

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA



COMPARACIÓN ENTRE NDVI, SENECENCIA, SPAD EN MAÍZ (*Zea mays L.*) EVALUADOS EN  
CONDICIONES DE RIEGO-SEQUÍA

POR  
JOSÉ ÁNGEL RAMÍREZ GARCÍA

TÉSIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TÍTULO DE TESIS

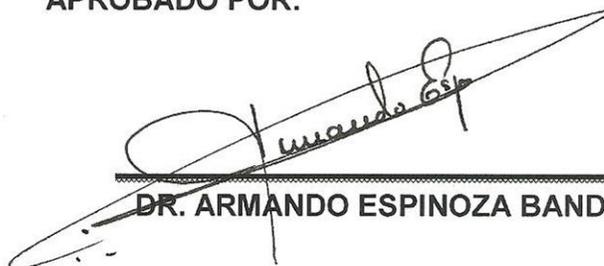
COMPARACIÓN ENTRE NDVI, SENECENCIA, SPAD EN MAÍZ (*Zea mays L*) EVALUADOS EN  
CONDICIONES DE RIEGO-SEQUÍA

POR:

JOSÉ ÁNGEL RAMÍREZ GARCÍA

APROBADO POR:

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. ARMANDO ESPINOZA BANDA

ASESOR:

  
DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

ASESOR:

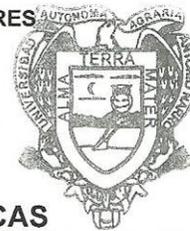
  
M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRIGUEZ

ASESOR:

  
ING: ENRIQUE LEOPOLDO HERNANDEZ TORRES

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. JOSÉ ÁNGEL RAMÍREZ GARCÍA 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

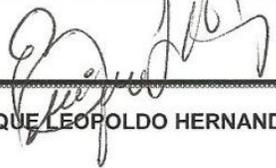
VOCAL:

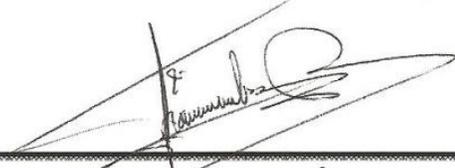
  
DRA. ORALIA ANTUNA GRIJALVA

VOCAL:

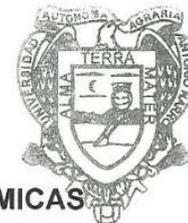
  
M.C. JOSÉ LUIS COYAC RODRIGUEZ

VOCAL:

  
ING: ENRIQUE LEOPOLDO HERNANDEZ TORRES

  
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 mi padre DIOS todo poderoso que me ha dado la dicha de darme la vida y la oportunidad de terminar mis estudios. A ti Virgensita de Guadalupe que siempre me has acompañado en todo momento.*

*Es grato expresar mis agradecimientos a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con aprecio y respeto por darme la oportunidad de realizar mis estudios profesionales dentro de sus instalaciones y culminar el sueño de ser un profesionalista.*

*Al Dr. Armando Espinoza Banda. Por todos los consejos en el transcurso de mi estancia en la universidad, por ser más que un gran maestro un gran amigo, gracias por todo su apoyo.*

*Al Ing. Heriberto Quirarte Ramírez. Por todo su apoyo al ayudarme a culminar esta investigación, por asumir esta gran responsabilidad, por todos los consejos, regaños y enseñanzas que me hicieron una mejor persona.*

*Al MC. José Luis Coyac Rodríguez por su gran apoyo que me brindo para correr los datos de esta investigación.*

## DEDICATORIAS

*A mis padres,*

*A mi Hermosa madre Concepción García Hernández*

*Mi Padre querido Aurelio Ramírez Aguilar*

*Por haberme regalado la vida, gracias por sus apoyo incondicional, por educarme de la manera más correcta, por siempre Creer en mí, gracias a ustedes he valorado la vida siempre serán fuente de inspiración en todo momento.*

*A mis hermanos:*

*Alonso Ramírez García*

*Reyna Patricia Ramírez García*

*Ármin Ramírez García*

*Raúl Ramírez García*

*Yolanda Ramírez García*

*Gracias a por compartir todos los momentos maravillosos que me ha regalado la vida, por su cariño y confianza en especial a ti mi hermano del alma mi gemelo Alonso por cuidarme en todo momento, por todos tus consejos y apoyo incondicional eres el regalo más grande que me ha dado la vida.*

*A toda mi familia RAMIREZ GRACIA.*

## *A mis amigos*

*María Castro Ramírez*

*Cesar Ceniceros Chaves*

*EbilJosias Gonzales Roblero*

*Joel Ramírez Leónides*

*Heriberto López Sierra*

*Eliza Lizbeth Pérez Morales*

*Axel Marroquín López*

*Por compartir de sus amistades durante mis estudios profesionales, ya que con ustedes pude convivir estos 4 años y medio de vida de la cual solo quedan recuerdos de los años de convivencia porque cada uno de nosotros tenemos diferentes caminos que tomar y gracias por su gran amistad, compañía y atención en todos esos momentos cuando más los necesite. En especial a ti Mari por tu apoyo, comprensión por siempre estar ahí y nunca poner un pretexto para no verme, por tu cariño siempre me demostraste que eres una gran persona a la que admiro y quiero demasiado., a ti Cesar por acompañarme todo momento y jamás me abandonaste.*

## RESUMEN

Con el objeto de conocer la relación existente Conocer la relación existente entre las lecturas de las unidades SPAD con el Índice de Verdor (NDVI) y la senescencia de los ensayos sometidos e riego normal y reducido, 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. 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. Las variables se correlacionaron entre ellas mismas. Para cada caso se elaboró una gráfica de dispersión y la línea de tendencia. Los resultados permiten establecer que la relación 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. En tanto para riego deficitario se observó la relación entre estas dos variables, la cual se incrementó en la etapa reproductiva. La senescencia al estar sometido 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, *NDVI*, *SPAD*, *enrollamiento*, *Senescencia*.

## INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	I
<i>DEDICATORIAS</i> .....	II
RESUMEN .....	IV
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
1.1    Objetivos .....	4
1.2    Hipótesis General.....	4
1.2.1    Hipótesis Específicas.....	4
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
2.1    Sequia.....	6
2.1.1    Resistencia a sequia .....	6
2.1.2    Stress de alta temperatura .....	7
2.1.3    Mejoramiento genético para tolerancias a altas temperaturas .....	8
2.2.    Medición de nitrógeno en la hoja de maíz .....	9
2.2.1    Disponibilidad de N (ND).....	10
2.2.2    Influencia del N en la fotosíntesis del cultivo .....	10
2.2.3    Influencia del N en el crecimiento radical .....	11
2.3    NDVI (Índice Normalizado Diferencial de Vegetación) .....	11
2.3.1    Funcionamiento del NDVI .....	12
2.3.2    Índice de área foliar (LAI) .....	13
2.4    Senescencia y muerte celular programada.....	13
<b>III. MATERIALES Y METODOS</b> .....	15
3.1.    Localización geográfica y características del área de estudio .....	15
3.2.    Material biológico .....	15
3.3.    Diseño experimental .....	21
3.4    Manejo agronómico .....	21
3.4.1.    Preparación del terreno .....	21
3.4.2.    Siembra.....	21
3.4.3.    Instalación del sistema de riego .....	21

3.4.3. Aclareo de plantas.....	22
3.4.4. Fertilización .....	22
3.4.5. Riegos .....	23
3.4.6. Control de plagas .....	24
3.4.7. Control de maleza .....	24
3.5. Variables determinadas .....	25
3.6.1. Estimación de la cobertura vegetal (NDVI) .....	25
3.6.2. Contenido de clorofila (SPAD) .....	26
3.6.3. Enrollamiento foliar.....	27
3.6.4. Senescencia.....	27
3.6.5. Cosecha .....	28
3.6.6. Rendimiento de grano .....	28
3.6.7. Análisis de datos .....	28
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>29</b>
4.1. Relación entre NDVI a los 20 DDS y SPAD a los 76, 91 y 105 en la condición de riego normal.....	29
4.2. Relación entre los valores de NDVI a los 74 DDS con las unidades SPAD a los 76, 91 y 105 en la condición de riego normal. ....	32
4.3. Correlación de NDVI a los 20 DDS con Senescencia a los 73, 87 y 115 DDS en condiciones de riego normal.....	34
4.4 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012 .....	36
4.5. Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores SPAD a los 73,91 y 105 DDS en riego deficitario.....	39
4.6 Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores Senescencia a los 73,87 y 115 DDS en riego deficitario .....	41
4.7 Correlación entre NDVI a los 74 DDS con los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego deficitario.....	43
4.8 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego deficitario.....	45
<b>V. CONCLUSION .....</b>	<b>47</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFIA CITADA.....</b>	<b>48</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 3.1** Presentación de los 400 genotipos evaluados en las dos condiciones riego normal-restringido, 2012..... 16

**Cuadro 3.2.** Número de riegos, fechas de aplicación y lamina de riego a los 400 genotipos evaluados en las dos condiciones riego normal-restringido, 2012.....23

**Cuadro 3.3.** Control de plagas, dosis de aplicación, nombre del producto utilizado, fecha de aplicación en los en ensayos de riego normal-sequia.....24

## INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Correlación entre NDVI y los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012.....31

Figura 4.2 Correlación entre NDVI a los 74 DDS y los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012.....33

Figura 4.3 Correlación de NDVI a los 20 DDS con Senescencia a los 73, 87 y 115 DDS en condiciones de riego normal. UAAAN- UL 2012.....35

Figura 4.4 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012. . UAAAN- UL 2012.....38

Figura 4.5. Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores SPAD a los 73,91 y 105 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.....40

Figura 4.6 Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores Senescencia a los 73,87 y 115 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.....42

Figura 4.7 Correlación entre NDVI a los 74 DDS con los valores SPAD a los 76 ,91 y 105 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.....44

Figura 4.8 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.....46

## I.INTRODUCCION

El maíz, *Zea mays L.*, es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenecen a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Mydeas, y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del genero *Zea*, comúnmente llamadas teosinte y las especies del genero *Tripsacum* conocidas como arrocillo.

Este cultivo se adapta a una amplia variedad de zonas geográficas pero el potencial de rendimiento está estrechamente relacionado con la cantidad de agua disponible debido que es un factor clave que afecta el rendimiento y su regularidad. El maíz es especialmente sensible al stress por sequía durante la etapa de florecimiento, aparición de la panoja y la barba y el llenado temprano de los granos.

Debido a la sequía se puede reducir la rentabilidad de la producción de maíz, aún en zonas que normalmente reciben una cantidad adecuada de lluvia. De modo que para muchos productores de maíz, una mejora en la capacidad de la planta de soportar el stress por falta de agua produciría rindes más estables y rentables.

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 absorción 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).

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.

El contenido de clorofila en la hoja de maíz esta estrecha y positivamente relacionado a la concentración de nitrógeno (N) en la hoja y, por lo tanto, refleja la condición nitrogenada del cultivo. 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. (Salisbury, 1992)

El Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) ha sido correlacionado con numerosas variables como: la deficiencia de nutrientes en los cultivos, el rendimiento de cereales de grano pequeño y el estrés hídrico prolongado de las plantas. Sin embargo, más que reflejar el efecto de un solo parámetro, el NDVI tiene que ser considerado como una medida del crecimiento integral de la planta, incluyendo factores que intervienen en dicho crecimiento. Es probable que las características físicas detectadas por medio del índice estén relacionadas con propiedades que determinan la densidad del follaje (por ejemplo, la superficie foliar o el porcentaje de cobertura) o con la biomasa total.

La Senescencia foliar es la última etapa del desarrollo de la hoja, se caracteriza por una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales.

Las hojas pierden gradualmente clorofila, se desorganiza la maquinaria fotosintética y se reciclan los productos de degradación de las macromoléculas hacia otras partes en crecimiento (hojas jóvenes, flores, frutos). Se conoce poco acerca de la relación entre la senescencia foliar y proceso del llenado del grano de maíz. (Barneix, 2005).

CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) en colaboración con la UAAAN-UL están trabajando en el mejoramiento del maíz mediante variables fisiológicas como (NDVI, SPAD Y ENROLLAMIENTO) la importancia de medir la clorofila, senescencia y NDVI se basa principalmente en la intercepción de la luz, duración del área foliar que dependerá del genotipo, fotoperiodo, temperatura y condiciones del cultivo. (Bolaños y Edmeades, 1993).

## 1.1 Objetivos

Conocer la relación existente entre las lecturas de las unidades SPAD con el Índice de Verdor (NDVI) y la senescencia de los ensayos sometidos a riego normal y reducido.

## 1.2 Hipótesis General

**H0:** Las variables NDVI, SPAD y la Senescencia están estrechamente relacionadas en los diferentes muestreos.

**Ha:** No existe ninguna relación entre las variables NDVI, SPAD y Senescencia.

### 1.2.1 Hipótesis Específicas

**H01:** La relación entre el Índice de verdor o NDVI con las unidades SPAD es positiva, en tanto que con Senescencia es negativa.

**Ha1:** No existe relación entre NDVI y SPAD, así como entre SPAD y Senescencia.

**H02:** La relación entre las unidades SPAD con Senescencia es negativa.

**Ha2:** No existe ninguna relación entre las unidades SPAD y Senescencia.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

Dos razones principales que explican el escaso éxito obtenido en el mejoramiento basado en caracteres fisiológicos simples. A menudo los caracteres usados como criterio de selección observada se identifican en base a una correlación observada en los rendimientos de grano entre un número limitado de cultivares que tiene valores extremos de un carácter pueden diferir en muchas otras características importantes de modo que sus estrategias frente al estrés son bastante diferentes.

En este caso la selección para un carácter simple en una población uniforme en mejoramiento puede no tener efecto o puede tener un impacto negativo sobre el rendimiento a causa de que tal carácter es efectivo para la tolerancia al estrés solo cuando ocurre en combinación con muchas otras adaptaciones. En el segundo lugar, nuestra concepción fisiológica del rendimiento es aún bastante imperfecta.

La importancia relativa de cualquier carácter medido en un momento específico del crecimiento en el ciclo del cultivo no ha sido, en general, cuantificado. En el maíz en zonas templadas parecería que la tolerancia general al estrés, o la capacidad de la planta para ajustarse a condiciones ambientales no óptimas, es el resultado acumulativo de muchas pequeñas diferencias difíciles de medir individualmente (Tollenaar, McCulloch y Dwyer, 1993)

## **2.1 Sequia**

Es un fenómeno natural cuyas características tienen gran variación de un espacio geográfico a otros y puede tener un carácter local o regional a la vez. Se considera como un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial, que provoca que el agua disponible sea suficiente para satisfacer las distintas necesidades y de los ecosistemas, durante un tiempo y en una zona determinados.

La sequía agrícola es ocasionada por un déficit marcado y permanente de lluvia que reduce la producción agrícola con relación a la considerada como normal a los valores esperados para una región dada. Para algunos especialistas, el déficit humedad en el suelo y sobre la producción vegetal- agricultura y pastizales en ganadera es como frecuentemente denominado como sequia edáfica. (Bootsmaet *al.*, 1996; Barakt y Handoufe, 1998).

### **2.1.1 Resistencia a sequia**

Se refiere a la posesión de características morfológicas y/o fisiológicas permitiendo a la planta aguantar la sequía y a veces el calor intenso y la radiación así como los vientos violentos, los daños por tormentas de arena. Dentro de las características Xerofíticas morfológicas y fisiológicas hay que incluir:

- a) Achicamiento de las células (incluso la de los estomas)
- b) Aumento de espesor de las paredes celulares

c) Desarrollo acentuado del meso filo empalizada

Aumento del número de los estomas y de los haces vasculares. (Oppenheimer, 1961).

### **2.1.2 Stress de alta temperatura**

En las plantas la evasión de calor está asociada con la evasión de stress hídrico. La carga de calor se incrementa y la temperatura foliar sube por arriba de la ambiental cuando la transpiración es limitada por stress hídrico (Levitt, 1980). Los mecanismos de evasión de calor aquí consisten en reducir la radiación sobre el cultivo (color de hoja, ángulo de exposición, tamaño de hojas, movimientos foliares para evitar la radiación, etc.).

La alta temperatura también confunde el efecto del stress hídrico, ya que incrementa exponencialmente la demanda evaporativa del ambiente. Las respuestas fisiológicas, morfológicas y agronómicas del cultivo al stress de las temperaturas son bastante similares al stress hídrico, enrollamiento de las hojas, déficit hídrico, muerte y desecación foliar, pérdida y senectud foliar, cerramiento de estomas, etc. (Levitt, 1980; Blum, 1985).

Los efectos de alta temperatura pueden ser fatales desde el punto de vista agronómico si ocurre durante el periodo crítico de la floración en maíz. La polinización y fertilización son fuertemente afectadas por altas temperaturas. Altas

temperaturas causan esterilidad del polen, anteras que no abren, polen que rápidamente muere y el bien conocido “fogueo de espigas” (tassel-blasting).

Los estigmas también se desecan rápidamente, haciendo que la fertilización y el número de granos por mazorca sea negativamente afectado (Lonquist and Jugenheimer, 1943; Tatum and Kehr, 1951; Pearson and Hall, 1984). Sin embargo, todavía no está claro si la pérdida de viabilidad de polen es causada por altas temperaturas o por baja humedad relativa (alta demanda evaporativa)

Así mismo, el maíz tiene una temperatura óptima para la fotosíntesis cerca de los 30 – 40 grados C (Fisher and Palmer, 1984). Temperaturas ambientales en exceso de este óptimo reducen la fotosíntesis por la planta, teniendo un impacto directo en la productividad. Si las temperaturas suben en exceso de 45 grados Centígrados, los efectos sobre el aparato fotosintético pueden ser irreversibles. (Berry and Raison, 1981).

### **2.1.3 Mejoramiento genético para tolerancias a altas temperaturas**

La selección de genotipos superiores en resistencia a exceso de calor requiere la aplicación de una cantidad definida y predeterminada de calor en cierto estado de desarrollo del cultivo. (Blum, 1985).

La selección de genotipos superiores superiores en resistencia a exceso de calor requiere a la aplicación de una cantidad definida y predeterminada de calor en

cierto estado de desarrollo del cultivo. Se han usado extensivamente la evaluación de tolerancia a calor y sequia por un test de pérdida de electrolitos de discos de tejido foliar después de expuesto a un tratamiento de stress severo. (Sullivan and Ross, 1983)

## **2.2. Medición de nitrógeno en la hoja de maíz**

El sensor de nitrógeno mide la biomasa y el contenido de clorofila de las plantas a medida que el vehículo pasa por el lote, usando luz infrarroja. Con esta información, una computadora calcula la cantidad de N que la planta necesita para el llenado de granos con alto contenido de proteínas. A su vez, esta información es fertilizadora, que varía la dosis de aplicación de N de acuerdo al nivel óptimo.

El nitrógeno es quizás el más importante de los nutrientes esenciales para las plantas, debido a las elevadas cantidades en que se es demandado durante el crecimiento de los cultivos, a que habitualmente es deficitario en los suelos agrícolas y a la creciente preocupación por la perseverancia del ambiente.

Las plantas contienen entre 1 a 5 % de N; y cuando este elemento se encuentra en deficiencia las hojas cambian su coloración mostrando tonos verdes menos intensos o amarillentos; llegando a necrosarse desde el ápice en condiciones agudas deficiencias. Estos cambios de coloración modifican el patrón de reflectancia de la canopia, lo que ha servido de base para el desarrollo de diversas técnicas de monitoreo del estado de nutrición nitrogenado, con herramientas que incluyen desde

elementos portables, hasta sensores remotos montados. El N- sensor, dispositivo capaz de determinar el requerimiento de N para un cultivo a través de mediciones de la luz reflejada por la canopia y de realizar prescripciones en tiempo real con el fin de optimiza la aplicación de fertilizantes. (Bongiovanni. 2006)

### **2.2.1 Disponibilidad de N (ND)**

La mayor parte (de 95 a 99 %) del N en una parcela no está disponible fácilmente para las plantas debido a que está fijado a la materia orgánica en el suelo. El N en el suelo está disponible para las plantas no leguminosas en forma de nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y también iones de amonio ( $\text{NH}_4$ ). A esta reserva de nitrato y amonio generalmente se le denomina "N mineral". La cantidad de N mineral se incrementa por efecto de la mineralización de la materia orgánica en suelos, la fertilización, la liberación de iones de amonio presentes en los minerales arcillosos y, en menor grado, por la lluvia. (Perrello, 2005)

### **2.2.2 Influencia del N en la fotosíntesis del cultivo**

El estrés por deficiencia de N reduce la fotosíntesis que realiza el cultivo porque reduce el desarrollo del área foliar y la tasa fotosintética foliar, y porque acelera la senescencia de las hojas. Cerca del 50% de todo el N presente en las hojas participa directamente en la fotosíntesis, ya sea como enzimas o como clorofila. Cuando hay fotosaturación, las todas fotosintéticas muestran una fuerte dependencia de contenido de N en las hojas, lo que resulta en una relación curvilínea

entre el uso eficiente de la radiación y el contenido foliar de N, que indica que en el maíz hay saturación a un nivel de cerca de 2% de contenido de N en las hojas. Cuando escasea el N, las plantas lo trasladan de los tejidos más viejos (hojas, tallos) a los más jóvenes (hojas, granos), y cuando esto provoca la senescencia precoz de los tejidos foliares más viejos y más bajos.

### **2.2.3 Influencia del N en el crecimiento radical**

En condiciones de estrés por deficiencia de N, las plantas favorecen el crecimiento radical más que el crecimiento aéreo y, en consecuencia, la proporción raíz: planta aumenta. No obstante, la cantidad, la cantidad absoluta de raíces suele ser menos en plantas que padecen estrés por falta de N que las siembran con una fertilización de N normal. (Taiz, 2006)

### **2.3 NDVI (Índice Normalizado Diferencial de Vegetación)**

En la percepción remota 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.

El NDVI se utiliza ampliamente para mejorar la discriminación de cubiertas vegetales, medir el vigor de las plantas y la producción de la biomasa. El peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación, relacionado con la actividad

fotosintética y la estructura foliar de las plantas, permiten determinar si la vegetación se encuentra sana o si tiene algún grado de estrés. (SINAVEF 2013).

La reflectancia espectral del cultivo realizada por sensores remotos está correlacionada con el rendimiento y en trigo estas determinaciones efectuadas durante el macollaje han permitido predecir las necesidades de aplicación de N en cobertura (Raunet *al.* 2001).

### **2.3.1 Funcionamiento del NDVI**

Los valores del NDVI están en función de la energía absorbido o reflejada por las plantas en diversas partes del espectro electromagnético. La respuesta espectral que tiene la vegetación sana, muestra un claro contraste entre el espectro del visible, especialmente de la banda roja, y el infrarrojo Cercano (IRC). Mientras que en el visible los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, en el IRC, las paredes de las células de las hojas, que se encuentran llenas de agua, reflejan la mayor cantidad de energía. (SINAVEF 2013).

En contraste, cuando la vegetación sufre algún tipo de estrés, ya sea por la presencia de plagas o por sequía, la cantidad de agua disminuye en las paredes celulares por lo que la reflectividad disminuye el IRC y aumenta paralelamente en el rojo al tener menor absorción clorofílica. Esta diferencia en la respuesta espectral

permite separar con relativa facilidad la vegetación sana de otras cubiertas.(Garner, 1990).

### **2.3.2 Índice de área foliar (LAI)**

El índice de área foliar (LAI) se define como el cociente entre el total del área de las hojas verdes (considerando la cara superior solamente) y el área del suelo donde estas plantas crecen. Las unidades en que se expresan son  $m^2$  de área de hojas por  $m^2$  de suelo. Los valores de LAI difieren de unos cultivos a otros, pero valores de 3 a 5 son comunes en cultivos que cubren el suelo en su fase de máximo desarrollo. Para un cultivo dado LAI cambia a lo largo de su desarrollo, y normalmente alcanza un máximo en la fase de floración. Como la radiación solar incide en un mismo instante y por unidad de área es la misma en un punto a otro en el tamaño de una parcela, el LAI tiene el sentido físico de una medida aproximada de la superficie foliar verde por unidad de radiación disponible (Garner, 1990).

### **2.4 Senescencia y muerte celular programada**

La senescencia es un proceso diferente a la necrosis, aunque las dos conducen a la muerte. La necrosis es la muerte debida a daños físicos, venenos u otras heridas externas. Por el contrario, la senescencia es un proceso normal de

desarrollo, dependiente de energía, que está controlado por el propio programa genético de la planta. Las hojas están genéticamente programadas para morir, y su senescencia se puede iniciar por factores ambientales.

Como las hojas nuevas se inician desde el meristemo apical del brote, las hojas más viejas están sombreadas y pierden la capacidad para funcionar eficientemente en la fotosíntesis. La senescencia recupera una parte de las nuevas fuentes valiosas que la planta ha invertido en la formación de la hoja. Durante la senescencia, los enzimas hidrolíticos degradan muchas proteínas celulares, carbohidratos y ácidos nucleicos. Sus componentes, azúcares, nucleótidos y aminoácidos, son entonces recuperados por la planta a través del floema, donde serán utilizados en procesos sintéticos. Muchos minerales son también transportados desde los órganos senescentes de vuelta al cuerpo principal de la planta. (Pennell 1997).

### **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 km<sup>2</sup>.

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**

Se utilizaron 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.

**Cuadro 3.1** Presentación de los 400 genotipos evaluados en las dos condiciones riego normal-restringido, 2012.

N° De Genotipos	Genealogía	N° De Genotipos	Genealogía
1	P3055W	40	(CML451/CML486)/OAXA331_5980
2	(CML451/CML486)/SINA51_7158	41	(CML451/CML486)/OAXA532_25295
3	(CML451/CML486)/GUAT288_5245	42	(CML451/CML486)/BRVI139_5419
4	(CML269/CML264)/MICH337_8073	43	(CML451/CML486)/CAMP37_23152
5	(CML269/CML264)/OAXA230_5841	44	P4082W
6	(CML269/CML264)/TAMA49_17939	45	(CML269/CML264)/OAXA181_13924
7	(CML269/CML264)/URUG696_6357	46	(CML269/CML264)/SONO43_632
8	H431	47	(CML269/CML264)/URUG660_6713
9	(CML495/CML494)/BRAZSC016_22023	48	(CML495/CML494)/BRAZ1103_9537
10	(CML495/CML494)/CHISGP15_799	49	(CML495/CML494)/BRAZPR019_27166
11	(CML495/CML494)/GUERGP32_58	50	(CML495/CML494)/CHIS239_4020
12	(CML495/CML494)/PUEB768_19829	51	H431
13	(CML373/CML311)/CHIS441_23174	52	(CML495/CML494)/PANA180_3856
14	(CML451/CML486)/ARCEGP6_27136	53	(CML373/CML311)/CHIS384_20415
15	P4082W	54	P3055W
16	(CML451/CML486)/COMPOSPARAR_26380	55	(CML451/CML486)/BRAZ2935_2893
17	(CML451/CML486)/MORE154_13305	56	(CML451/CML486)/COLORAPERGAM_26377
18	(CML451/CML486)/PERU374_8916	57	(CML451/CML486)/MORE13_2241
19	(CML451/CML486)/URUG180_6466	58	BISONTE
20	(CML451/CML486)/ZACA9_1911	59	(CML451/CML486)/URUG148_6453
21	P3055W	60	(CML451/CML486)/VERA48_704
22	(CML451/CML486)/URUG157_6455	61	(CML451/CML486)/VERA413_25078
23	(CML451/CML486)/PEPENOSMC1_5675	62	(CML451/CML486)/URUG14_6424
24	(CML451/CML486)/MORE152_23742	63	(CML451/CML486)/OAXAGP21_118
25	(CML451/CML486)/COMPOSINDIGE_26374	64	(CML451/CML486)/MORE101_2032
26	(CML451/CML486)/BRAZ3067_3015	65	H431
27	(CML451/CML486)/APVRPEVII_26442	66	(CML451/CML486)/BRAZ244_9774
28	P4082W	67	(CML373/CML311)/VENE922_9999
29	(CML495/CML494)/PUEB297_18559	68	(CML373/CML311)/CHIH71_2179
30	(CML495/CML494)/GUATGP17-5A_1178	69	(CML495/CML494)/PANA172_3850
31	(CML495/CML494)/CHIS274_20433	70	(CML495/CML494)/GUAT1150_27643
32	(CML495/CML494)/BRAZSC012_22021	71	(CML495/CML494)/CHIS211B_14111
33	(CML495/CML494)/BRAZ1140_9574	72	P4082W
34	(CML269/CML264)/URUG679_6565	73	(CML495/CML494)/BRAZ1093_9527
35	H431	74	(CML269/CML264)/URUG655_6558
36	(CML269/CML264)/OAXA227_5943	75	(CML269/CML264)/SNLP80_659
37	(CML269/CML264)/MICH21_1872	76	(CML269/CML264)/NICA108_3749
38	(CML451/CML486)/NAYA241_7089	77	(CML269/CML264)/MICH189_13496
39	(CML451/CML486)/OAXA264_5962	78	(CML451/CML486)/SALV59_3612

<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>	<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>
79	P3055W	123	BISONTE
80	(CML451/CML486)/VENE583_9847	124	(CML269/CML264)/MEXI227_27118
85	(CML269/CML264)/NAYAGP6_365	125	(CML269/CML264)/NAYA59_627
86	(CML269/CML264)/QUER44_545	126	(CML269/CML264)/PUEBGP1_70
87	P3055W	127	(CML269/CML264)/URUG546_6505
88	(CML495/CML494)/BERMELHO_15419	128	(CML269/CML264)/ZACA7_1910
89	(CML495/CML494)/BRAZPE005_14180	129	(CML495/CML494)/BRAZ94_2726
90	(CML495/CML494)/CHIS129_15961	130	H431
91	(CML495/CML494)/FLINTCSRR_26401	131	(CML495/CML494)/ESALQVF1_26435
92	(CML495/CML494)/PANA166_3846	132	(CML495/CML494)/PANA127_3818
93	(CML373/CML311)/BRAZMG055_25944	133	(CML495/CML494)/VERA593_14074
94	BISONTE	134	(CML373/CML311)/SNLPGP1_29495
95	(CML451/CML486)/BRAZ2429_5114	135	(CML451/CML486)/BRAZ2408_5096
96	(CML451/CML486)/COAH67_668	136	(CML451/CML486)/CHZMSI690_18735
97	(CML451/CML486)/JALI236_328	137	P3055W
98	(CML451/CML486)/OAXA899_23595	138	(CML451/CML486)/OAXA319_5977
99	(CML451/CML486)/URUG1205_10104	139	(CML451/CML486)/URUG1184_10098
100	(CML451/CML486)/VERA391_13349	140	(CML451/CML486)/VENE543_10132
101	(CML451/CML486)/VERA119_685	141	(CML451/CML486)/URUGGP5A_26388
102	P4082W	142	(CML451/CML486)/URUG115_6446
103	(CML451/CML486)/OAXA501_23529	143	(CML451/CML486)/OAXA231_5842
104	(CML451/CML486)/JALI227_16337	144	(CML451/CML486)/JALI218_2223
105	(CML451/CML486)/COAH30_23874	145	(CML451/CML486)/CHIS558_25022
106	(CML451/CML486)/BRAZ241_9771	146	H431
107	(CML373/CML311)/SNLPGP1_662	147	(CML373/CML311)/PANA177_3853
108	(CML495/CML494)/VERDEPEA1_26447	148	(CML495/CML494)/VENE905_11287
109	BISONTE	149	(CML495/CML494)/OAXAGP7_104
110	(CML495/CML494)/FLINTCOMPOS_26349	150	(CML495/CML494)/DURA230_23661
111	(CML495/CML494)/CHIS119_15876	151	(CML495/CML494)/CHIHGP13_406
112	(CML495/CML494)/BRAZMG098_18323	152	(CML495/CML494)/BRAZ2963_2920
113	(CML495/CML494)/ARGE586_4096	153	P4082W
114	(CML269/CML264)/URUG632_6351	154	(CML269/CML264)/URUG373_6487
115	(CML269/CML264)/PUEBGP2_71	155	(CML269/CML264)/OAXA898_23594
116	H431	156	(CML269/CML264)/NAYA184_7059
117	(CML269/CML264)/MICH134_17844	157	(CML269/CML264)/MEXI227_2063
118	(CML451/CML486)/NAYA35_2252	158	(CML451/CML486)/SINA115_7221
119	(CML451/CML486)/GUAT114_5186	159	(CML373/CML311)/CHZM13096_15226
120	(CML451/CML486)/HOND133_875	160	P3055W
121	(CML451/CML486)/GUAT146_5197	161	(CML373/CML311)/VENE351_17103
122	(CML451/CML486)/GUAT220_5216	162	(CML373/CML311)/GUAD315_14898

<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>	<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>
163	(CML451/CML486)/NAYA136_25813	204	(CML269/CML264)/JALI214_13352
165	(CML269/CML264)/NAYA183_7058	205	(CML269/CML264)/MORE84_2015
166	P4082W	206	(CML269/CML264)/OAXA502_13930
167	(CML269/CML264)/URUG137_6632	207	(CML269/CML264)/URUG1208_6625
168	(CML269/CML264)/YUCA168_25032	208	(CML269/CML264)/VERA653_25017
169	(CML495/CML494)/BRAZ2811_2834	209	H431
170	(CML495/CML494)/CHIH68_397	210	(CML495/CML494)/CHIH43_396
171	(CML495/CML494)/DENTEPAULISTA_15469	211	(CML495/CML494)/DENTADCOMPOS_26347
172	(CML495/CML494)/OAXA613_13166	212	(CML495/CML494)/NAYA315_25292
173	BISONTE	213	(CML495/CML494)/VENE780_4046
174	(CML373/CML311)/MAYAXVI_25954	214	(CML373/CML311)/GUER233_18431
175	(CML451/CML486)/BRAZ2279_5052	215	(CML451/CML486)/BRAZ1228_9662
176	(CML451/CML486)/CHIS364_20444	216	P3055W
177	(CML451/CML486)/GUER334_21264	217	(CML451/CML486)/GUER260_16189
178	(CML451/CML486)/NAYA194_6957	218	(CML451/CML486)/NAYA186_7061
179	(CML451/CML486)/URUG105_3718	219	(CML451/CML486)/SNLPGP6_438
180	H431	220	(CML451/CML486)/URUG525_6495
181	(CML451/CML486)/URUG590_6371	221	(CML451/CML486)/URUG511_6490
182	(CML451/CML486)/TUXPENOINTERMEDIOPRE COZ_1896	222	(CML451/CML486)/SNLP63_436
183	P3055W	223	(CML451/CML486)/NAL_TEL_2594
184	(CML451/CML486)/GUER283_25321	224	(CML451/CML486)/GUER236_2082
185	(CML451/CML486)/CHIS234_1677	225	(CML451/CML486)/CHIS153_16283
186	(CML451/CML486)/BRAZ1235_9669	226	(CML451/CML486)/BRAZ1184_9618
187	(CML373/CML311)/HIDA19_13804	227	P3055W
188	(CML495/CML494)/VENE811_9954	228	(CML495/CML494)/URUGGP8_27206
189	(CML495/CML494)/OAXA612_13165	229	(CML495/CML494)/NAYA298_25279
190	P4082W	230	(CML495/CML494)/CUBAANTIBARSAN_1225
191	(CML495/CML494)/CHIH55_399	231	(CML495/CML494)/CHIH195_6811
192	(CML495/CML494)/BRAZ2467_8410	232	(CML495/CML494)/BRAZ236_9766
193	(CML269/CML264)/VERAGP47_495	233	(CML269/CML264)/VERA510_21269
194	(CML269/CML264)/URUG1223A_11627	234	P4082W
195	(CML269/CML264)/OAXA897_23593	235	(CML269/CML264)/OAXA398_7526
196	(CML269/CML264)/NAYA182_7057	236	(CML269/CML264)/MORE79_2010
197	BISONTE	237	(CML269/CML264)/HOND49_3652
198	(CML451/CML486)/CAMP48_23158	238	(CML451/CML486)/GUAT316_1069
199	(CML373/CML311)/GUER201_25067	239	(CML373/CML311)/ARZM13095_14620
200	(CML451/CML486)/NAYA156_7033	240	(CML451/CML486)/NAYA170_7046
201	(CML451/CML486)/OAXA53_17869	241	(CML451/CML486)/SINA14_7122
202	BISONTE	242	(CML373/CML311)/GUER246_25257
203	(CML451/CML486)/GUAD15_3890	243	(CML451/CML486)/GUER215_24349

<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>	<b>N° De Genotipos</b>	<b>Genealogía</b>
244	(CML451/CML486)/SALV97_3639	284	(CML451/CML486)/MICH164_175
245	P4082W	285	(CML269/CML264)/MORE100_2031
246	(CML269/CML264)/OAXA397_6113	286	(CML269/CML264)/OAXA379_6095
247	(CML269/CML264)/URUG1027_8009	287	(CML269/CML264)/TUXPENINTERMEDIO_2587
248	(CML269/CML264)/VERA470_19836	288	P3055W
249	(CML495/CML494)/BRAZ1281_9715	289	(CML495/CML494)/BRAZ1243_9677
250	(CML495/CML494)/CAMP28_2530	290	(CML495/CML494)/CAMP24_5834
251	(CML495/CML494)/CRIC72_3304	291	(CML495/CML494)/CRIC51_3291
252	P3055W	292	(CML495/CML494)/NAYA295_25821
253	(CML495/CML494)/SNLPGP7_439	293	(CML495/CML494)/SNLP366_29492
254	(CML373/CML311)/GUATGP2-1A_1148	294	(CML373/CML311)/GUAT148_1809
255	(CML451/CML486)/BRAZ1149_9583	295	BISONTE
256	(CML451/CML486)/CELAYAWAXYSMC2_9192	296	(CML451/CML486)/BRAZWP010_26392
257	(CML451/CML486)/GUER227_2042	297	(CML451/CML486)/GUAT1031_27539
258	(CML451/CML486)/MORE90_2021	298	(CML451/CML486)/MORE83_2014
259	BISONTE	299	(CML451/CML486)/SNLP38_17900
260	(CML451/CML486)/URUG503_10182	300	(CML451/CML486)/URUG325A_11563
261	(CML451/CML486)/URUG4_6421	301	P4082W
262	(CML451/CML486)/SNLP41_17902	302	(CML451/CML486)/SNLP23_2286
263	(CML451/CML486)/MORE85_2016	303	(CML451/CML486)/MORE77_15356
264	P4082W	304	(CML451/CML486)/GUAT1030_27538
265	(CML451/CML486)/CANARIDE8_27192	305	(CML451/CML486)/BRAZSE029_15456
266	(CML451/CML486)/BRAZ1121_9555	306	(CML451/CML486)/BRAZ1108_9542
267	(CML373/CML311)/GUAT481_8131	307	(CML373/CML311)/GUAN71_1652
268	(CML495/CML494)/SNLP70_424	308	P3055W
269	(CML495/CML494)/NAYA297_25278	309	(CML495/CML494)/MICH347_5598
270	(CML495/CML494)/CRIC62_3299	310	(CML495/CML494)/CRIC47_945
271	BISONTE	311	(CML495/CML494)/BRV1156_5432
272	(CML495/CML494)/BRAZ1265_9699	312	(CML495/CML494)/BRAZ1237_9671
273	(CML269/CML264)/VERA276_24350	313	(CML269/CML264)/VERA105_14046
274	(CML269/CML264)/TUXPENOSANVIBAG_1226	314	(CML269/CML264)/TUXPENOAMARILLO_1233
275	(CML269/CML264)/OAXA384_6096	315	BISONTE
276	(CML269/CML264)/MORE53_16360	316	(CML269/CML264)/MICHGP43_1622
277	(CML451/CML486)/ARZM01013_19224	317	(CML373/CML311)/OAXA173_125
278	H431	318	(CML373/CML311)/GUER315_13332
279	(CML373/CML311)/HOND97_882	319	(CML451/CML486)/GUAT256_8424
280	(CML451/CML486)/JALI395_25223	320	(CML451/CML486)/NAYA14_17857
281	P4082W	321	(CML451/CML486)/OAXA399_24747
282	(CML373/CML311)/SINA71_7178	322	(CML451/CML486)/HOND112_3696
283	(CML451/CML486)/HOND111_3695	323	(CML373/CML311)/NAYA48_1742

N° De Genotipos	Genealogía	N° De Genotipos	Genealogía
324	H431	364	(CML451/CML486)/VENE582_9846
325	(CML269/CML264)/MICH81_13888	365	(CML269/CML264)/MICH344_8078
326	(CML269/CML264)/OAXA342_6077	366	(CML269/CML264)/OAXA233_5843
327	(CML269/CML264)/TUXPEN0_1882	367	BISONTE
328	(CML269/CML264)/VENEM_113_17772	368	(CML269/CML264)/VALL418_3177
329	(CML495/CML494)/BRAZ1224_9658	369	(CML495/CML494)/BRAZ1221_9655
330	(CML495/CML494)/BRAZWP025_26366	370	(CML495/CML494)/BRAZWP003_26360
331	P3055W	371	(CML495/CML494)/COLI27_13329
332	(CML495/CML494)/JALI161_578	372	(CML495/CML494)/HIDA46_1919
333	(CML495/CML494)/SNLP200_25300	373	(CML495/CML494)/SINTETICOMEXICANOBLANCO_1046
334	(CML373/CML311)/DURA23_16306	374	H431
335	(CML451/CML486)/BR105VIII_25941	375	(CML451/CML486)/BOZM309_14318
336	(CML451/CML486)/BRAZSE013_19135	376	(CML451/CML486)/BRAZPE027_14193
337	(CML451/CML486)/DURAGP4_1625	377	(CML451/CML486)/CRIC52_3292
338	P4082W	378	(CML451/CML486)/MORE55_1986
339	(CML451/CML486)/SNLP22_437	379	(CML451/CML486)/PUEB209_88
340	(CML451/CML486)/URUG323_6636	380	(CML451/CML486)/URUG268_6635
341	(CML451/CML486)/URUG318_10162	381	(CML451/CML486)/URUG193_6471
342	(CML451/CML486)/SNLP21_17893	382	P3055W
343	(CML451/CML486)/MORE58_1989	383	(CML451/CML486)/MORE162_15971
344	(CML451/CML486)/CRISTALINODECHIHUAHUA_2605	384	(CML451/CML486)/CRIC304_3490
345	P4082W	385	(CML451/CML486)/BRAZPB010_14178
346	(CML451/CML486)/BOZM83_14227	386	(CML451/CML486)/BACS3A_17790
347	(CML373/CML311)/COAH83_18848	387	(CML373/CML311)/CHIS444_23206
348	(CML495/CML494)/SNLP143_23628	388	(CML495/CML494)/SANN347_3209
349	(CML495/CML494)/HIDAGP5_1927	389	H431
350	(CML495/CML494)/COMPUE_4022	390	(CML495/CML494)/COAH25_2125
351	(CML495/CML494)/BRAZWP012_26393	391	(CML495/CML494)/BRAZSE004_19133
352	BISONTE	392	(CML495/CML494)/BRAZ1148_9582
353	(CML269/CML264)/VANDENOPRECOZ_2600	393	(CML269/CML264)/URUG90_3714
354	(CML269/CML264)/TAMA95_25854	394	(CML269/CML264)/TAMA5_1948
355	(CML269/CML264)/OAXA317_5975	395	(CML269/CML264)/OAXA232_5946
356	(CML269/CML264)/MICH44_1462	396	BISONTE
357	(CML373/CML311)/OAXA89_117	397	(CML451/CML486)/GUERGP9_31
358	(CML373/CML311)/DURA107_7231	398	(CML451/CML486)/NAYA21_587
359	H431	399	(CML451/CML486)/GUAT105_1195
360	(CML451/CML486)/GUATGP21-14A_1897	400	(CML451/CML486)/HOND70_881
361	(CML451/CML486)/VENE678_9900		
362	(CML451/CML486)/GUAT91_5175		
363	(CML451/CML486)/GUAT86_5173		

### **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- ).

### 3.4.5. 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 cm<sup>3</sup>, mientras para el riego deficitario de 2.11 cm<sup>3</sup>. En la etapa de floración fue cuando a los genotipos se sometieron al estrés.

**Cuadro 3.2.** 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)	R. Deficitario(Lr)
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 3.3.**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 <sub>2</sub> 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 (*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.

### 3.4.7. 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 (Harneextra), 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 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.

### **3.6.2. 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 2, 4 y 6, 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 las variables fisiológicas NDVI, senescencia, contenido de clorofila (SPAD) en condiciones de riego normal y deficitario, se realizaron las correlaciones correspondientes los cuales se presentan a continuación.

### 4.1. Relación entre NDVI a los 20 DDS y SPAD a los 76, 91 y 105 en la condición de riego normal.

En la Figura 4.1 se muestra la relación existente entre NDVI a los 20 (días después de la siembra) DDS y el contenido de clorofila (SPAD) a los 76, 91 y 105 DDS, de 346 genotipos, evaluados en condición de riego normal en el ciclo verano de 2012.

De acuerdo a la dispersión que presentan los datos, se observa que existe una baja relación entre el NDVI y los valores SPAD en las tres comparaciones para riego normal. Debido que se encontraban en diferentes etapas fenológicas si estas se correlacionáramos en la misma etapa fenológica de los genotipos la relación sería mayor ya que mediante el uso de estas dos variables se pueden diagnosticar el estado nutricional de los genotipos. En este caso la baja correlación se debe probablemente a que al momento del muestreo tanto de NDVI y SPAD los genotipos no se encontraban en la misma etapa fenológica. Lo anterior tiene que ver con la condición fisiológica del N<sub>2</sub>, pues a 20 DDS éste se encuentra promoviendo el desarrollo de estructuras (hoja y tallos) y después de la floración se moviliza, en general, hacia la mazorca, lo cual se hace evidente con el decremento de las lecturas

de SPAD de 76 a 105 DDS, Mahey *et al.* (1991). Ferrari *et al.* (2011), encontraron que el SPAD se asoció positivamente con rendimiento en tanto que no se observó asociación con el NVDI en sorgo para grano.

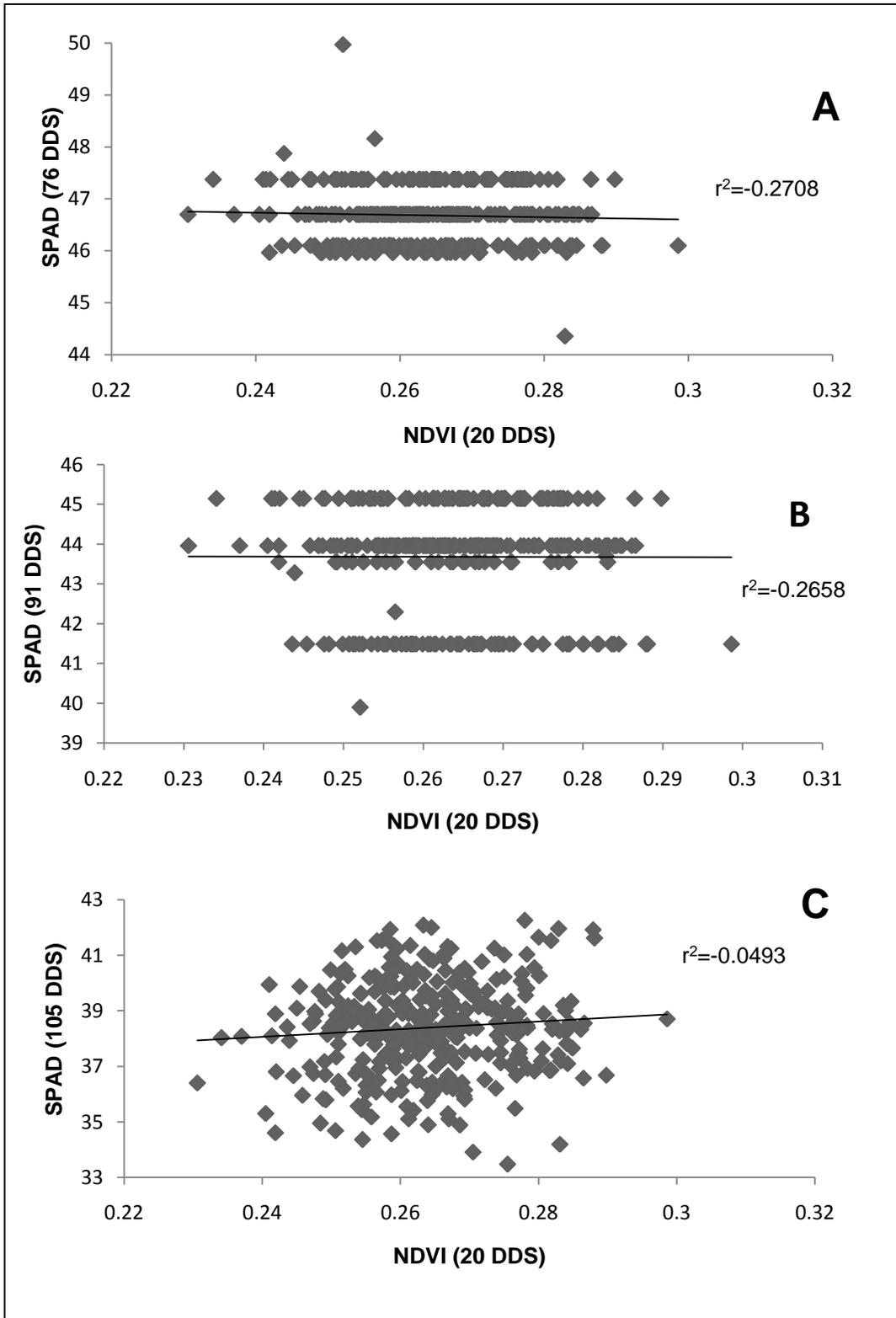


Figura 4.1 Correlación entre NDVI y los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012.

#### **4.2. Relación entre los valores de NDVI a los 74 DDS con las unidades SPAD a los 76, 91 y 105 en la condición de riego normal.**

En la Figura 4.2 se muestra la relación existente entre los valores de NDVI de los genotipos evaluados a los 74 DDS y los valores de SPAD a los 76, 91 y 105 DDS; los valores de correlación fueron bajos a los 76 y 91 DDS sin embargo, a los 105 DDS la correlación fue positiva y significativa.

La falta de correlación entre estas dos variables, además se puede atribuir a las diferencias intrínsecas de los genotipos, tales como la estructura de la planta, el color de la hoja, la precocidad etc., pues como se puede observar en los gráficos A, B y C (Figura 4.2) para un valor constante de unidades SPAD los genotipos se dispersan en grupos con valores de NDVI de un rango de 0.06 unidades. Otro aspecto que probablemente contribuye es la diversidad de los genotipos ya que reflejan diferentes valores dependiendo de su adaptabilidad. La asociación de estos dos parámetros en las etapas tempranas no tiene una alta relación, mientras que con el aumento de las etapas de los genotipos la relación tiende a incrementarse. Lo anterior concuerda con Zotarelli *et al.*, (2003) menciona que la metodología para medir el contenido de nitrógeno son las dos etapas importantes en el desarrollo del maíz es al inicio de la floración y el llenado de grano asociados con los pastos, es por ello que la correlación a los 115 DDS es de ( $r^2= 0.45$ ) ya que a los 115 DDS el maíz se encontraba en el llenado de grano.

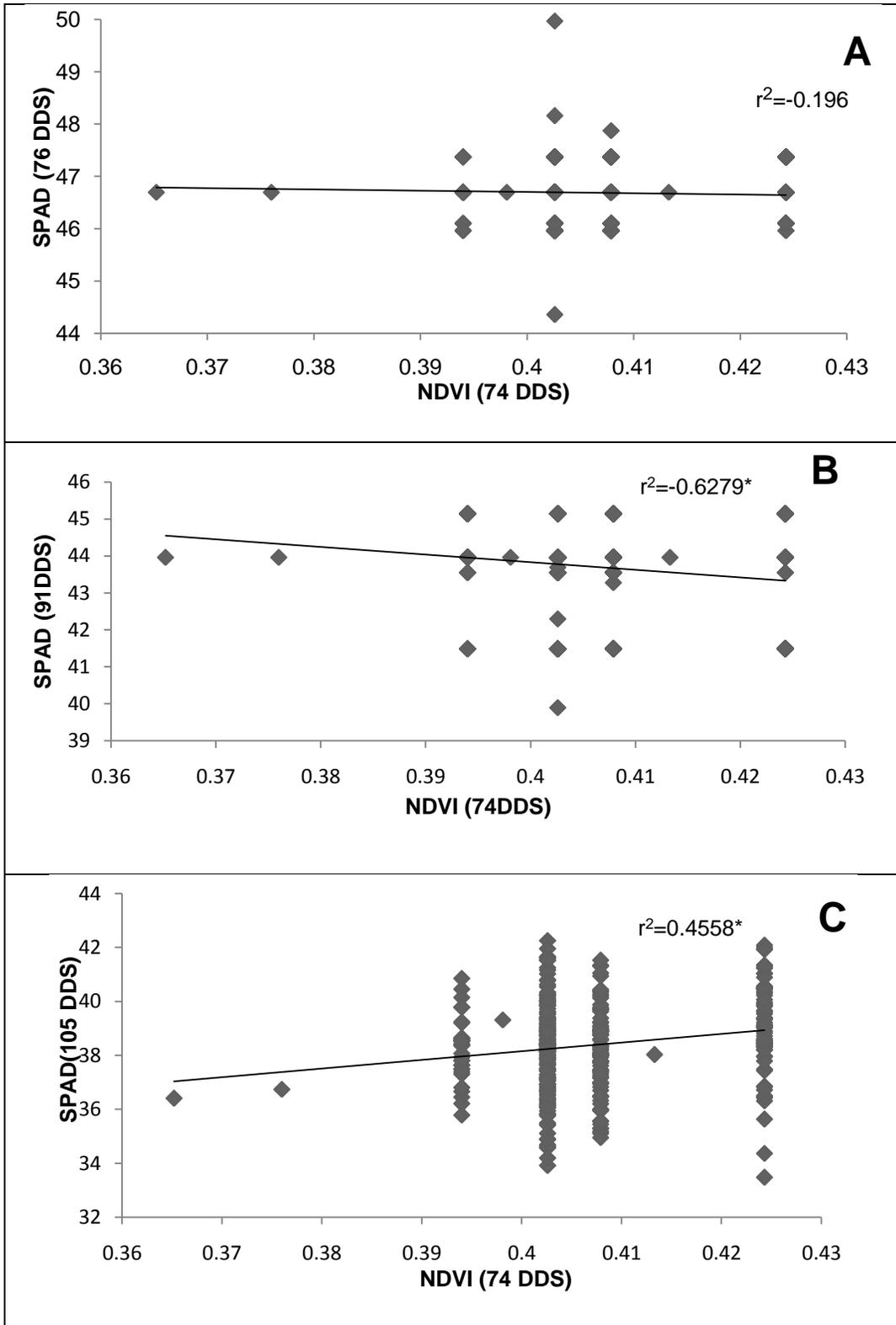


Figura 4.2 Correlación entre NDVI a los 74 DDS y los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012.

#### **4.3. Correlación de NDVI a los 20 DDS con Senescencia a los 73, 87 y 115 DDS en condiciones de riego normal.**

En la figura 4.3 se observa la correlación del NDVI a los 20 DDS y senescencia a 73 (A), 87 (B) y 115(C) DDS en la condición de riego normal.

En la figura (A, B, C) se observa una nula correlación entre ambas variables, pues se observan datos de senescencia con un máximo de 2.37 a los 115 DDS (C) lo cual es de esperarse en maíz en condiciones de riego normal. Este valor máximo también puede ser causado por la precocidad de algunos genotipos los cuales exhiben una senescencia más adelantada que el resto. Lo anterior se observa como de A a C se van diferenciando grupos de senescencia, en A se aprecian dos grupos, en B y C, se pueden apreciar los tres grupos que pudieran corresponder a precoces, intermedios y tardíos.

La dispersión de los datos obedece al efecto del valor del NDVI del cual se observa un amplio rango en los tres muestreos (A, B, C) lo cual indica que existe mayor diversidad para este parámetro en los genotipos. De acuerdo con los resultados que se observan es factible que la senescencia se asocie con mayor fuerza a la precocidad que al parámetro NDVI. Fischer, (1994) menciona que el NDVI es de gran importancia para determinar adelantos o retrasos en el desarrollo y la senescencia foliar y también ha sido utilizado para estimar distintos parámetros de los cultivos y separar aquellos con patrones fenológicos distintos.

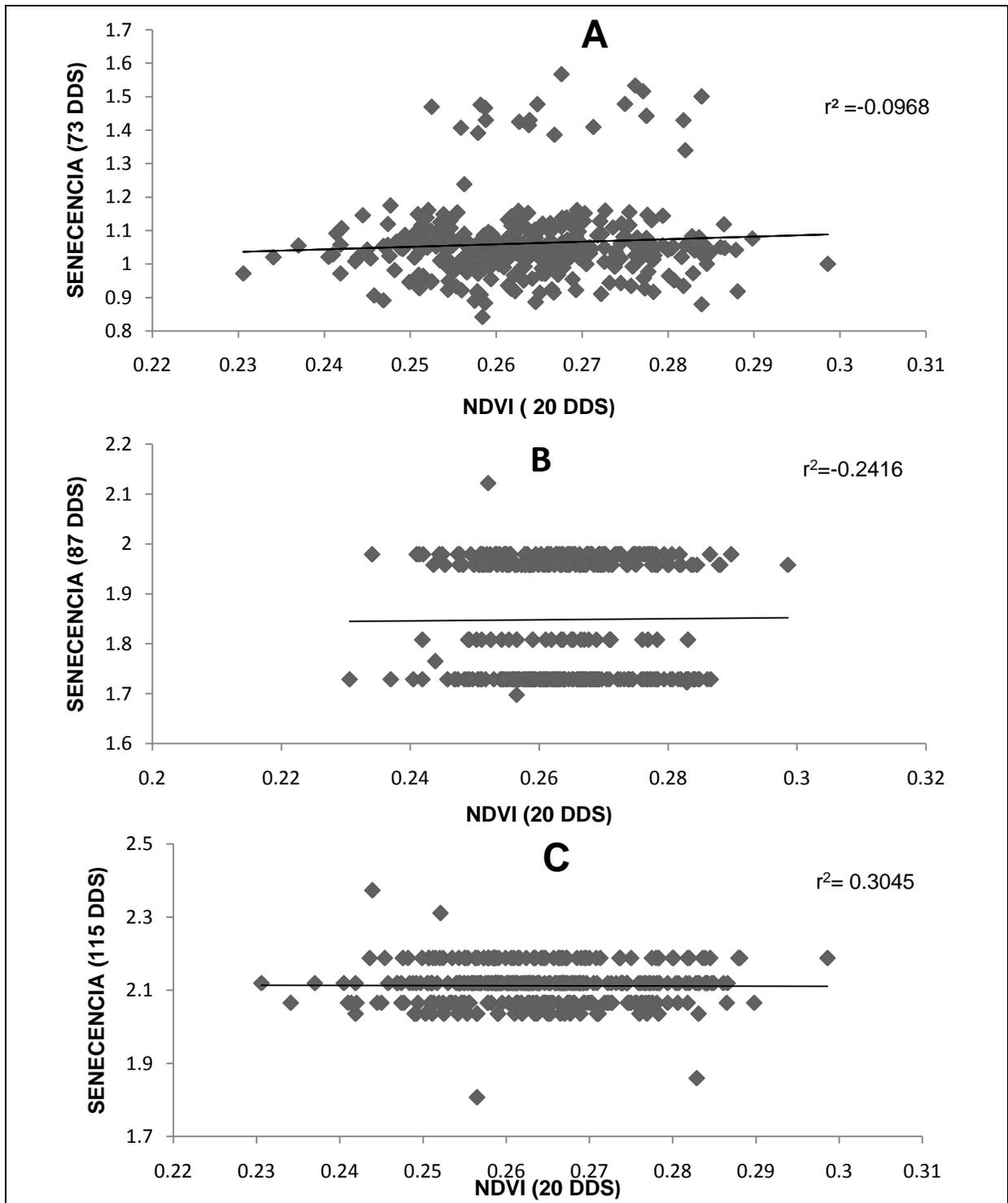


Figura 4.3 Correlación de NDVI a los 20 DDS con Senescencia a los 73, 87 y 115 DDS en condiciones de riego normal.. UAAAN- UL 2012.

#### **4.4 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012**

En la figura 4.4 se observa la relación existente entre los valores de senescencia a los 87 DDS y contenido de clorofila (SPAD) a los 76 DDS (A) y a los 115 DDS (B) y el SPAD a los 105 DDS con la senescencia a los 115 DDS (C).

El contenido de clorofila a los 76 DDS y la senescencia a los 87 DDS se asocian positiva y significativamente. En tanto que el contenido de clorofila (SPAD) a los 76 DDS con senescencia a los 115 DDS (B) y, SPAD a los 105 DDS con senescencia a los 115 DDS (C) correlacionan negativa y significativamente.

Los resultados que se observan parecen ser lógicos acordes a los que ocurre con el avance de las etapas fenológicas consecutivas, ya que es común la pérdida gradual de clorofila la cual conlleva a un estado de senescencia.

Se observa entonces que en la figura (A), ambos muestreos (SPAD, SEN) se tomaron con una diferencia de 11 días, por tal motivo el SPAD tiende a mantenerse estable en tanto que la senescencia, tiende a incrementarse como normalmente ocurre en el proceso de envejecimiento de la planta.

En contraste en los gráficos B y C (Figura 4.5) la relación entre estas dos variables se hace más negativa y significativa. En el grafico B, se observa una correlación de -0.30, y esta se incrementa en el grafico C a -0.73, lo cual sigue la lógica del normal envejecimiento pues a medida que avanza el ciclo del cultivo, disminuye normalmente el contenido de clorofila y se incrementa la senescencia. Lo anterior es a causa de la pérdida de clorofila que resulta del dismantelamiento de los cloroplastos y la síntesis de nuevos compuestos como fenoles y

antoacianinas(Quirino *et al.*, 2000). Al mismo tiempo ocurren muchos eventos catabólicos, tales como la degradación de lípidos y ácidos nucleicos. De acuerdo con el rol removilizante del programa de senescencia, la degradación de proteínas está acompañada por un aumento en la cantidad de aminoácidos.

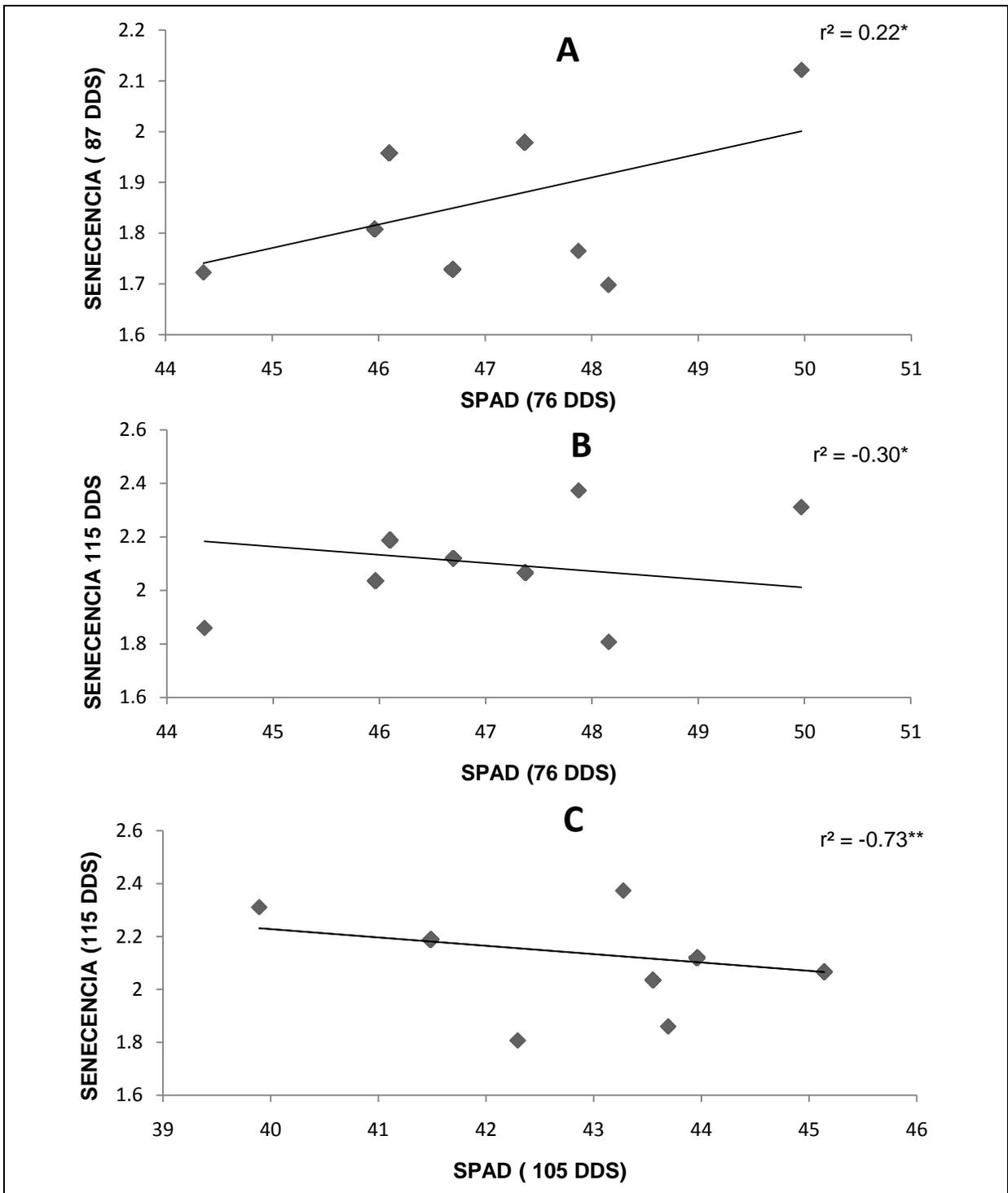


Figura 4.4 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego normal. UAAAN- UL 2012.. UAAAN- UL 2012.

#### **4.5. Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores SPAD a los 73,91 y 105 DDS en riego deficitario**

En la figura 4.5 se muestra la relación existente entre el NDVI a los 20 DDS y las unidades SPAD a los 73 DDS (A) a los 91 DDS (B) y a los 105 DDS (C) en la condición de riego deficitario.

Se puede observar que no existe correlación entre estos dos parámetros en las tres evaluaciones realizadas, lo concuerda con estudios realizados donde las unidades SPAD y NDVI se correlacionan positiva y significativamente. Sin embargo, (Falótico *et al.*, 1999; Echeverría *et al.*, 2000) argumentan que se presenta el inconveniente de que el índice de verdor es afectado por numerosos factores como genotipos, estados de crecimiento, otros nutrientes, enfermedades o ataques de insectos, y condiciones ambientales como humedad y temperatura al momento de la medición. En el presente trabajo la diversidad de origen de los genotipos y las deficiencias hídricas a las que sometieron son las posibles causas por las que se encontraron bajas relaciones entre estas dos variables.

Los genotipos tienen mayor variabilidad en NDVI a los 20 DDS en contraste con las unidades SPAD en los tres muestreos los rangos fueron muy estrechos, pues en el gráfico A el máximo valor es de 52 unidades SPAD y en C, de 51 unidades SPAD.

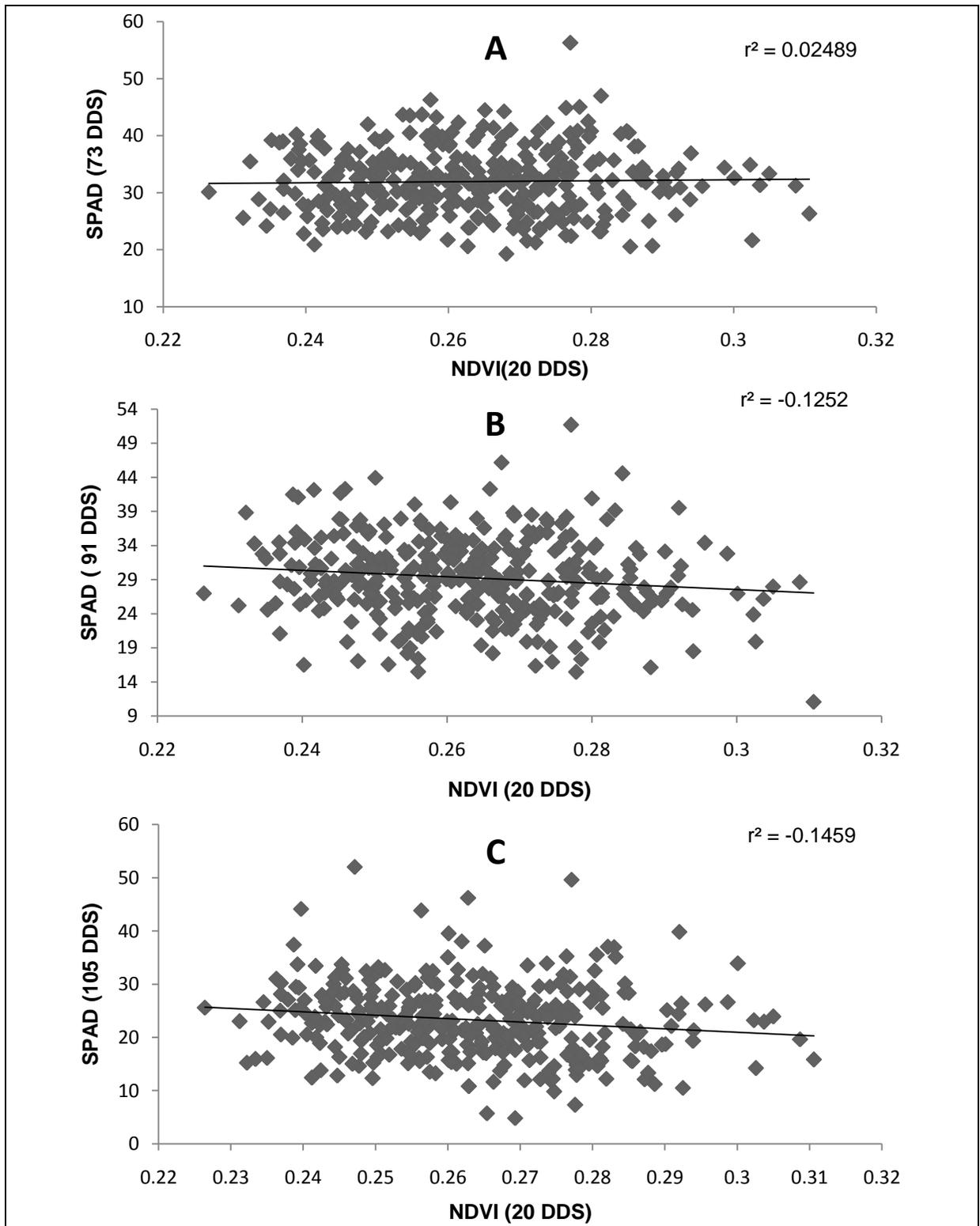


Figura 4.5. Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores SPAD a los 73,91 y 105 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.

#### **4.6 Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores Senescencia a los 73,87 y 115 DDS en riego deficitario**

En la figura 4.6 se observa la relación existente entre el NDVI a los 20 DDS y los valores de senescencia a los 73 (A) 87 (B) Y 115 (C) DDS.

Donde se observa unas bajas relaciones en las tres evaluaciones realizadas, también la baja relación se debió a la diversidad de los genotipos y al estrés que se sometieron. Además de que las etapas que se evaluaron no coinciden y afecta negativamente la relación entre estas variables. Pues a los 20 DDS que se midió el NDVI los genotipos se encuentran en plena concentración de clorofila se encontraban verdes y la senescencia no existe pues esta se presenta después de la floración. La correlación de NDVI a los 20 DDS y senescencia a los 115 DDS ( $r^2 = 0.1964$ ) aumenta a comparación los dos muestreos que tiene como correlación 73 DDS ( $r^2 = -0.2529$ ) y 87 DDS ( $r^2 = 0.1964$ ) que son menores esto se debe a que la planta pasa de un estado fenológico de una planta verde a una planta amarilla, acompañado del stress al que se somete va perdiendo la clorofila a medida que pasa el tiempo. Makino *et al.*, (1984) concuerda que si las plantas son sometidas a stress se induce a la senescencia, removiliza el N y otros nutrientes. Los síntomas de la deficiencia incluyen la clorosis, el estrechamiento de las hojas y la llamada "punta quemada".

La redistribución de nutrientes que implica principalmente la degradación de los cloroplastos y la exportación del N y otros nutrientes liberados hacia otros órganos (v.g., semillas, tubérculos, etc.); se lleva a cabo una vez que empieza el llenado de grano, esto después de la etapa de floración, una alta correlación entre el NDVI y la senescencia se daría en las etapas después de floración.

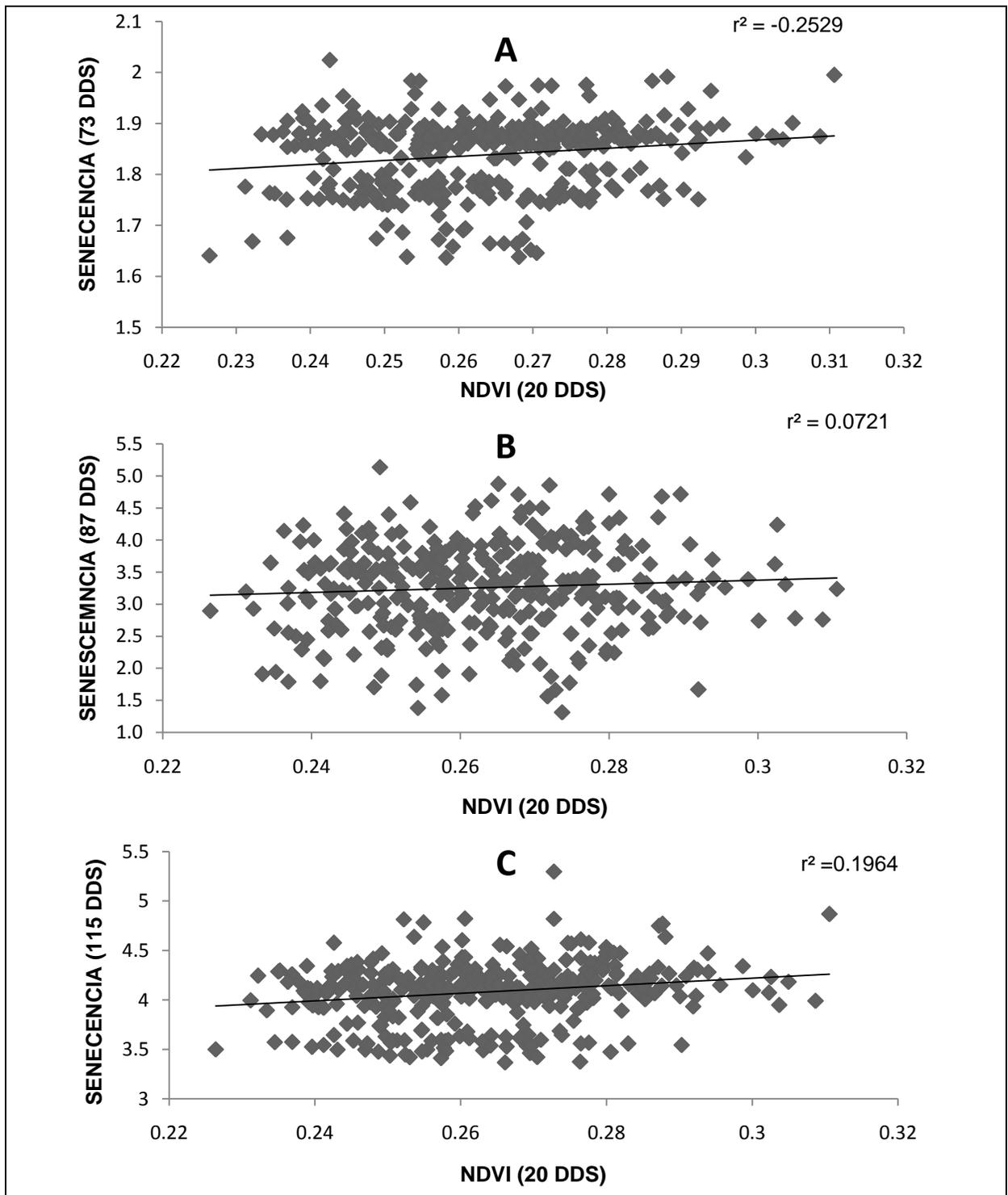


Figura 4.6 Correlación entre NDVI a los 20 DDS con los valores Senescencia a los 73,87 y 115 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.

#### **4.7 Correlación entre NDVI a los 74 DDS con los valores SPAD a los 76, 91 y 105 DDS en riego deficitario**

En la figura 4.7 se observa la relación existente entre el NDVI a los 74 DDS con las unidades SPAD a los 76, (A) 87 (B) 91 y 105 (C) DDS.

Se puede notar que no existe relación entre estos dos parámetros en los muestreos realizados. Lo anterior concuerda con Schepers *et al.*, (1996), quienes demuestran 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 N foliar. De igual manera nuestros resultados coinciden con los encontrados por González (2009) que las unidades SPAD bajaron en genotipos de trigo al estar sometidos en estrés hídrico. Lo anterior puede ser una explicación válida para las lecturas del NDVI. Ferrari *et al.* (2012), atribuye que la falta de respuesta en las lecturas de NDVI es la etapa en la que se toman las muestras, sobre todo cuando el dosel del cultivo ha cerrado, pues esto representa una dificultad práctica en la toma de datos.

Lo anterior concuerda con Falótico *et al.*, 1999; Echeverría *et al.*, 2000 que el índice de verdor se ve afectado por diferentes condiciones y una de ellas es la etapa de cultivo, como sucedió en este caso.

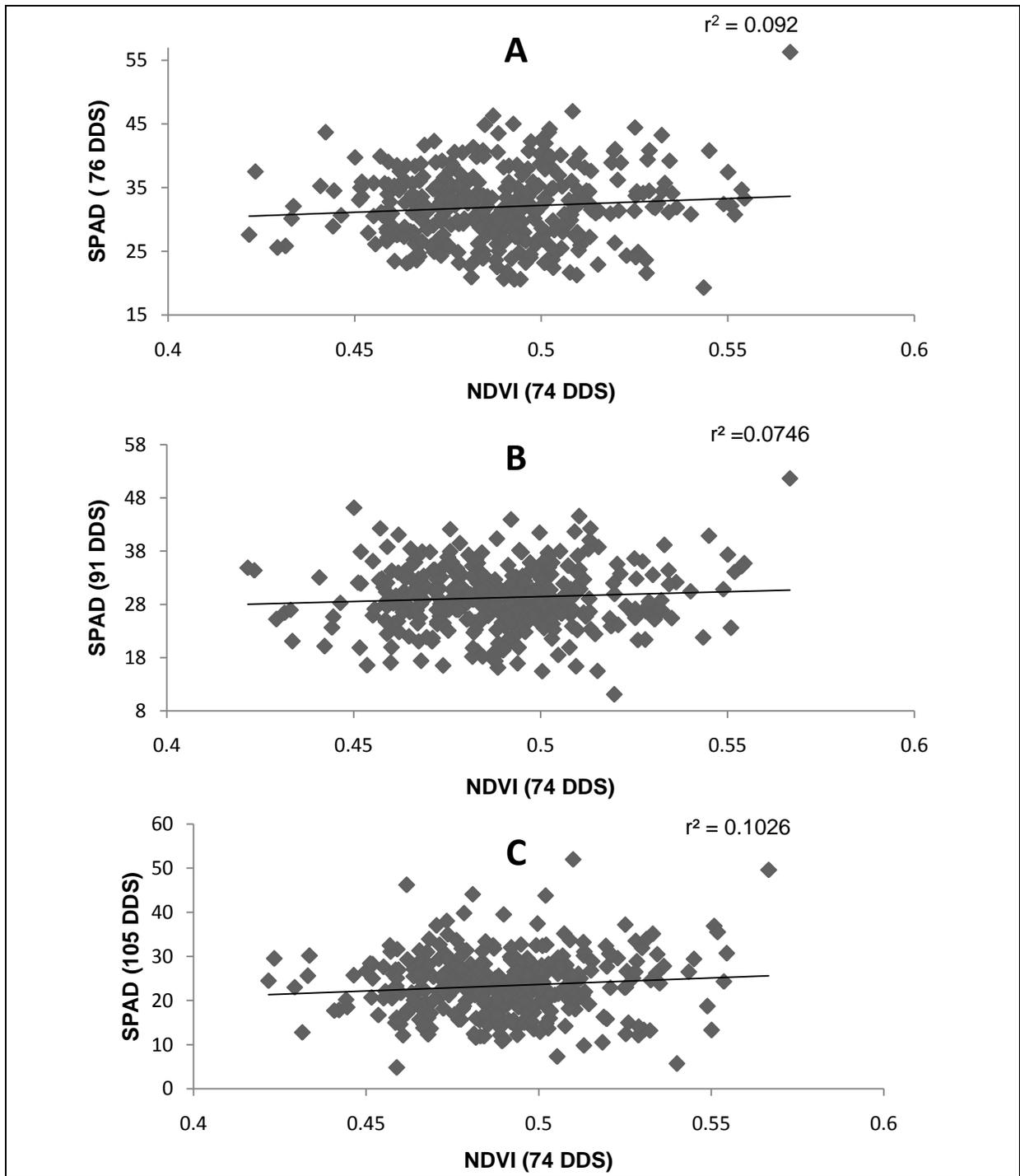


Figura 4.7 Correlación entre NDVI a los 74 DDS con los valores SPAD a los 76 ,91y 105 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.

#### **4.8 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego deficitario**

En la figura 4.8 se observa la relación entre las unidades de SPAD (76 DDS) con la senescencia a los 87 DDS (A), a los 115 DDS (B) y, de las unidades SPAD (105 DDS) con senescencia a los 115 DDS (C).

En la Figura 4.8 A y B no se observa correlación en las variables SPAD y Senescencia, quizás se deba a que los muestreos de ambas variables se tomaron en una etapa en la que el dosel presentaba un buen grado de verdor y por lo tanto la senescencia se presentaba solo en las hojas basales, influenciado más por la competencia que por el stress. Thomas y Stoddart, (1980) afirman que la senescencia en las plantas es un proceso claramente programado, es decir el inicio, forma y duración están marcados genéticamente y se debe tener en cuenta las condiciones ambientales en las que esta sometidas las plantas.

En la Figura 4.8 (C) se observa una correlación baja pero significativa y negativa, lo cual se explica biológicamente pues al momento de ambos muestreos la planta muestra la senescencia natural de acuerdo al ciclo, pues a los 105 DDS y 115 DDS, en la planta los valores de senescencia aumentan, en tanto que el verdor decrece.

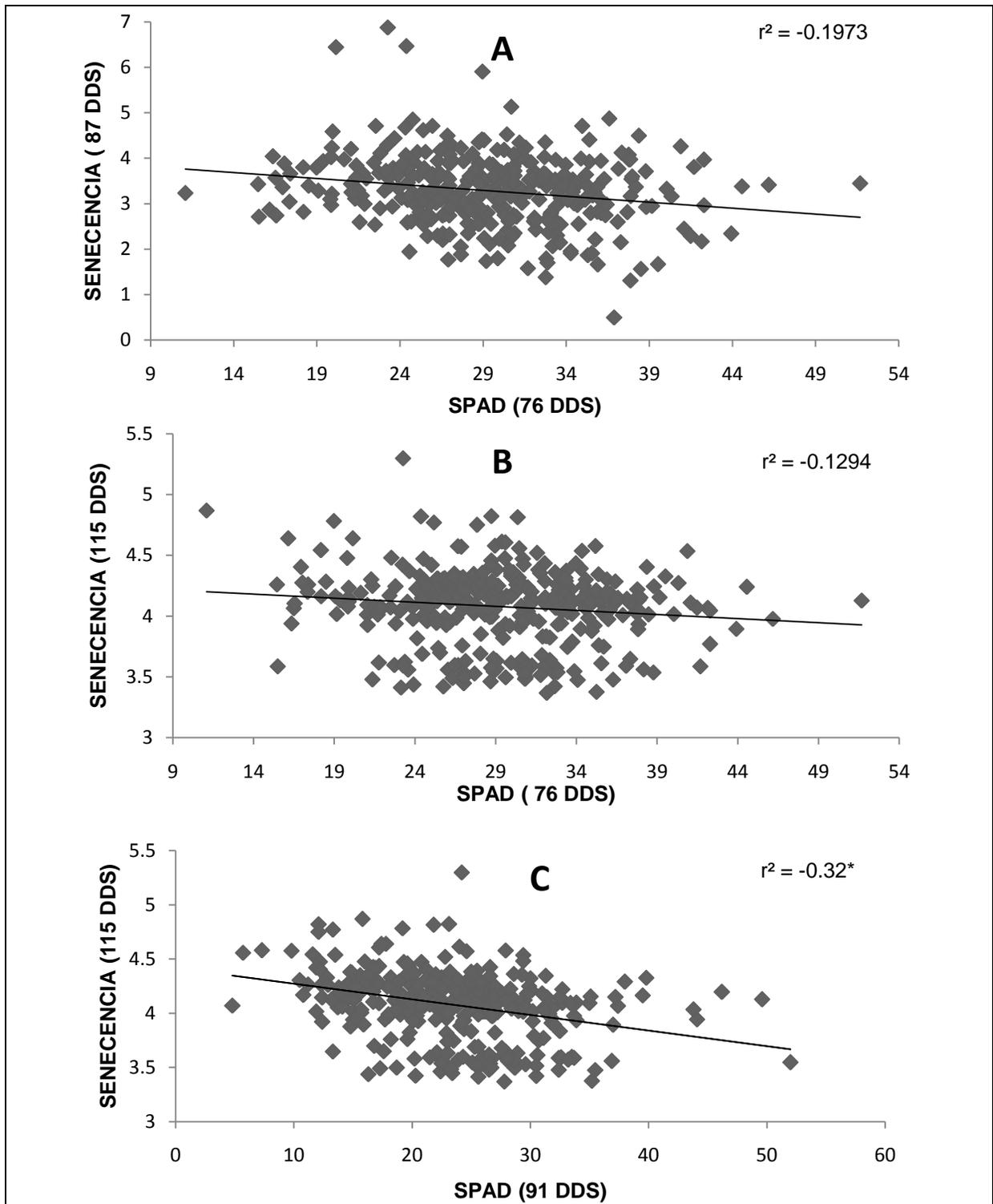


Figura 4.8 Correlación entre SPAD a los 76 y 105 DDS con los valores Senescencia a los 87 y 115 DDS en riego deficitario. UAAAN- UL 2012.

## V. CONCLUSION

Los resultados mostraron una baja relación entre el NDVI con el SPAD en la etapa fenológica de crecimiento de la planta y únicamente se encuentran relacionados durante la etapa del llenado del grano en condiciones de riego normal, los mismo pasa en riego reducido.

En NDVI en relación con Senescencia se muestra que no existe correlación durante la etapa de crecimiento de la planta en riego normal pero en riego deficitario aumenta la relación de estas dos variables.

La asociación de SPAD con la Senescencia en estos demuestra que existe una correlación durante la floración, en tanto que en el llenado de grano la correlación es más alta y en riego reducido la relación es negativa durante en la etapa del llenado de grano.

En general en el presente trabajo se observó que la correlación en el periodo de floración y llenado de grano.

## VI.BIBLIOGRAFIA CITADA

Aguirrezábal, L.A.N., Lavaud, Y., Dosio, G.A.A., Izquierdo, N.G., Andrade, F.H. y González, L.M., 2003. Weight per seed and oil concentration in a sunflower hybrid are accounted for by intercepted solar radiation during a definite period of seed filling. *CropSci.*, 43 (1): 152-161.

B.Ramakrishna, 1988. III Mejoramiento para tolerancias a factores ambientales adversos en el cultivo del maíz.

Bootsma,A., Boisvert, J, Baier, R, 1996.L a Sécheresse et L´agricultureCanadienne; une Revue des MpyensD´action. Sécheresse, Vol, 7. No, 4, pp. 227- 285.

Ferrari M. L.A. Rivoltellay J.M. Casado (2012)Diagnóstico de fertilidad y estrategias de fertilización nitrogenada en sorgo granífero. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo - XXIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 16-20 de Abril de 2012, Mar del Plata, Argentina. *Grain crops during drought. Adv. Agron.* 68: 59-96.

[http://portal.sinavef.gob.mx/documentos/Que\\_es\\_NDVI.pdf](http://portal.sinavef.gob.mx/documentos/Que_es_NDVI.pdf)

Mahey, RK Singh, R., Sidhu, SS, Narang, RS El uso de la teledetección para evaluar los efectos del estrés hídrico sobre el trigo. *Experimental Agricultura* , v.27, p.423-429, 1991. México DF. pp. 319-338.

OPPENHEIMER, H. Adaptation to drought: Xerophytism. In Recherches sur la zone aride. Echanges hydriques plantes en milieu aride au semi-aride. Comptes rendus de recherches. Paris, UNESCO, 1961. pp. 105-138.

Paul, C., 1990. Agronomía del Sorgo. Traducción al español Paul, C., L., y M., G. Lopez A. ICRISAT India, pp 24

Pennell R.I. y Lamb C (1997) Programmed cell death in plants. *Plant cell* 9; 1157- 1168 *plant physiol.* 34: 81-111.

Saini, H. S., and M.E. Westgate. 2000. Reproductive development in  
Salisbury FB, Ross CW. 1992. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana.  
Schepers, J.S., T.M. Blackmer, W. Wilhelm y M. Resende (1996).

Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology* 148: 523-529.

Sobrado, M. 1987. Un caso de estudio interrelación maíz- sequía fisiología en el ambiente tropical. Universidad Simón Bolívar. Trabajo de Ascenso, . 112 p

Sullivan, C and Ross, W. 1979. Selecting for drought and heat resistance in grain sorghum. In: H. Mussell and R.C. Staples (eds) *Stress Physiology in Crop Plants*. John Wiley and Sons, New York. pp 263-281.

Swinton , S.; Bongiovanni, R.; Lowenber-DeBoer,J,; and D.Bullorck. 2001. Assesing the value of Precision Agriculture Data: On-Farm Nitrogen Response in Argentina. Prepared for the AAEA Spatial Analysis Learning Workshop, August 4, 2001. American Agricultural Economists Association Annual Meeting, Chicago, Illinois, August 4-8, 2001.

Swinton, S.; Bongiovanni,R,; Lowenberg –DeBoer, J,;and D. Bullock. 2001. Assesing the value of Precision Agriculture Data; On- Farm Nitrogen Response in Argentica. Prepared for the AAEA Spatial Analysis Learning Workshop ,Agust 4, 2001 . American Agricultural Economusts Association Annual Meeting, Chicago Illinois,Agust 4-8 , 2011.

Thomas, H., and J. L. Stoddart. 1980. Leaf senescence. Ann. rev.