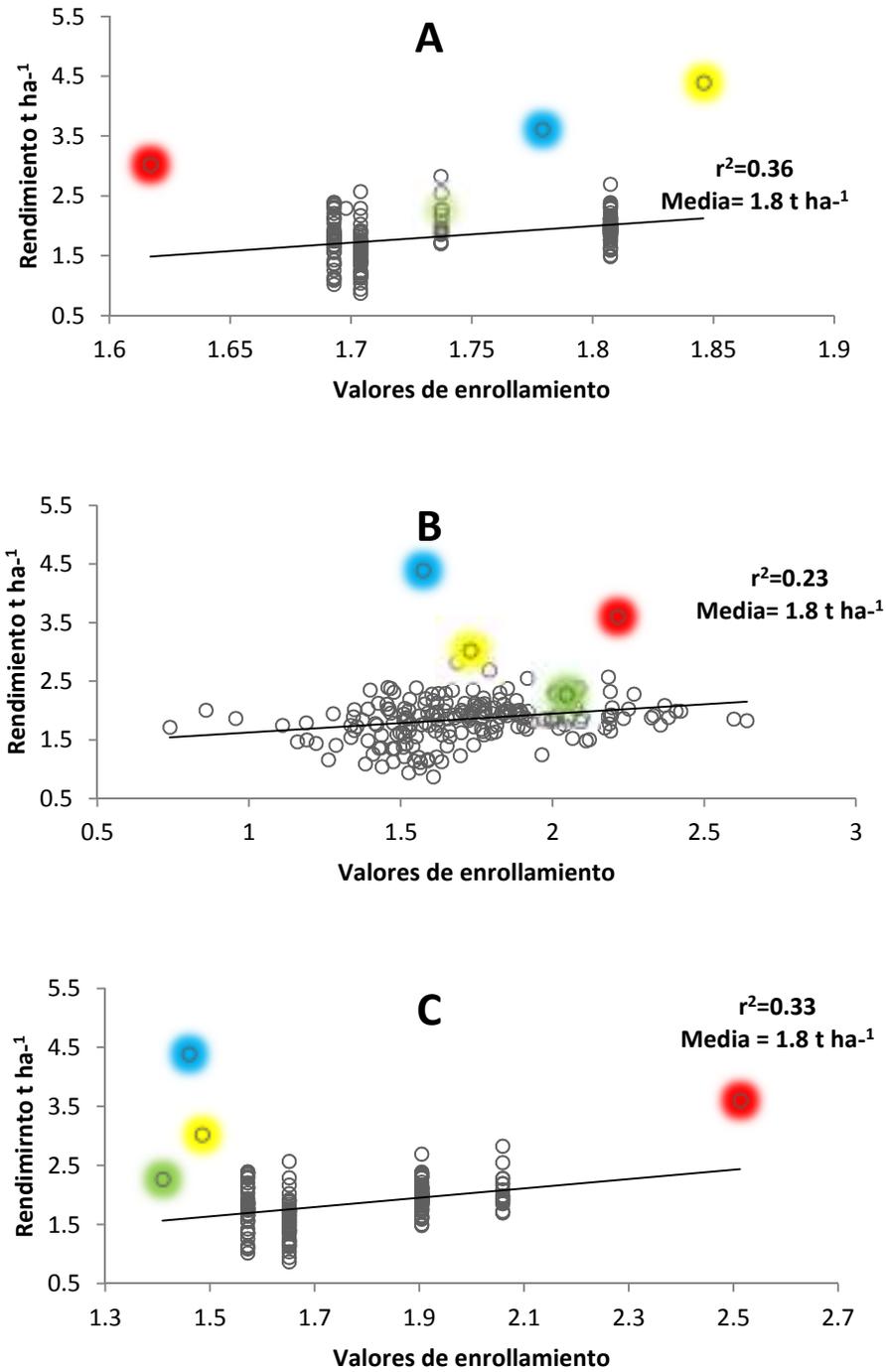


Figura 4.7. Relación entre el rendimiento y el enrollamiento foliar en muestreos en 2^a, 4^a y 6^a semana después de la floración en 346 genotipos y cuatro testigos en riego deficitario. UAAAN-UL 2012.

V. CONCLUSIONES

Los resultados permiten establecer que la relación del rendimiento y el NDVI en las diferentes etapas del cultivo para la condición de riego normal es nula dándose un incremento de los valores de NDVI en la etapa reproductiva pero sin tener estrecha asociación con el rendimiento de grano.

En tanto para la condición de riego deficitario se observó un aumento en la correlación entre el rendimiento y el NDVI.

En la asociación del rendimiento con la senescencia, se observó que la correlación aumentó al estar sometidas al estrés hídrico en la última toma. Similares resultados se observaron en la asociación del rendimiento con el contenido de clorofila (SPAD).

En general en el presente trabajo se observó que la correlación se incrementa en la condición de riego deficitario. Se encontraron genotipos que se comportan muy bien ante el estrés hídrico teniendo valores considerables de las variables evaluadas y teniendo rendimientos promedios.

VI LITERATURA CITADA

- Alemán., Domínguez., Domínguez., Fuentes,L., Miranda, K.,Pérez,Arnoldo,J.T.R., Nava,C.S., Santillán,L.A.J., Huerta, J.A., López,T.C., Encinia,B.F, Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical,2002, Revista Internacional de Botánica experimental,Tamaulipas,Mexico,pp.32-75.
- Avendaño, ACH; Trejo, LC; López, CC; Molina, GJD; Santacruz, VA; Castillo, GF. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. *Intercadencia* 30(9): 560-564.
- Avendaño, ACH; Trejo, López, CC; Molina, GJD; Cadena, I J.2008. Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz (*Zea mays* L.) 19(1): 27 37.
- Banzinger, M., Edmeades, G.O., Beck, D, Bellon, M. Mejoramiento para aumentar la tolerancia a sequía y a deficiencia de nitrógeno en el maíz: de la teoría a la práctica, 2012, México, D.F.: CIMMYT.
- Bolaños J. Edmeades G.O, La importancia del intervalo de la floración en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical, Reunión Anual del PCCMCA 35,1989, San Pedro, Honduras.
- Bolaños, J.; Edmeades, G.O. 1989. Cambios en la población Tuxpeño sequía después de ocho ciclos de mejoramiento para resistencia a sequía. In: Reunión Anual del PCCMCA 35,1989, San Pedro, Sula, Honduras.
- Castillo, R.A., Ligarreto, A.G., Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano, 2010, Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria, PP. 11(2), 122-128.
- De la Casa, A., Ovando G. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Córdoba, Argentina, 2006, Agricultura Técnica, Córdoba, argentina, pp.10.
- Giménez, L, Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo, 2009-2011, Agro ciencia Uruguay - Volumen 16 2:92-102.Uruguay, pp.46-101.
- González, A., Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada, 2001-2002, Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural Agrario y Alimentario (IMIDRA), Madrid, España, 111-116.
- Govaerts, B., Verhulst, N., Ponce, M.F., Sensor portátil GreenSeeker para la Medición del Índice Diferencial de Vegetación Normalizado: Una

- herramienta para la evaluación integral de las prácticas agronómicas., 2010, México, DF, CIMMYT.
- Guiamet, J.J, La senescencia foliar: incógnitas del desmantelamiento celular, 2004, Instituto de Fisiología Vegetal, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Gutiérrez. M.V., Cadet, P. E., Werner R.M., Araya, A. J.M. El Greenseeker y el Diagnóstico del Estado de Salud de los Cultivos. Octubre 2011, Agronomía Mesoamericana, Universidad de Costa Rica.
- Magalhaes P.C, Vasconcelos C.A, Gilson, V.E. Pitta y Vera M.C. Alves Embraga, Maíz y sorgo-Núcleo de Estrés Abiótico y Relación Suelo-Agua y Planta, 2005-Sete Lagoas, MG-Brasil.
- Márquez S.F.,Sahagún C., Barrera G,L., Nuevo método de mejoramiento genético para resistencia a sequía en maíz, Revista de Geografía Agrícola, Núm. 42, enero-junio, 2009, pp. 9-14, universidad Autónoma de Chapingo.
- Martínez,M,J., Galantini, A.J., Landriscini, R.M.,Duval M, MEDIDOR DE CLOROFILA: Una nueva tecnología para el diagnóstico de la nutrición nitrogenada de los cultivos,2000, Congreso Argentino Ciencia del Suelo. III-24.
- Mirassón H.R., Faraldo M.L., Fioretti M.N., Miravalles M., Bredan R.E. Relaciones entre el índice de verdor y el nivel hídrico foliar en trigo con diferentes sistemas de labranza, 2007-2008, Revista Internacional de Botánica Experimental , Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa, Argentina.
- Moreno F, P, L., Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico, 2008, Agronomía Colombiana, Bogotá, Colombia.pp.50.
- Naser, M. A., Khosla R., Longchamps ,L., Moragues, M., Haley ,S. CAN Active Sensor Based NDVI Consistently Classify Wheat Genotypes? 2009-2010, Northeastern Colorado.PP.7.
- Naveda A,F.,Lozano,V.S.G.C., Rooney, W.L.,Sáenz,O,E.,García,Z.F., Díez,A.G.,Badillo,V.M, Rendimiento de grano en líneas de sorgo cultivadas bajo riego y riego limitado en Texas, 2011,Revista internacional de botánica experimental,Texas,USA.
- Novoa R, Villagran A. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. 2002. Agricultura Técnica 62 (1):165-17
- Ocon P.P. Utilización el clorofilometro SPAD 502 para diagnosticar la deficiencia de nitrógeno en sorgo (*Sorghum bicolor* L Moench) bajo distintas dosis de nitrógeno (tesis), 2008, Managua, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional Agraria. 55 p.

- Pernía, B., Sosa, D., Sosa, M., Infante, D., Estudio anatómico y bioquímico en materiales cubanos y venezolanos de *Phaseolus vulgaris* L. bajo condiciones de estrés hídrico RET, enero-junio, 2010, Revista de Estudios Transdisciplinarios, vol. 2, núm. 1, Fundación Instituto de Estudios Avanzados Venezuela, pp. 89-99.
- Rivas, R., Ocampo, D. Carmona, F., Modelo de predicción de rendimiento de trigo a partir de NDVI: aplicación en el contexto de la agricultura de precisión, 2010, Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Buenos Aires, Argentina.
- Rodolfo, O.V., Estudio de los mecanismos involucrados en la tolerancia al estrés
- Rozas, S, H., Echeverría, H. E., 1998. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. Rev. Fac. Agron., La Plata 103 (1):37-44.
- Ruiz, S.J., Solorio, O.A.C., Gutiérrez, I.F., Haller, V.V., Sitios de ocurrencia y predicción de rendimientos de maíz a través de índices de vegetación de imágenes de satélite, Terra Latinoamericana, enero-marzo, 2000, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. México, vol. 18, núm. 1, pp. 27-34.
- Sainz R.H, Echeverria H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento del grano. 1998. Revista de la Facultad de Agronomía 103(1):37-44
- Salinas M. Y., Gonzales. H., V.A, Potencial hídrico y ácido abscisico en hoja, jilote, y espiga de maíz sometidos a sequía. Agricultura Técnica en México, Julio-diciembre, 2002, Vol.29, número 002, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas y Pecuarias, Texcoco, Mexico, pp.131-143.
- Shaver, T. M., Khosla, R., Westfall, D. G., Evaluation of two crop canopy sensors for nitrogen variability determination in irrigated maize, 2006, Departamento of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska-Lincoln, Colorado, USA.
- Viña, A., Gitelson, A.A., Rundquist, D.C., Keydan, G.P., Leavitt, B. Monitoring Maize (*Zea mays* L.) Phenology with Remote Sensing, 2004, University of Nebraska - Lincoln Pp. 264.
- Zarco P.E., Gonzales. H., V.A., López P, M.C y Salinas M. Y., Marcadores Fisiológicos de la Tolerancia a Sequia en Maíz (*Zea mays* L.) 2004, Fisiología Vegetal. Campus Montecillo. Montecillo, Estado de México.
- Zúñiga, P. D., Ferreyra, A., Portillo, J., y López de Sabando, M.J., Predicción de Zonas de Productividad de Maíz Mediante Índice de Verdor de Cultivos Anteriores, 2010, INTA, Pasteur partido de Lincoln Buenos Aires, Argentina.