



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SONORA
Educar para Trascender

“Eficiencia de uso de nitrógeno de líneas de trigo
provenientes de cruzas amplias con *Leymus Racemosus*”

Tesis

Para obtener el título de

Ingeniero Biotecnólogo

Presenta

Marisol Murillo Alonso

Cd. Obregón, Sonora;

Septiembre de 2010

AGRADECIMIENTOS

A mi **Familia** que estuvo presente en todo momento, gracias por todo su apoyo y confianza durante esta etapa de mi vida.

A mi asesor, **Dr. Iván Ortiz-Monasterios** por su gran apoyo, consejos, paciencia, enseñanzas y tiempo durante la realización de este trabajo.

A **CIMMYT, INT.**, por la oportunidad y las facilidades brindadas para que el desarrollo de este estudio se llevara a cabo.

Al **personal de CIMMYT** por su gran ayuda y el interés prestado para que el desarrollo del trabajo saliera adelante. A **Ma. Elena Cárdenas** por apoyo, confianza y recomendaciones para realizar el trabajo.

A mis **Amigos** por brindarme su valiosa amistad y apoyo incondicional durante todos esos momentos que hemos compartido juntos. A mis **Compañeros** por estar conmigo durante todo este tiempo.

¡Muchas Gracias!

Marisol Murillo Alonso

ÍNDICE

Agradecimientos.....	i
Lista de Figuras	iv
Lista de Graficas	v
Resumen.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivo.....	3
1.2.1. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.5. Limitaciones de estudio.....	4
II. MARCO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.1. Trigo.....	5
2.1.1. Ciclo de cultivo.....	6
2.2. Nutrición vegetal.....	7
2.2.1. Nitrógeno.....	9
2.2.2. Ciclo del nitrógeno.....	10
2.2.3. Manejo de nitrógeno en trigo.....	11
2.2.4. Fertilizantes Nitrogenados.....	13
2.3. Mejoramiento genético del trigo.....	14
2.4. Inhibición biológica de la nitrificación.....	15
2.5. <i>Leymus Racemosus</i>	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1. Localización del experimento.....	18
3.2. Diseño experimental.....	18
3.3. Mediciones en campo.....	21
3.3.1. Mediciones de clorofila (SPAD).....	21

3.3.2. Mediciones del Índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI)	22
3.3.3. Días de antesis y madurez.....	23
3.4. Cosecha.....	23
3.5. Componentes del rendimiento.....	24
3.5.1. Rendimiento al 12 % de humedad.....	25
3.5.2. Peso de mil granos.....	25
3.5.3. Granos/m ²	25
3.5.4. Índice de cosecha.....	26
3.5.5. Biomasa.....	26
3.5.6. Peso hectolítrico.....	26
3.6. Determinación de nitrógeno en grano, paja y nitrógeno total.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. Mediciones Clorofila (SPAD).....	28
4.2. Mediciones del Índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI).....	32
4.3. Componentes del rendimiento.....	35
4.3.1. Análisis de varianza de componentes del rendimiento.....	35
4.3.2. Rendimiento al 12 % de humedad.....	36
4.3.3. Granos/m ² y Peso de mil granos.....	37
4.3.4. Índice de cosecha y Biomasa.....	40
4.3.5. Antesis y Madurez.....	44
4.3.6. Peso hectolítrico.....	46
4.4. Nitrógeno total, en grano y paja.....	47
4.4.1. Análisis de varianza de nitrógeno en grano, paja y N total.....	48
4.4.2. Nitrógeno en grano.....	48
4.4.3. Nitrógeno en paja.....	50
4.4.4. Nitrógeno total.....	51
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
VI. LITERATURA CITADA.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Esquema del ciclo ontogénico de un cultivo de trigo.....	7
2	Mapa de distribución de parcelas.....	20
3	Medidor de clorofila SPAD Minolta 502.....	21
4	Sensor Greenseeker.....	22
5	Trilladora experimental Wintersteiger.....	23
6	Bolsas de papel etiquetadas con el número de parcela.....	24
7	Balanza utilizada para determinar el peso hectolítrico.....	27
8	Diferencias entre líneas, de las variables Granos/m ² y peso de mil granos, con dos niveles de nitrógeno.....	38
9	Diferencias entre líneas, de las variables índice de cosecha y biomasa, con dos niveles de nitrógeno.....	41
10	Relación del NDVI y la biomasa de los genotipos con dos niveles de nitrógeno, en floración.....	43
11	Diferencias entre líneas, de las variables Antesis y Madurez, con dos niveles de nitrógeno.....	45

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Título	Página
1	Promedio de clorofila, en floración, de todas las líneas con diferente dosis de nitrógeno.....	29
2	Comportamiento de las líneas, con 0 Kg de nitrógeno, en clorofila a través del tiempo.....	30
3	Comportamiento de las líneas, con 250 Kg de nitrógeno, en clorofila a través del tiempo.....	31
4	Promedio de NDVI de todas las variedades, con dos niveles de nitrógeno, a través del tiempo.....	32
5	Unidades de NDVI en las líneas con 0 Kg de nitrógeno a través del tiempo.....	33
6	Unidades de NDVI en las líneas con 250 Kg de nitrógeno a través del tiempo.....	34
7	Diferencias de rendimiento entre líneas y dosis de nitrógeno.....	36
8	Diferencias entre líneas, de la variable peso hectolítrico, con dos niveles de nitrógeno.....	47
9	Nitrógeno en grano de cada línea con dos niveles de nitrógeno...	49
10	Nitrógeno en paja de cada línea con dos niveles de nitrógeno...	50
11	Nitrógeno Total en cada una de las líneas con dos niveles de nitrógeno.....	52

RESUMEN

La fertilización nitrogenada es el principal costo de producción en el cultivo de trigo y la eficiencia de su uso es muy baja, solo el 31%. Una forma de incrementar la eficiencia de uso de nitrógeno es con un mejor control de la nitrificación. La principal forma para regular la tasa de nitrificación en los sistemas agrícolas ha sido a través de aplicación de inhibidores sintéticos de la nitrificación. Existe una nueva estrategia para controlar la nitrificación la cual se basa en la inhibición biológica de la nitrificación. Existen algunas especies como el *Leymus racemosus* que pueden inhibir la nitrificación y esta característica se ha buscado transferirla al cultivo de trigo. El objetivo del presente estudio fue evaluar líneas de trigo con cromosomas de *Leymus racemosus*, utilizando su capacidad de inhibidor biológico de la nitrificación, caracterizando su eficiencia del uso del nitrógeno comparando con una variedad *Chinese spring* (CS) que no contiene este cromosoma. El estudio se realizó en el campo experimental Norman E. Borlaug de Cd. Obregón, Son., durante el ciclo 2008-2009. Se midió NDVI y clorofila. Se analizó rendimiento, biomasa, peso de mil granos, Granos/m², índice de cosecha y el nitrógeno total, en grano y paja, en 15 variedades de trigo con dos niveles de nitrógeno (0 Kg/ha y 250 Kg/ha). Como resultados en rendimiento cuando no se aplicó nitrógeno se observó que las líneas TA7648-1, CS-Lr#I, CS-Lr#n y LE.RA #2 obtuvieron un rendimiento alto comparando con el testigo (CS). Mientras que los genotipos CS-Lr#I, TA7644 obtuvieron un rendimiento bajo. En N total el genotipo TA7648-1 tuvo el valor más alto con 192 kg/ha de N, siguiendo las líneas CS-Lr#I, CS-Lr#n, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500). La línea TA7644 tuvo el valor más bajo con 101.44 Kg/ha de N. Al adicionar 250 kg/ha de N la línea TA7648-1 tuvo una eficiencia en la absorción y aprovechamiento del nitrógeno mayor que el testigo (CS), mientras que la línea LE.RA #2 tuvo una eficiencia de uso de nitrógeno rindiendo de manera similar en los dos niveles de nitrógeno. Por otra parte se estimó que el ciclo de cultivo de la línea TA7644 no está adaptado para las condiciones de este ambiente al presentar un ciclo demasiado largo.

I. INTRODUCCIÓN

El nitrógeno (N) es el nutriente más demandado para el crecimiento de los cultivos y en el rendimiento de estos, su fijación es la conversión del nitrógeno del aire (N_2) a formas distintas como el ion amonio (NH_4^+) o los iones nitrito (NO_2^-) o nitrato (NO_3^-), susceptibles de incorporarse a la composición del suelo o de los seres vivos.

La nitrificación es la conversión del amonio a nitrato, que es llevada a cabo principalmente por las bacterias quimio-autotróficas del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. La tasa de nitrificación en los suelos es fuertemente dependiente de la temperatura, el contenido de agua, el pH y el potencial osmótico del suelo (Cabrera, 2007).

La nitrificación es un grave problema para la agricultura ya que causa grandes costos en la producción, y hasta ahora, la única forma para regular la tasa de nitrificación en los sistemas agrícolas ha sido a través de aplicación de inhibidores sintéticos de la nitrificación (como nitrapirina, diciandiamida (DCD), y el 3,4-dimetilpirazol fosfato) (Subbarao et al. 2006).

A pesar de que se ha demostrado que el uso de estos inhibidores, tienen muchas ventajas como la reducción de contaminación y la inhibición de las bacterias *Nitrosomonas* (Trenkel, 1997; Prasad y Power, 1995), también presentan desventajas como hacer que el nitrógeno permanezca en forma amoniacal en el suelo lo que puede aumentar las pérdidas de N por volatilización (Subbarao et al., 2006).

Existe un pariente silvestre del trigo llamado *Leymus racemosus* perteneciente a la tribu *Triticeae*, la cual es una planta perenne a la que se le ha atribuido una resistencia a la sequía, tolerancia a la salinidad y resistencia a una de las enfermedades que más afectan al trigo, la roña, y recientemente ha demostrado que cuenta con una alta capacidad para llevar a cabo una inhibición biológica de la nitrificación.

1.1. Planteamiento del Problema

La fertilización nitrogenada es el principal costo de producción y la eficiencia de su uso es muy baja, solo el 31%. ¿Aumenta la eficiencia de uso de nitrógeno al utilizar líneas de trigo con cruza amplias de *Leymus racemosus*?

1.2. Objetivo

Evaluar las líneas de trigo con cromosomas de *Leymus racemosus* caracterizando su eficiencia del uso del nitrógeno comparando con una variedad *Chinese spring* que no contiene este cromosoma.

1.2.1. Objetivos Específicos

- Determinar los niveles de clorofila presentes en cada línea con distintas dosis de nitrógeno realizando mediciones con el SPAD 502 Minolta.
- Determinar la cantidad de biomasa, utilizando el índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI), de las líneas a través del tiempo realizando mediciones con el sensor Green seeker.
- Analizar el rendimiento y componentes del rendimiento con los datos obtenidos de la cosecha.

1.3. Justificación

En la agricultura la fertilización nitrogenada es el costo directo más importante. En el valle del Yaqui la eficiencia del uso de nitrógeno ha sido estimada en un 31%, es decir que de 100 Kg. de fertilizante nitrogenado aplicado, 31 Kg. son aprovechados por la planta y el resto se pierden ya sea por lixiviación, escurrimiento o volatilización causando problemas de contaminación y de salud en los habitantes.

Los efectos del nitrato (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) en la salud humana se dan ya sea por la contaminación del agua potable, que puede conducir a la metahemoglobinemia (síndrome del bebé azul) (Elmi et al. 2002). También la exposición a gases como el NO_x , que contribuyen a la formación del ozono troposférico, favorecen el incremento de enfermedades y daños al tejido pulmonar por las partículas del óxido de nítrico (NO) (EPA de EE. UU., 2003).

En los ecosistemas, la pérdida de nitrógeno, causa la acidificación del suelo, eutrofización de las aguas superficiales, los aumentos en las concentraciones de gases de efecto invernadero y la pérdida de la biodiversidad en los ecosistemas costeros (Matson et al. 1997; Fenn et al. 1998, Vitousek et al. 1998; Follett y Follett 2001).

Una forma de disminuir la pérdida de nitrógeno en la planta, es aumentar la eficiencia de uso de este, contribuyendo así a que el rendimiento del cultivo y las ganancias del productor sean mayores. Para mejorar esta eficiencia es necesario conocer el estatus de nitrógeno de la planta.

1.4. Hipótesis

Se encontrara al menos una línea que presente diferencia significativa en eficiencia de uso de nitrógeno con respecto al testigo.

1.5. Limitaciones de estudio

No se midió la capacidad de inhibición de la nitrificación en campo.

II. MARCO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Trigo

El trigo (*Triticum aestivum L.*) es un cereal de la familia de las gramíneas a la que pertenecen otros cereales tan importantes como el arroz, el maíz, la avena, el sorgo, entre otros. El trigo es una planta anual herbácea de hasta 1.2 m de altura. El crecimiento de los tallos se produce por el estiramiento de los tejidos situados por encima de los nudos (meristemo). Las hojas nacen de los nudos, las flores se reúnen en espigas. Cada espiga consta de un eje principal o raquis sobre las que se distribuyen lateralmente las espiguillas. Estas constan de un eje principal del que nacen unos filamentos terminados por las glumas que encierran las flores hasta que estas empiezan a madura (www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo2.htm).

El mejor cultivo del trigo se consigue en terreno cargado de arcilla, aunque el rendimiento es satisfactorio en terrenos más ligeros. Prospera en climas sub-tropicales, moderadamente templados y moderadamente fríos; lo más apropiado es una pluviosidad anual de 229 a 762 mm, más abundante en primavera que en verano, la temperatura media en el verano debe ser de 13°C o más (<http://www.oeidrus-sonora.gob.mx/Trigo3/caracteristicas.pdf>).

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados en días.

(<http://www.oeidrus-sonora.gob.mx/Trigo3/caracteristicas.pdf>).

2.1.1. Ciclo de cultivo

En el ciclo vegetativo del trigo se distinguen tres períodos: el vegetativo, que comprende desde la siembra hasta el comienzo del encañado, la reproducción que va desde el encañado hasta la terminación del espigado y el periodo de maduración que comprende desde el final del espigado hasta el momento de la recolección (Slafer et al, 2003).

Una vez que se produce la entrada de agua a la semilla y comienza el metabolismo enzimático, se inicia la etapa vegetativa. En el ápice de crecimiento se inicia la producción de hojas, proceso que continúa hasta la diferenciación del primer órgano reproductivo, es decir la primera espiguilla que tendrá la espiga, finalizando la etapa vegetativa y dando comienzo a la etapa reproductiva. En la Figura 1 se puede

observar el esquema del ciclo de cultivo del trigo, resaltando las tres fases (Slafer et al, 2003).

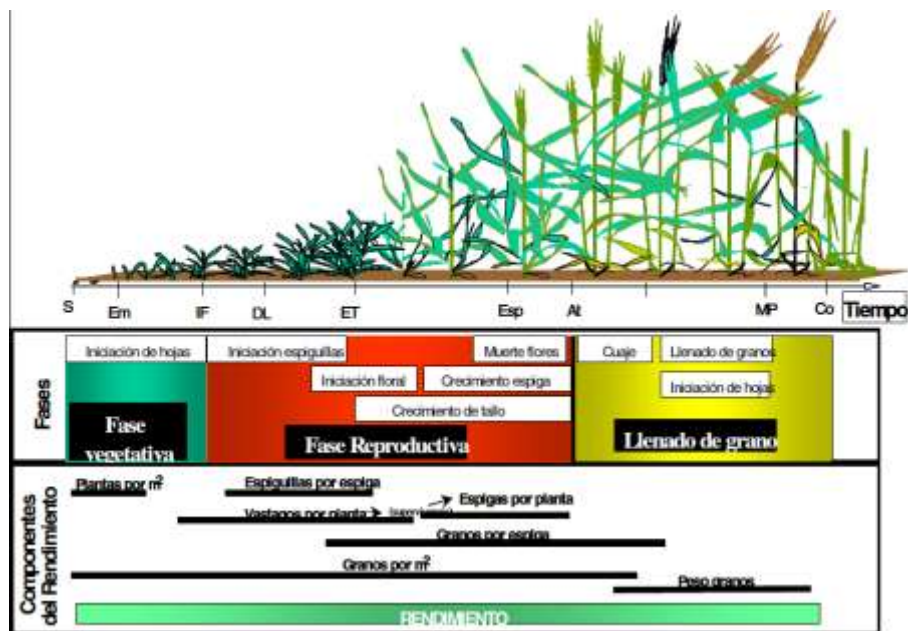


Figura 1. Esquema del ciclo ontogénico de un cultivo de trigo (Slafer & Rawson, 1994).

La etapa reproductiva es sin duda la más importante en términos de generación de componentes del rendimiento. Durante esta etapa queda definido el número de espigas por metro cuadrado y el número de granos por espiga, ambos componentes centrales del número de granos por unidad de área (Slafer et al, 2003).

2.2. Nutrición vegetal

Cada cultivo requiere de cierta cantidad de nutrientes para que prospere. Para los cereales, los nutrientes de mayor importancia son el nitrógeno (N), fósforo (P) y el

potasio (K). La falta de uno de ellos tiene un efecto negativo en la producción (Parsons, 1999).

Un nivel adecuado de nitrógeno resulta esencial para el desarrollo de la planta. El nitrógeno es necesario para la formación de las proteínas de las plantas. Entre todas estas, la clorofila es una de las más importantes. En algunos casos es obtenido del suelo. Cada suelo tiene una capacidad de suministro de nitrógeno, dependiendo del contenido de materia orgánica del suelo, la tasa de mineralización de la materia orgánica y la disponibilidad del nitrógeno ya mineralizado (nitrato y de amonio) almacenado en el suelo (Hobbs, 1998).

El fósforo (P) estimula el crecimiento de las raíces y acelera la maduración de los granos. Una abundancia de fósforo puede anticipar, hasta una semana, la cosecha de trigo. Los cereales son sensibles a la deficiencia de fósforo, especialmente en las primeras etapas de su desarrollo, manifestándose en las hojas más viejas las cuales tienden a adquirir un color pardo rojizo que empieza en el ápice de las hojas y progresa hacia la base. (Parsons, 1999).

El potasio (K) estimula el crecimiento de los entrenudos, fortalece los tallos, interviene en la formación de almidón y en el desarrollo de las raíces. Este nutriente es de menor importancia en el cultivo de trigo, porque se encuentra normalmente en suficiente cantidad en el suelo. La deficiencia de este nutriente puede dar como resultado entrenudos más cortos, tallos más débiles y mayor encame. El ápice de las hojas más viejas se vuelve amarillo cenizo (Taiz & Zeiger, 2001).

El magnesio (Mg) es un componente de la clorofila; activador de numerosas enzimas. La deficiencia de magnesio se puede observar por clorosis, especialmente de los tejidos entre las venas de la hoja vieja. Mientras que en azufre (S) el crecimiento es retardado y demora en la maduración de los granos. Las hojas nuevas de color verde claro se tornan amarillas, como cuando sufren deficiencias de nitrógeno, tallos débiles de color amarillo (Raven et al, 2003).

El calcio (Ca) es indispensable para el desarrollo del trigo, pues influye en la formación y madurez de los granos; aunque no influye tanto en la producción como el N, P y K. Se halla en mayor cantidad en las hojas y tallos que en el grano. La deficiencia de calcio se reconoce por las hojas nuevas con clorosis blanca y amarilla pardosa que luego pasa a los ápices, que quedan enrollados, además parte de la raíz se muere (Parsons, 1999).

Los micronutrientes, llamados también oligoelementos, son el cloro (Cl), el hierro (Fe), el boro (B), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el níquel (Ni), el molibdeno (Mo), etc. El déficit de alguno de estos elementos puede determinar enfermedades de carencia. EL Hierro (Fe) Es un elemento nutritivo que interviene activamente en la formación de la clorofila y otras funciones vegetales. La falta de boro se manifiesta, por una paralización del crecimiento, las hojas más jóvenes dejan de crecer (Taiz & Zeiger, 2001).

2.2.1. Nitrógeno

El nitrógeno, a excepción de algunas bacterias y algas, no puede ser utilizado directamente por las plantas, estas lo asimilan más bajo forma mineral, principalmente en forma de ión nitrato (NO_3). Eso explica la importancia de la

"nutrición añadida de nitrógeno" en la nutrición vegetal y su adición como abono por los productores (Raven et al, 2003).

El nitrógeno es necesario para mantener un follaje verde. Este es indispensable para que se realice la función fotosintética. En los cereales, la cantidad de nitrógeno disponible influye en la cantidad de proteínas contenidas en el grano. Los cereales requiere una mayor cantidad de nitrógeno durante el periodo de encañe (Parsons, 1999).

2.2.1.1. Ciclo del Nitrógeno

El ciclo del nitrógeno al igual que los demás ciclos biogeoquímicos, tiene una trayectoria definida, pero quizá aún más complicada que los demás, dado que tiene que seguir una serie de procesos físicos, químicos y biológicos (Corvera, 2000).

Los seres vivos cuentan con una gran proporción de nitrógeno en su composición química. El nitrógeno oxidado que reciben como nitrato (NO_3^-) a grupos amino, reducidos (asimilación). Para volver a contar con nitrato hace falta que los descomponedores lo extraigan de la biomasa dejándolo en la forma reducida de ion amonio (NH_4^+), proceso que se llama amonificación; y que luego el amonio sea oxidado a nitrato, proceso llamado nitrificación (Cabrera, 2007).

El nitrato es una sustancia extremadamente soluble, que es arrastrado fácilmente por la infiltración, lo que tiende a llevarlo al mar. Al final todo el nitrógeno atmosférico habría terminado, tras su conversión, disuelto en el mar (Cabrera, 2007).

Las bacterias fijadoras de nitrógeno poseen una enzima llamada nitrogenasa, que es la encargada de la ruptura del triple enlace del nitrógeno molecular y de la formación de amoníaco (Corvera, 2000).

Estas bacterias pueden ser las que viven libres en el suelo o aquellas que en simbiosis, formando nódulos con las raíces de ciertas plantas (Leguminosas) para fijar el nitrógeno, destacando los géneros *Rhizobium* o *Azotobacter*. Otro grupo son las cianobacterias acuáticas (algas verde azuladas) y las bacterias quimio sintéticas, tales como el género *Nitrosomas* y *Nitrosococcus*, que juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento, al transformar el amonio en nitrito, mientras que el género *Nitrobacter* continúa con la oxidación del nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3), el cual queda disponible para ser absorbido o disuelto en el agua, pasando así a otros ecosistemas (Galloway, 1998).

2.2.1.2. Manejo de Nitrógeno en trigo

Experimentos sobre el manejo de nitrógeno en trigo a inicio de los años de 1990 mostraron que el uso de aplicaciones divididas de nitrógeno (donde parte del fertilizante se aplica al momento de la siembra, pero la mayoría se aplica al inicio del encañe, 45 días después de la siembra) resultaba en mayores rendimientos que cuando se aplicaba todo el nitrógeno a la siembra o todo al encañe, aunque las aplicaciones en el segundo caso resultaron en mayores rendimientos que todo el N aplicado a la siembra. Se observó también que es necesario aplicar algo de N a la siembra, particularmente cuando el suelo es altamente deficiente en nitrógeno (Ortiz-Monasterio et al. 1994).

De acuerdo con las investigaciones realizadas en Sonora, la eficiencia en el uso de nitrógeno en el cultivo de trigo en el sur de Sonora es del 31%, es decir, que el 69% restante no es absorbido por el cultivo. Esto representa un importante gasto para el productor y, por otro lado, tiene un impacto importante en el medio ambiente (Aquino et al, 2008).

En otra investigación realizada por la Universidad de Stanford en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se determinó que cada vez que se riega durante el ciclo de otoño e invierno en el Valle del Yaqui, el nitrógeno arrastrado por el agua de riego finalmente va a dar al Golfo de California, donde contribuye al crecimiento de algas (Beman et al, 2005).

En algunos campos de productores se detectaron importantes pérdidas de nitrógeno hasta un 24% del total del nitrógeno aplicado como consecuencia del proceso de lavado que realiza el agua al infiltrarse en el suelo (Riley et al., 2001).

Este proceso podría representar una amenaza de contaminación. Como consecuencia de la aplicación a veces excesiva de nitrógeno, se han registrado emisiones muy altas de óxido nitroso (N_2O) en los campos de trigo en el Valle del Yaqui. Éstas podrían también contribuir a la paulatina destrucción de la capa de ozono y al cambio climático (Matson et al, 2008).

Hasta el momento, se ha comprobado que el 30% del nitrógeno aplicado antes de la siembra ya se perdió en el momento en que se lleva a cabo la siembra. Por ello, se recomienda evitar las aplicaciones antes de la siembra y realizar la primera aplicación al sembrar la semilla (Ortiz-Monasterios, 2009).

2.2.1.3. Fertilizantes Nitrogenados

La producción de fertilizantes nitrogenados y los cultivos de leguminosas fijan más nitrógeno globalmente que todo el ecosistema natural (Vitousek et al. 1998). Actualmente, la aplicación global de fertilizantes nitrogenados se distribuye casi por igual entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Galloway et al. (1995) estimaron que la producción mundial de fertilizantes nitrogenados aumentará un 60-90% para el año 2025, y dos terceras partes del total se aplicarán en los países en desarrollo.

Si la eficiencia de uso de estos fertilizantes no aumenta, las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados generaran pérdidas de nitrógeno en lixiviados al agua dulce y marina, en los gases traza importantes en la química de la troposfera y la estratosfera y en el clima mundial (Riley et al. 2000).

La fertilización agrícola para apoyar el crecimiento de los cultivos aumentó, resultando en una duplicación, los reactivos de N (es decir, el amoníaco (NH_3), amonio (NH_4^+), NO, NO_2^- , el óxido nitroso (N_2O), NO_3^- , y el ácido nítrico (HNO_3), teniendo una producción de 33 tera-gramos de nitrógeno (un billón) por año en el 2020 (Galloway y Cowling, 2002).

En el Valle del Yaqui las tasas de fertilización de nitrógeno son muy altas, y por lo tanto los impactos ambientales negativos de la agricultura tienden a ser considerables. Hay otros aspectos que son importantes para la producción de cultivos, tales como el calendario de aplicación de fertilizantes, los niveles de N residual del suelo, etc. Por ejemplo en un estudio realizado por Christensen et al

(2005) las pérdidas de N_2O y $NO_3^- + NO_2^-$ se produjeron en cada evento de riego, en función del tipo de fertilizante.

Además, los agricultores necesitan saber los niveles de N residual del suelo, a fin de cuantificar las reducciones en las aplicaciones de fertilizantes. La comprensión de las interacciones entre los métodos de aplicación de fertilizantes (por ejemplo, tipo, forma y tiempo) y biológicos, químicos, físicos y los controles sobre el ecosistema ciclo del N puede ayudar a los administradores mejorar la eficiencia en el uso del N de esta región, y mejorar así la producción de cultivos y el rendimiento de la inversión y reducir al mínimo los impactos ambientales y posibles riesgos para la salud humana (Christensen et al., 2005).

2.3. Mejoramiento Genético del Trigo

En el pasado, el principal objetivo del mejoramiento genético del trigo era incrementar el potencial de rendimiento y ampliar el rango de adaptación ambiental del cultivo. Actualmente, el énfasis se concentra en combinar genes asociados con alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades diversas, tolerancia al estrés causado por factores ambientales y calidad industrial del grano (González-Estrada y Wood, 2006).

Estimaciones recientes muestran que las variedades modernas de trigo generadas contribuyeron con incrementos promedio de 53.8 Kg/ha anualmente (un incremento del 0.64%) al rendimiento de trigo en el Valle del Yaqui en Sonora de 1962 a 2002 (Nalley 2007).

Familiares del trigo representan una rica reserva genética para el mejoramiento de trigo. Los genes de las especies silvestres se han utilizado con éxito para mejorar la resistencia genética del trigo a numerosos agentes patógenos (Oliver et al 2005). Dado que el trigo cultivado carece de la capacidad de tolerar y utilizar el NH_4 como la única fuente de N (Britto y Kronzucker 2002), es crucial la introducción de genes que proporcionen tolerancia a NH_4 para la introducción de la capacidad de Inhibición Biológica de la nitrificación en el trigo cultivado (Subbarao et al 2007).

2.4. Inhibición Biológica de la Nitrificación

El atributo de la inhibición biológica de la nitrificación (IBN) es un mecanismo natural de algunas plantas que utilizan para restringir la nitrificación (Subbarao et al 2007). La inhibición biológica de la nitrificación es un proceso a través del cual las plantas podrían retrasar la conversión ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$ ó NO_2^-) por medios biológicos, por lo tanto, la IBN podría ser explotada genéticamente para mejorar la eficiencia agronómica en el uso del nitrógeno y contribuir a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas agrícolas en general y de los sistemas de producción de trigo en particular (Kishii et al 2008). Se ha informado que los pastos tropicales como la *Brachiaria humidicola* tiene el carácter de la IBN, pero no se ha encontrado en los principales cultivos de trigo, arroz y maíz (Subbarao et al. 2007).

Para que los compuestos IBN sean funcionales, ecológicamente o en la agricultura, se deben limitar o detener la conversión de NH_4^+ a NO_3^- y también debe ser lo suficientemente estable en el suelo para ser efectivo durante la mayor parte del ciclo de cultivo (Subbarao et al. 2007).

Existen estudios que demuestran que la combinación de la fertirrigación con los inhibidores de la nitrificación ha mostrado buenos resultados en cultivos hortícolas y frutales. En ensayos realizados en cítricos, en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, por Orea et al (2004) se mostró que incluso en sistemas de fertirrigación diaria la utilización del inhibidor de la nitrificación 3,4 dimetilpirazol fosfato incremento en casi un 10% la eficiencia de la fertirrigación, reduciendo de forma importante el NO_3^- acumulado en el medio (Casar y Muñoz, 2006).

Algunas plantas forrajeras (hierbas de *Brachiaria*) han demostrado tener la capacidad para regular la nitrificación en suelos lanzando los inhibidores en el suelo cerca de sus raíces. Este mecanismo biológico se ha desarrollado para reducir al mínimo las pérdidas de N asociadas a la nitrificación, mejorando la recuperación de N. La explotación genética de la inhibición de la nitrificación es posible con la manipulación de este fenómeno natural (hierbas de *Brachiaria*) y transfiriendo estos mecanismos en los cultivos de campo (ejemplo, arroz, trigo, maíz y soja) y otros forrajes (Subbarao et al 2007).

2.5. *Leymus racemosus*

El género *eymus*, consta de alrededor de 30 especies, todas las que anteriormente pertenecían al género *Elymus*, del grupo Triticeae. Las especies de este género son plantas perennes resistentes a la sequía, tolerancia a la salinidad, resistencia a enfermedades, y un alto número de semillas por espiga (Dewey, 1984).

El *Leymus racemosus* es un pariente silvestre del trigo y tiene características que no están presentes en el trigo, como el crecimiento perenne y su propagación por medio de rizomas. *L. racemosus* se distribuye desde Asia central hasta Europa

Oriental, formando colonias a lo largo de las costas y zonas áridas del interior. Al crecer en las costas, zonas con duras condiciones nutricionales y ambientales, sugiere que la especie tiene capacidad para tolerar condiciones adversas y el uso eficiente de los nutrientes (Kishii et al. 2004).

Leymus racemosus, miembro perenne de la Triticeae y un pariente silvestre del trigo, la cebada y el centeno, demostró una alta capacidad para la inhibición biológica de la nitrificación (IBN) durante estudios preliminares. (Oliver et al. 2005).

El introducir un conjunto de cromosomas de especies exóticas (parientes silvestres) en el trigo cultivado, es una estrategia ampliamente explotada y una de ellas es la transferencia de la resistencia a plagas y enfermedades del *L. racemosus* al trigo cultivado (Qi et al. 1997; Kishii et al. 2004, Chen et al. 2005).

Durante un estudio realizado por Subbarao et al. (2007) se demostró que los compuestos IBN liberados de *L. racemosus* son muy eficaces en la nitrificación y para mantener la supresión de nitrógeno en el suelo en forma NH_4 por lo menos 60 días. En contraste, todos los NH_4 en las muestras de suelo tratado con la exudación de las raíces de trigo cultivado fueron insuficientes o ineficaces en la producción compuestos inhibidores biológicos de la nitrificación (IBN).

Subbarao et al (2007) reportaron que la alta capacidad para la inhibición biológica de la nitrificación (IBN) del *L. racemosus* se asocia en el cromosoma Lr#n, además de otros dos cromosomas Lr#J y Lr# I, esto realizando ensayos recombinantes con luminiscencia de *Nitrosomonas europaeo* y exudado de raíces de trigo cultivado.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El desarrollo del presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Campo Experimental Norman E. Borlaug de Ciudad Obregón, Sonora en el block 810-C1.

3.2. Diseño Experimental

Para este estudio se manejo un diseño de parcelas divididas con cuatro repeticiones, en una combinación factorial de dos niveles de fertilización nitrogenada

y 16 genotipos. Las parcelas principales son los niveles de nitrógeno y las sub-parcelas son genotipos.

Para los niveles de aplicación de nitrógeno se uso la codificación 1 para indicar 0Kg de N y 2 para 250 Kg de N. Mientras que para las sub-parcelas se utilizaron 16 diferentes genotipos los cuales se presentan en el cuadro 1 donde se indica la enumeración de cada línea.

Cuadro 1. Genotipos utilizados para el diseño de experimento

ID	Genotipo
1	Chinese Spring (CS) Testigo
2	CS-Lr#F
3	CS-Lr#H
4	CS-Lr# I*
5	CS-Lr#J *
6	CS-Lr#k
7	CS-Lr# l
8	CS-Lr#n *
9	TA7643
10	TA7648-1
11	TA7644
12	CS-Lr#H (st)
13	TA7646
14	LE.RA Cromosoma #2
15	Lr# n translocación (1490)
16	Lr# n translocación (1500)

*cromosomas asociados a la inhibición biológica de la nitrificación (IBN).

Se aplicaron 46 Kg/ha de P₂O₅ (Súper fosfato triple) aplicados e incorporados con rastra durante la preparación del terreno. La aplicación de N se llevo a cabo a los 45

días después de la siembra. La fuente de N que se utilizó fue como urea y su aplicación fue de forma manual en el fondo de los surcos. El mismo día entró el riego, el cual sirvió para incorporar el N en el suelo.

El tamaño de la parcela (unidad experimental) fue de 2 camas de 80 cm. de ancho con 2 hileras de trigo separadas 30 cm y 2.1m de largo. En la Figura 2 se muestra el mapa de distribución final de las parcelas en el campo.

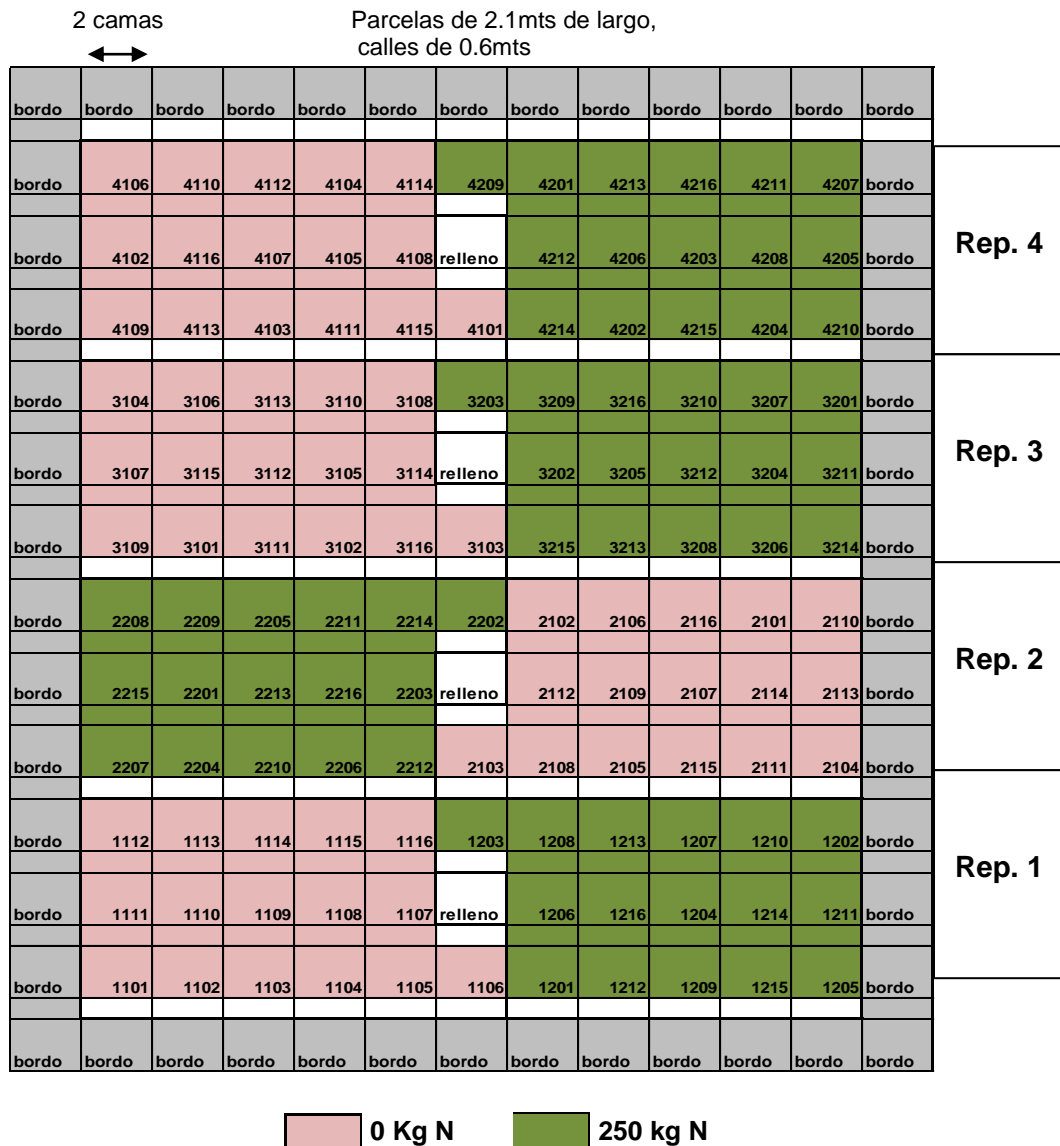


Figura 2. Mapa de distribución de parcelas

Se aplicó un total de 4 riegos, los riegos de auxilio se aplicaron cuando el nivel de agua disponible en el suelo llegaba al 50%.

3.3. Mediciones en campo

Durante el ciclo del cultivo de todas las variedades, se llevaron a cabo mediciones en campo, como parte del experimento para evaluar las variables deseadas. Cada una con un periodo establecido.

3.3.1. Mediciones Clorofila (SPAD)

Se determinó clorofila en 30 hojas por parcela, tomando una medición en el centro de cada hoja, iniciando días antes de la aplicación de N, con el medidor SPAD Minolta 502 (**Figura 3**), el cual 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.



Figura 3. Medidor de clorofila SPAD Minolta 502

Las mediciones se realizaron una vez por semana, durante tres meses, entre las 11:00 y las 15:00 horas.

3.3.2. Mediciones del Índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI)

El sensor Greenseeker (**Figura 4**) se utilizó para medir biomasa y concentración de clorofila a través del índice vegetativo NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).



Figura 4. Sensor Green Seeker

El GreenSeeker es un sensor terrestre portátil, que dispone de una fuente de luz y unos detectores, capaces de emitir y registrar respectivamente, la luz reflejada por la pared vegetal. A partir de la información obtenida en la banda roja del visible, que es la region donde se observa una fuerte absorción por la vegetación fotosintéticamente activa y el infrarrojo proximo, se pueden calcular distintos índices relativos al estado vegetativo (Rodríguez- Pérez et al., 2007).

Las mediciones se llevaron a cabo una vez por semana, durante tres meses, la mayoría de las veces realizándolas entre las 10:00 y las 15:00 horas, y cuando fuera necesario las mediciones eran en otras horas, ya que se puede medir a cualquier hora incluso de noche. Las mediciones con el sensor se llevaron a cabo en la cama este central de cada parcela, colocando la cabeza del sensor horizontalmente sobre la parte aérea del cultivo a una altura de 80 cm y desplazándolo a lo largo de toda la parcela

3.3.3. Días de antesis y madurez

Ambos se determinaron de manera visual. Para antesis es el número de días después de la siembra en que en el 50% de las plantas las anteras son extruidas de la espiga. Madurez se determinó por el número de días después de la siembra en que el 50% de los pedúnculos de la parcela se han tomado de color amarillo.

3.4. Cosecha

Se cosechó el total de la parcela experimental (2 camas de 80 cm x 2.1 metros de largo) después de madurez fisiológica. El corte fue manual, formando manojos, para evitar pérdidas por desgrane. Los manojos se pesaron y permanecieron en el campo para terminar de secarse. Posteriormente se utilizó una trilladora experimental Wintersteiger (Figura 5) para trillar los manojos.



Figura 5. Trilladora experimental Wintersteiger

Previo al manejo del grano, se llevo a cabo la limpieza del grano con el separador de semillas eliminando residuos de las espigas. Colocando el grano limpio en bolsas etiquetadas con el número de parcela correspondiente (Figura 6).



Figura 6. Bolsas de papel etiquetadas con el número de parcela.

De las bolsas con grano limpio, se tomaron dos sub-muestras de grano: una para determinación de nitrógeno en grano, y otra para humedad y peso de mil granos.

Para humedad, se registró el peso de la muestra de grano, colocada previamente en un sobre identificado con el número de parcela, posteriormente se colocaron los sobres en el horno a 105° durante 24 horas, obteniendo el peso seco del grano mediante una balanza digital.

3.5. Componentes del rendimiento

Se realizó un análisis de varianza con los datos de los componentes del rendimiento recolectados. Las variables analizadas fueron: rendimiento con humedad al 12%, Biomasa, granos/m², Peso de 1000 granos, Índice de Cosecha y peso hectolítrico. Se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 1999). Las comparaciones entre medias se llevaron a cabo utilizando la diferencia mínima significativa (DMS) de 0.05.

3.5.1. Rendimiento al 12% de humedad

Para el cálculo del rendimiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$\frac{[(WG+100S)*10000]/A (100-H)}{(100-12)}$$

Donde:

WG= Peso grano de la parcela

100S= peso seco del grano de 100 espigas

A= área cosechada

H= Humedad

3.5.2. Peso de mil granos

De la muestra con la que se determinó humedad, se llevó a cabo un conteo de 400 granos de cada parcela. Colocando las muestras en sobres identificados por repetición, tratamiento y genotipo.

Se utilizó una balanza digital para registrar el peso de los 400 granos de cada parcela, para después calcular el peso de mil granos.

3.5.3. Granos/ m²

El número de granos por metro cuadrado se obtuvo multiplicando las espigas/m² y los granos/espiga de cada parcela.

Los granos por espiga se obtienen del peso seco del grano de 100 espigas

3.5.4. Índice de cosecha (IC)

Para el cálculo del índice de cosecha se utilizó la siguiente fórmula:

$$IC = \frac{\text{Peso de 100 granos}}{\text{Peso de 100 tallos}}$$

Para obtener el peso de 100 tallos y granos se tomaron 100 tallos con espiga de cada parcela, se trillaron las espigas y se obtuvieron los granos, los cuales se colocaron en bolsas etiquetadas con el número de parcela correspondiente para después obtener el peso de los granos. Los tallos se colocaron en bolsas previamente etiquetadas para después colocarlas en el horno a 75 °C x 48 hrs. y obtener el peso mediante una balanza digital.

3.5.5. Biomasa

La estimación de biomasa se obtuvo dividiendo el rendimiento entre el índice de cosecha, previamente obtenido de cada parcela.

3.5.6. Peso Hectolítrico

Se utilizó una balanza fija especial para la determinación de peso hectolítrico (Figura 7), la cual cuenta con una tolva cónica y un vaso con capacidad de 1 litro.



Figura 7. Balanza utilizada para determinar el peso hectolítrico.

El vaso se lleno, con el grano limpio de cada, hasta que éste se derramo. El excedente de granos debe ser eliminado del recipiente pasando sobre sus bordes una regla de madera, para después calcular el peso hectolítrico.

3.6. Determinación de nitrógeno en grano, paja y nitrógeno total

Se envió una muestra de 10 gramos de grano al laboratorio de análisis de suelo y planta (CIMMYT-SPAL), donde se determinó el porcentaje de nitrógeno por el método Micro-kjeldahl. Se realizó un análisis de varianza con los datos utilizando el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 1999).

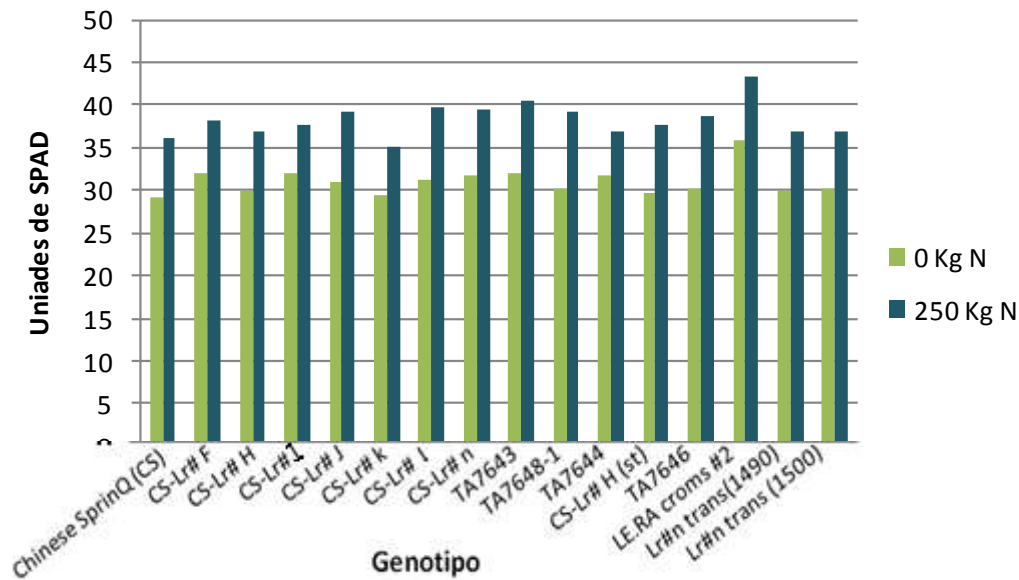
IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos en este experimento se dividen en las mediciones realizadas en campo comparando el comportamiento de las cruzas amplias de *Leymus racemosus* y el testigo, además del análisis estadístico de estas variedades en cada una de las variables por dosis de nitrógeno, y el contenido de nitrógeno total en cada línea.

4.1. Mediciones de clorofila (SPAD)

Varios estudios muestran alta correlación entre el contenido de nitrógeno en hojas y mediciones del SPAD, los valores se basan en el principio de que parte de la luz que llega de la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD, por lo que las unidades serán siempre las mismas

de acuerdo con el tono verde de las hojas (Rodríguez et al, 1998). En la Gráfica 1 se muestran los resultados obtenidos de las mediciones tomadas para conocer las unidades de SPAD en cada línea.

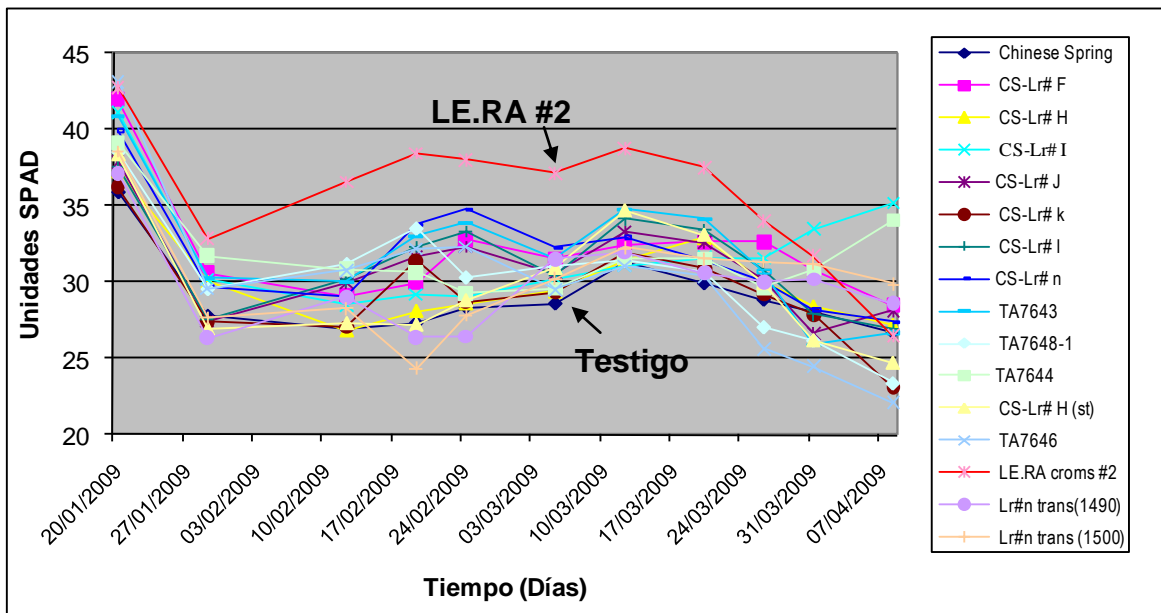


Gráfica 1. Promedio de clorofila, en floración, de todas las líneas con diferente dosis de nitrógeno.

Observando la grafica, las líneas a las que se les adicionó nitrógeno tuvieron una cantidad alta en las unidades de clorofila. Según Rodríguez (1999), esto se debe a que el nitrógeno a mayores concentraciones produce más clorofila y por lo tanto más actividad fotosintética.

Esto nos indica que al estar presente el nitrógeno en la planta las unidades de clorofila van a ir en aumento, al contrario de las que no se les adicionó nitrógeno. En el caso de las líneas CS-Lr# I, CS-Lr# J, CS-Lr# I, TA7643, CS-Lr#H (st) y LE.RA#2 obtuvieron mayores niveles de clorofila que el testigo, a pesar de no haber tenido la adición de nitrógeno, mostrando diferencia significativa con el testigo.

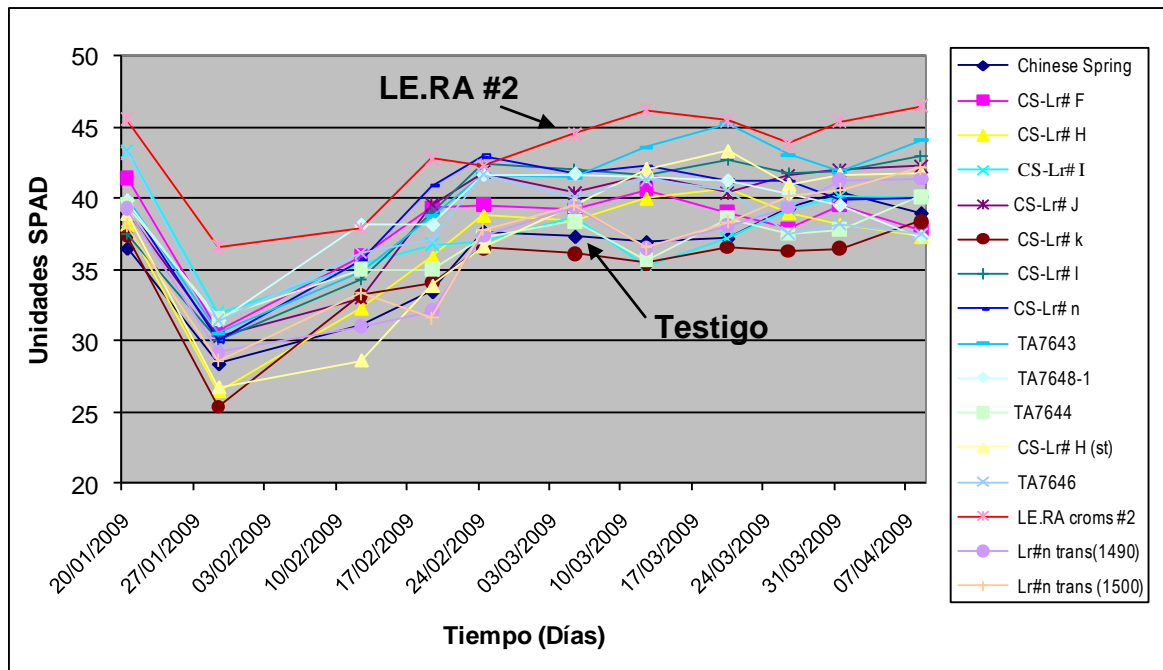
En la Gráfica 2 se muestra el comportamiento de las mediciones con el SPAD de cada una de las líneas, sin adición de nitrógeno, con respecto al tiempo.



Gráfica 2. Comportamiento de las líneas, con 0 Kg de nitrógeno, en clorofila a través del tiempo.

En la gráfica el rango de unidades de clorofila que se presentó fue de 22 a 43, observándose claramente como la línea LE.RA #2 es la que presentó valores más altos durante el ciclo, comparando con el testigo. Al final del ciclo las líneas CS-Lr#I y TA7644 obtuvieron los valores más altos, alrededor de las 35 unidades de clorofila.

En la Gráfica 3 los valores de clorofila estuvieron en un rango de 25 a 46 unidades; aquí se puede observar nuevamente que la línea LE.RA#2 sobresalió con valores altos al adicionarle nitrógeno.



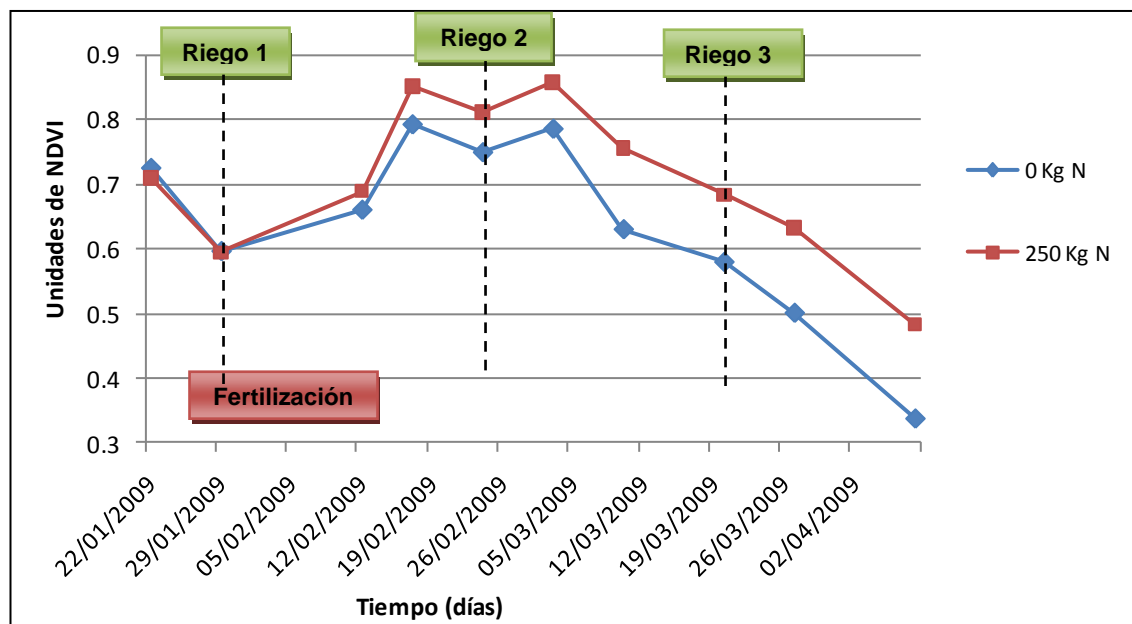
Gráfica 3. Comportamiento de las líneas, con 250 Kg de nitrógeno, en clorofila a través del tiempo.

La línea LE.RA #2, con 0 Kg de N, presentó valores altos al inicio del ciclo pero al final las unidades de SPAD fueron disminuyendo, en cambio al adicionarle 250 Kg. de N los valores de clorofila aumentaron. Las líneas CS-Lr# I, TA7643 y CS-Lr# n presentaron valores de SPAD altos, mientras que las variedades CS-Lr# k, TA7644 y Lr#n trans(1500) tuvieron unidades bajas de clorofila.

Novoa et al. (2000), demuestran que en el cultivo de maíz las unidades de clorofila, se ven favorecidas con tratamientos que incluyen nitrógeno por aplicación foliar, encontrándose que el porcentaje de nitrógeno está altamente correlacionado con las mediciones realizadas con el SPAD.

4.2. Mediciones del Índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI)

Los resultados obtenidos con el sensor Greenseeker, midiendo el índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI), se muestran en la Gráfica 4, donde se señalan las fechas de los tres riegos de auxilio durante el ciclo y la fertilización. En esta gráfica se observa el promedio de los valores de NDVI de todas las variedades con dos niveles de N a través del tiempo.

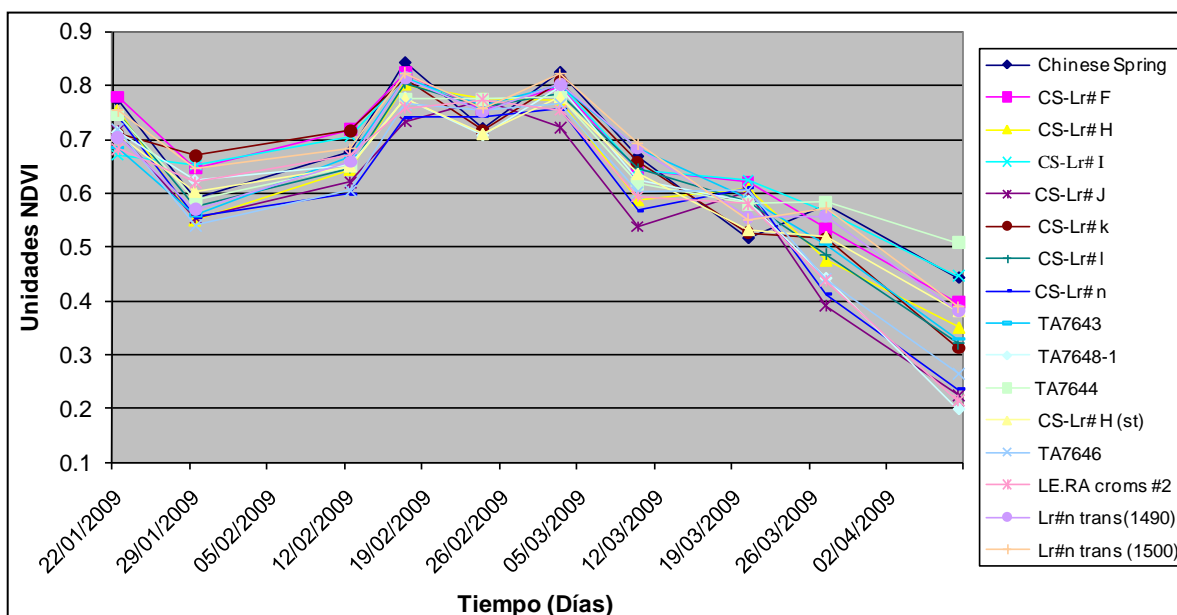


Gráfica 4. Promedio de NDVI de todas las variedades, con dos niveles de nitrógeno, a través del tiempo.

Las líneas con 0 kg de nitrógeno se mantuvieron con bajos niveles de NDVI a comparación de las que se les adiciono nitrógeno, solamente al inicio del ciclo las líneas sin adición de nitrógeno presentaron valores altos de NDVI, antes del primer riego de auxilio.

Al llevarse a cabo el primer riego de auxilio, se presentó un incremento en los valores de NDVI de las líneas, debido a que durante ese riego se aplicó la fertilización nitrogenada. Para el segundo riego, el NDVI en los dos niveles de nitrógeno se comportó diferente, es decir, en las líneas con nitrógeno las unidades de NDVI fueron mas altos y en el caso de las variedades sin adición de nitrógeno, los valores fueron mas bajos.

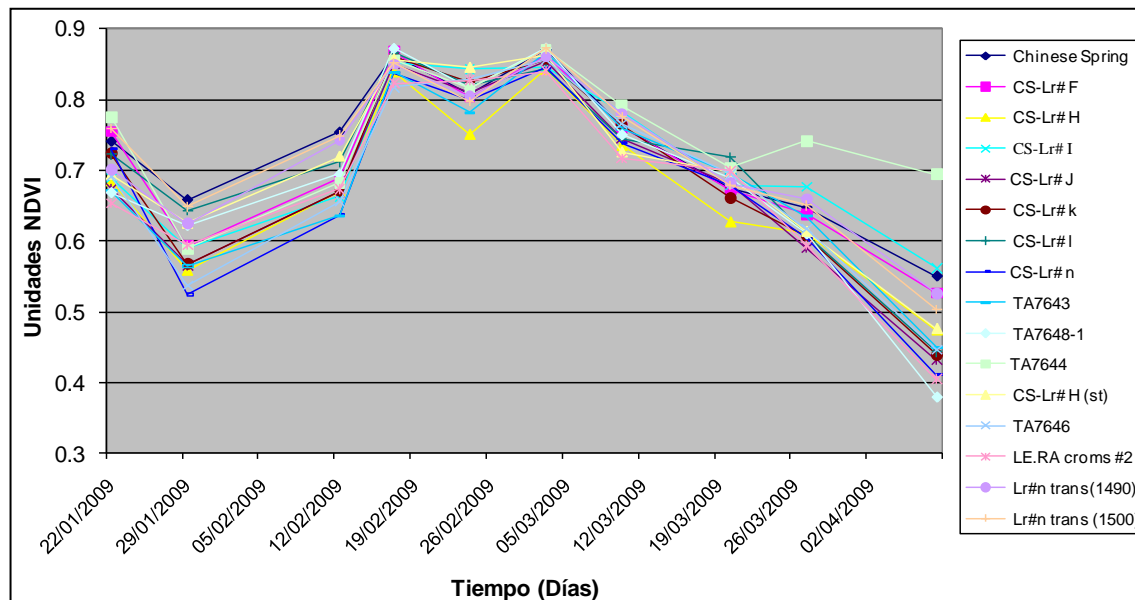
Para observar mejor el comportamiento de las líneas sin nitrógeno, en la Gráfica 5 se muestran las unidades de NDVI que presentaron durante el ciclo. Las líneas que mantuvieron valores mas altos de NDVI durante el ciclo fueron el testigo y las líneas CS-Lr#F, CS-Lr#I, CS-Lr#k. Mientras que las líneas CS-Lr#J, CS-Lr#n y LE.RA #2 presentaron unidades mas bajas de NDVI durante el ciclo.



Gráfica 5. Unidades de NDVI en las líneas con 0 Kg de nitrógeno a través del tiempo.

Para el tercer riego hubo diferencia entre las líneas con 0 Kg de N, ya que en unos casos las unidades de NDVI bajaron y en otras líneas las unidades subieron.

En el caso de la aplicación de 250 Kg de N, no todas las variedades mencionadas anteriormente tuvieron un comportamiento similar que con nitrógeno. En la Gráfica 6 se observa que los valores de NDVI en las variedades aumentaron, en algunos casos, en comparación con las líneas sin nitrógeno.



Gráfica 6. Unidades de NDVI en las líneas con 250 Kg de nitrógeno a través del tiempo.

La línea TA7644 aparece con valores altos de NDVI, durante la mayoría del ciclo, además de que al final tuvo diferencia significativa en las unidades comparando con las demás variedades. Esto se debió a que esta línea presentó un ciclo más largo que las otras líneas y tardó más tiempo en iniciar senescencia.

Al inicio del ciclo, el testigo presentó valores altos de NDVI a diferencia de las líneas CS-Lr#n y CS-Lr#k. Las variedades CS-Lr# I y LE.RA # 2 presentaron valores altos de NDVI en la mayoría del ciclo. En cambio CS-Lr# H, TA7646 tuvieron valores bajos.

4.3. Componentes del Rendimiento

Los componentes del rendimiento analizados fueron: Rendimiento al 12% de humedad, granos/m², Peso de 1000 granos, Biomasa, Índice de Cosecha, Antesis, Madurez y peso hectolítrico.

4.3.1. Análisis de varianza de los componentes de rendimiento

Como variables dependientes se tienen el rendimiento al 12% de Humedad, granos/m², peso de mil granos, biomasa, Índice de Cosecha, antesis, madurez y peso hectolítrico; en las cuales se presentó una diferencia significativa entre el nivel de nitrógeno, el genotipo y la interacción de N y Genotipo. En el cuadro 2 se muestran los valores que se obtuvieron para el análisis de varianza.

Cuadro 2. Análisis de varianza de componentes de rendimiento

Fuente de variación	gl	Rendimiento	Granos/ m ²	Peso mil granos	Biomasa	Índice de Cosecha	Antesis	Madurez	Peso Hectolítrico
Nitrógeno	1	*	**	**	**	**	*	**	**
Nitrógeno *rep.	6	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns
Genotipo	15	**	**	**	**	**	**	**	**
Genotipo* N	15	**	**	*	*	ns	*	**	ns

gl = grados de libertad

ns= no significativo ; * = p < 0.05 ; ** = p < 0.01

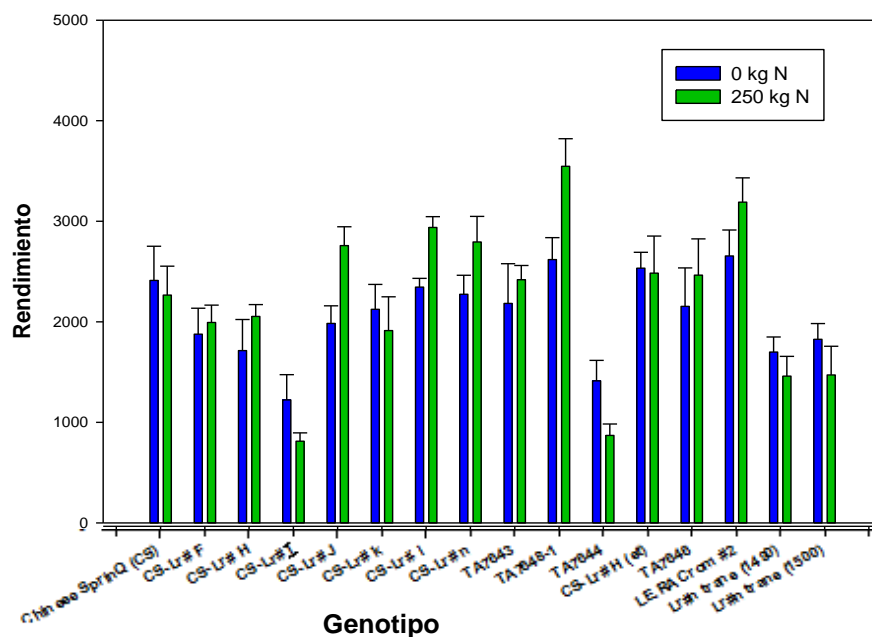
En el cuadro 2 se pudo observar que el efecto de genotipo es significativo en todas las variables, al igual que el nitrógeno. Por otro lado la interacción entre el genotipo y

nitrógeno es significativa en la mayoría de las variables lo cual quiere decir que la diferencia entre genotipos depende del nivel de nitrógeno.

En índice de cosecha y peso hectolítrico no hay un efecto significativo de la interacción genotipo-nitrógeno, pero si hay diferencia significativa de la dosis de nitrógeno y del tipo de genotipo.

4.3.2. Rendimiento al 12% de humedad

Los resultados de rendimiento se presentan en la Gráfica 7 donde se aprecia las diferencias entre cada uno de los genotipos de acuerdo con los niveles de nitrógeno.



Gráfica 7. Diferencias de rendimiento entre líneas y dosis de nitrógeno

De acuerdo con los resultados observados en la gráfica 7 el genotipo TA7648-1 sobresalió por su mayor rendimiento en los dos niveles de N, siguiendo el LE.RA#2. También sobresalieron las líneas CS-Lr# J, CS-Lr#l y CS-Lr#n, sobre todo al

adicionarle 250 Kg de N. Mientras que el genotipo que menos rendimiento presentó fue el CS-Lr#I con una media de 812 siguiendo la línea TA7644 también con un rendimiento bajo.

En el caso de la línea CS-Lr#H (st) se puede observar que, además de ser una de las líneas que rindió más con nitrógeno, también tuvo casi el mismo rendimiento que sin nitrógeno, incluso con 0 Kg de N llegó a rendir más que otras líneas adiconadas con N, por ejemplo la línea TA7644. Sin nitrógeno las líneas con mayor rendimiento fueron LE.RA #2, TA7648-1, CS-Lr#H (st), no se presentó diferencia significativa entre ellas, pero al contrario del genotipo CS-Lr#H (st), las dos líneas antes mencionadas tuvieron mayor rendimiento cuando se les aplicó nitrógeno que sin N. lo cual muestra que responden bien a las aplicaciones de nitrógeno.

El testigo (*Chinese spring*) y la línea CS-Lr#k tuvieron un comportamiento similar a la línea CS-Lr#H (st), con una diferencia no significativa entre los dos niveles de nitrógeno. En el caso de las líneas CS-Lr#I, TA7644, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500) presentaron diferencia significativa entre los dos niveles de nitrógeno y el rendimiento fue más alto con 0 Kg de N.

4.3.3. Granos/m² y Peso de mil granos

La cantidad de granos por unidad de área es el parámetro que mejor se relaciona con el rendimiento, ya que incide más en el rendimiento que el peso de los granos, pues esta variable depende más de las condiciones ambientales durante su llenado (García, 2006).

En la figura 8 se puede observar que las líneas TA7648-1, CS-Lr# 1, CS-Lr# n, CS-Lr# H, CS-Lr# H (st) y el testigo (CS) tienen mayor cantidad de granos/m² al adicionarle 250 Kg N, mientras que las variedades CS-Lr# I y TA7644 tuvieron valores bajos con diferencia significativa de las demás líneas.

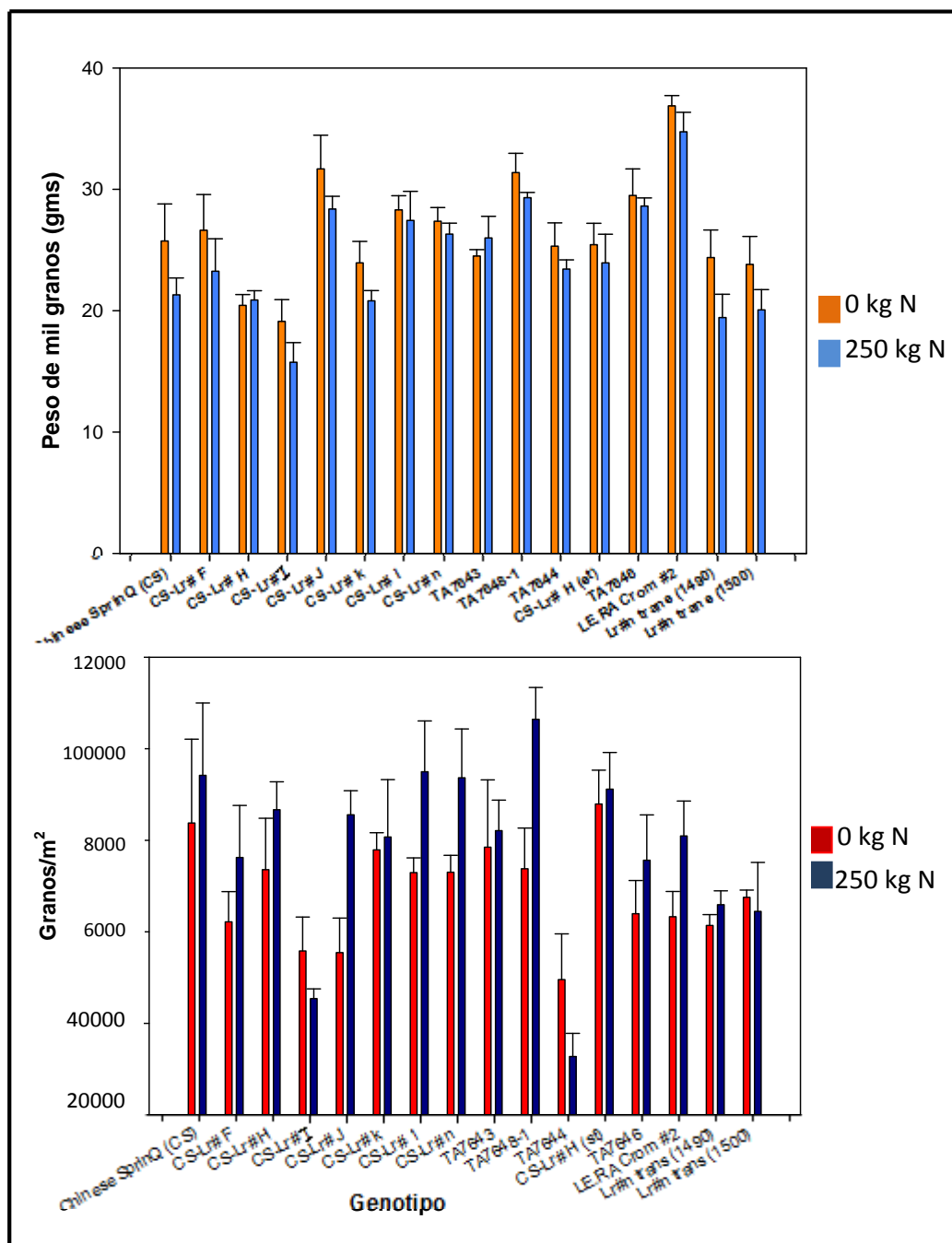


Figura 8. Diferencias entre líneas, de las variables peso de mil granos y Granos/m², con dos niveles de nitrógeno.

En el caso de las variedades sin adición de nitrógeno, el número de granos/m² no fue muy alto, pero sin presentar mucha diferencia significativa. En este caso, con 0 Kg de nitrógeno, las líneas CS-Lr#H (st), TA7643, TA7648-1 y el testigo (chinese spring) presentaron más n° de granos/m² pero sin diferencia significativa.

Las variedades CS-Lr# I y TA7644 obtuvieron más granos por metro cuadrado sin la adición de nitrógeno y con diferencia significativa al agregarle 250 Kg de N. El rendimiento del testigo fue mayor con 0Kg de nitrógeno y presentó mayor número de granos/m² al adicionarle nitrógeno. Mientras que las líneas que rindieron más (TA7648-1 y LE.RA crom#2), obtuvieron mayor n° de granos con 250 Kg de N con diferencia significativa entre dosis de N.

Estudios realizados por Calderini (2006) indican que durante los últimos años el índice de cosecha se ha mantenido como el atributo principal responsable del aumento en rendimiento de grano. En general, el número de granos/m² se asoció con aumentos en rendimiento de grano. Sin embargo, los nuevos cultivares mostraron un aumento de peso del grano.

En el peso de mil granos (Figura 8), los genotipos que presentaron mayor rendimiento son los que presentaron mayor peso de mil granos al igual de los que tuvieron menor rendimiento. Solamente que en este caso si existe diferencia significativa entre tratamientos en las líneas TA7648-1 y LE.RA #2 al contrario de como se presentó en el rendimiento.

El peso de mil granos establece la calidad del trigo ya que es un fuerte indicador de rendimiento de harina, debido a que el porcentaje de endospermo en granos de trigo de una misma variedad es normalmente mayor en granos más grandes, y con esa

información se podría tomar este parámetro para hallar cual línea tendrá mejor rendimiento para la producción de harina (Peña, 2007).

El peso de mil granos presentado por TA7648-1 y LE.RA #2 fue mayor cuando no se les aplicó nitrógeno. En el caso del testigo (*Chinese spring*) el peso fue mayor sin nitrógeno al igual que en el rendimiento. Los genotipos CS-Lr# H, CS-Lr# I y CS-Lr# H (st) no presentaron diferencia significativa entre dosis de nitrógeno.

La línea CS-Lr# J rindió más al adicionarle nitrógeno y tuvo diferencia significativa con 0 kg de N, pero en el caso del peso de mil granos en esta línea, presentó más peso sin nitrógeno que con 250 Kg de N aunque también hubo diferencia entre tratamiento de N.

4.3.4. Índice de cosecha y Biomasa

El índice más utilizado para medir la eficacia de la planta para transformar la biomasa en grano es el índice de cosecha, que es la relación porcentual entre el peso del grano y el peso total de la planta. Este índice ha tenido un papel fundamental en la mejora de los rendimientos en trigo harinero (Peña, 2007).

En el índice de cosecha (IC) las líneas sin nitrógeno fueron más altas a comparación de las que se les agregó nitrógeno, como se observa en la Figura 9, la línea LE.RA #2 presentó, en los dos niveles de nitrógeno, valores altos de índice de cosecha, mientras que el genotipo TA7648-1 tuvo un IC elevado sin adición de nitrógeno, presentando diferencia significativa con 250 Kg de N.

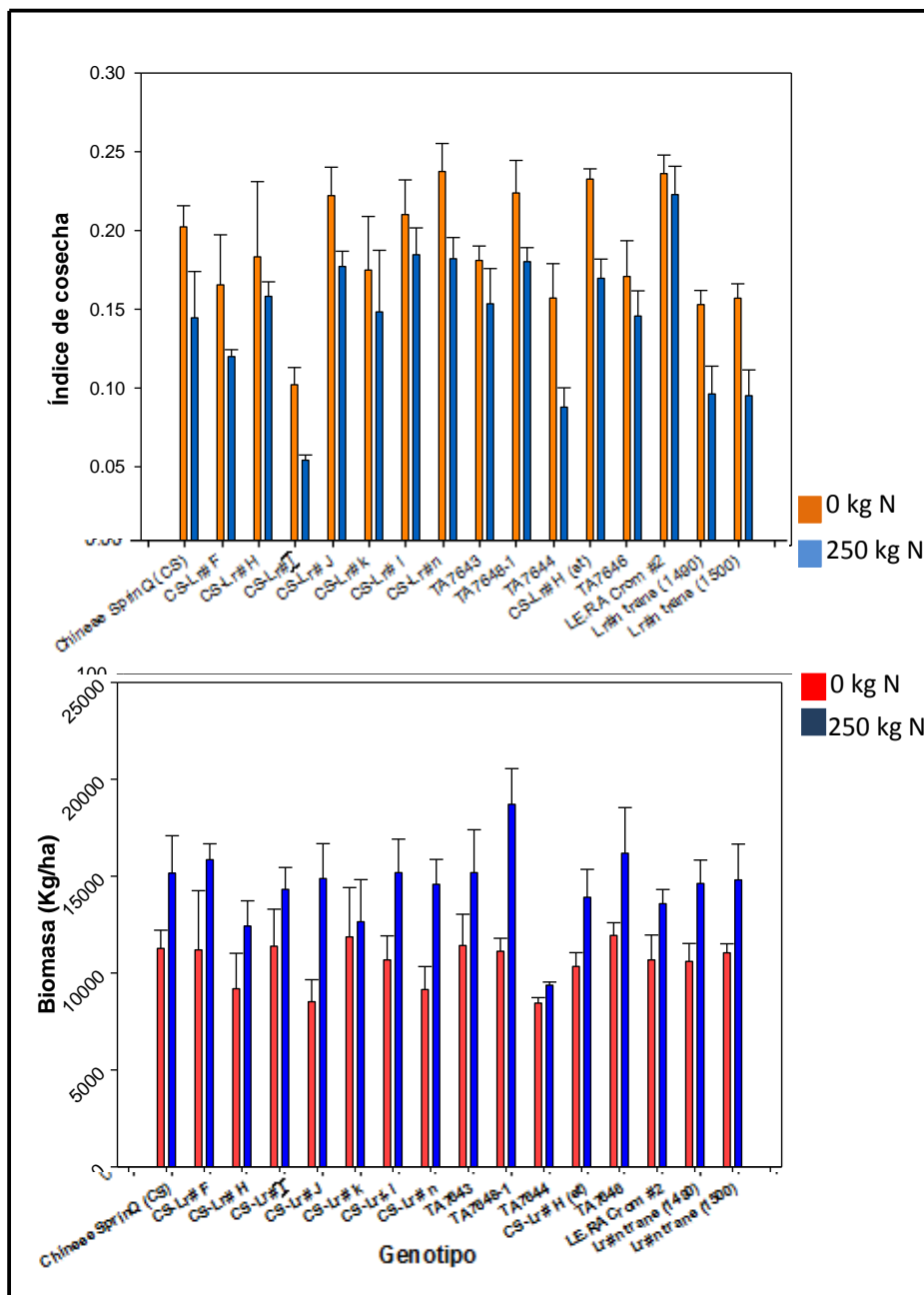


Figura 9. Diferencias entre líneas, de las variables Índice de cosecha y Biomasa, con dos niveles de nitrógeno.

Donmez et al. (2001) demostraron que la biomasa, así como el índice de cosecha, se ha mejorado a través de las nuevas variedades de trigo. Además proporcionaron evidencia de que el índice de cosecha, puede ser demostrado con mayor rendimiento, en comparación con la biomasa.

El testigo presentó diferencia significativa con las líneas LE.RA #2, TA7648-1, CS-Lr# J y CS-Lr# n, en ambas dosis de nitrógeno, de las cuales solamente LE.RA# 2 no presento diferencia con dos niveles de nitrógeno.

Sayre et al. (1997) informó de que el aumento del rendimiento de grano fue altamente significativo en la correlación del índice de cosecha y el número de granos por unidad de superficie, pero no con la producción de biomasa total.

En Biomasa (Figura 9), el genotipo TA7648-1 present el valor más alto, con diferencia significativa entre las demás líneas incluyendo el testigo. Las variedades TA7646, CS-Lr# F y TA7643 también presentaron biomasa alta, dentro de los cuales ya no estuvo el genotipo LE.RA #2 que tuvo un rendimiento alto, lo que indica que hubo una mejor conversión de la biomasa a producción de grano.

La cantidad de biomasa es el follaje que la planta desarrolla y puede ser asociado con la eficiencia de las plantas para aprovechar el nitrógeno. En la investigación realizada por Golik et al (2002) comprobaron que la acumulación y partición del N sigue la tendencia de la biomasa, siendo modificadas por los tratamientos de fertilización y no por los sistemas de labranza.

La línea TA7644 presentó diferencia significativa entre los demás genotipos, mostrando una biomasa menor a los demás; este genotipo rindió menos al adicionarle nitrógeno, pero obtuvo mayor biomasa, y en cambio sin la adición de nitrógeno el rendimiento y el índice de cosecha fueron superiores.

El testigo presentó mas biomasa con nitrógeno, teniendo diferencia significativa entre tratamiento de N. Además no hubo diferencia significativa entre la línea TA7648-1 y el testigo en biomasa con 0 Kg de nitrógeno. LE.RA# 2 obtuvo biomasa más alta con N y en su caso el rendimiento también fue alto al adicionarle nitrógeno.

Con los datos de las mediciones realizadas con el sensor greenseeker y la biomasa total de cada una de las líneas se obtuvo una relación la cual se muestra en la Figura 10.

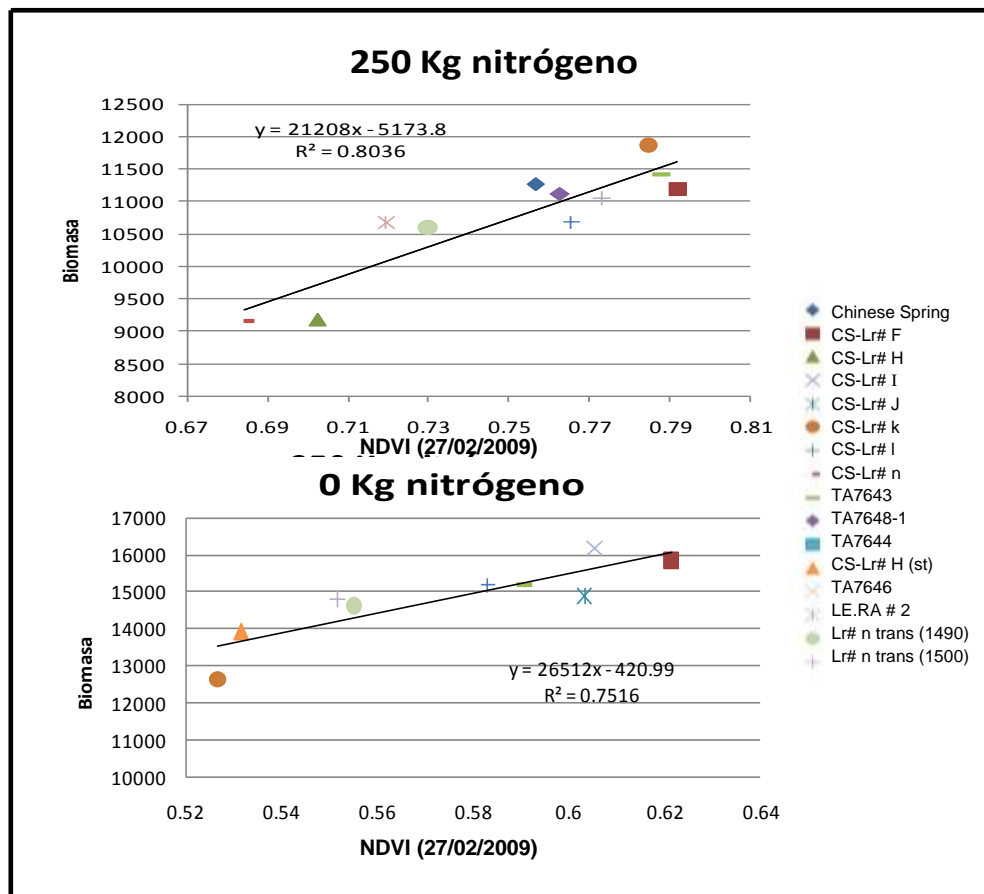


Figura 10. Relación del NDVI y la biomasa total de los genotipos con dos niveles de nitrógeno, en etapa de floración.

Erna Lukina (2001) utilizó las lecturas espectrales en rojo y el infrarrojo cercano (región NIR) para calcular el índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI), comprobando la correlación de los valores de NDVI con el rendimiento de grano donde se demuestra el potencial del genotipo en términos de rendimiento y eficiencia en el uso de nitrógeno

En la figura 10 se observa que la relación en los dos niveles de nitrógeno varia, en el caso de la adición de 250 Kg de N la relación fue de 0.80 por lo que se comprueba que las mediciones de NDVI durante el ciclo, sirven para estimar la cantidad de biomasa que presentara el cultivo. Shanahan et al., (2001), indican que la base para la relación de NDVI y la biomasa, es la cantidad de radiación fotosintética activa absorbida.

4.3.5. Antesis y Madurez

En antesis la mayoría de las líneas no presentaron diferencia significativa, pues obtuvieron valores parecidos. El testigo, con nitrógeno, obtuvo valores de antesis altos junto con CS-Lr#I, CS-Lr#k, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500) sin presentar diferencia significativa entre ellas, además de que esas mismas líneas tuvieron valores altos pero sin nitrógeno.

Bergh et al, (2006) menciona que las aplicaciones de nitrógeno (N) foliar en el período comprendido entre hoja bandera y antesis permiten optimizar el rendimiento y/o mejorar la calidad del grano de trigo.

De las líneas que presentaron mayor periodo de antesis, solamente CS-Lr# k y el testigo (*Chinese Spring*) tuvieron un rendimiento alto en comparación con las demás líneas (CS-Lr#I, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500)). En la figura 11 se muestran estas diferencias entre variedades.

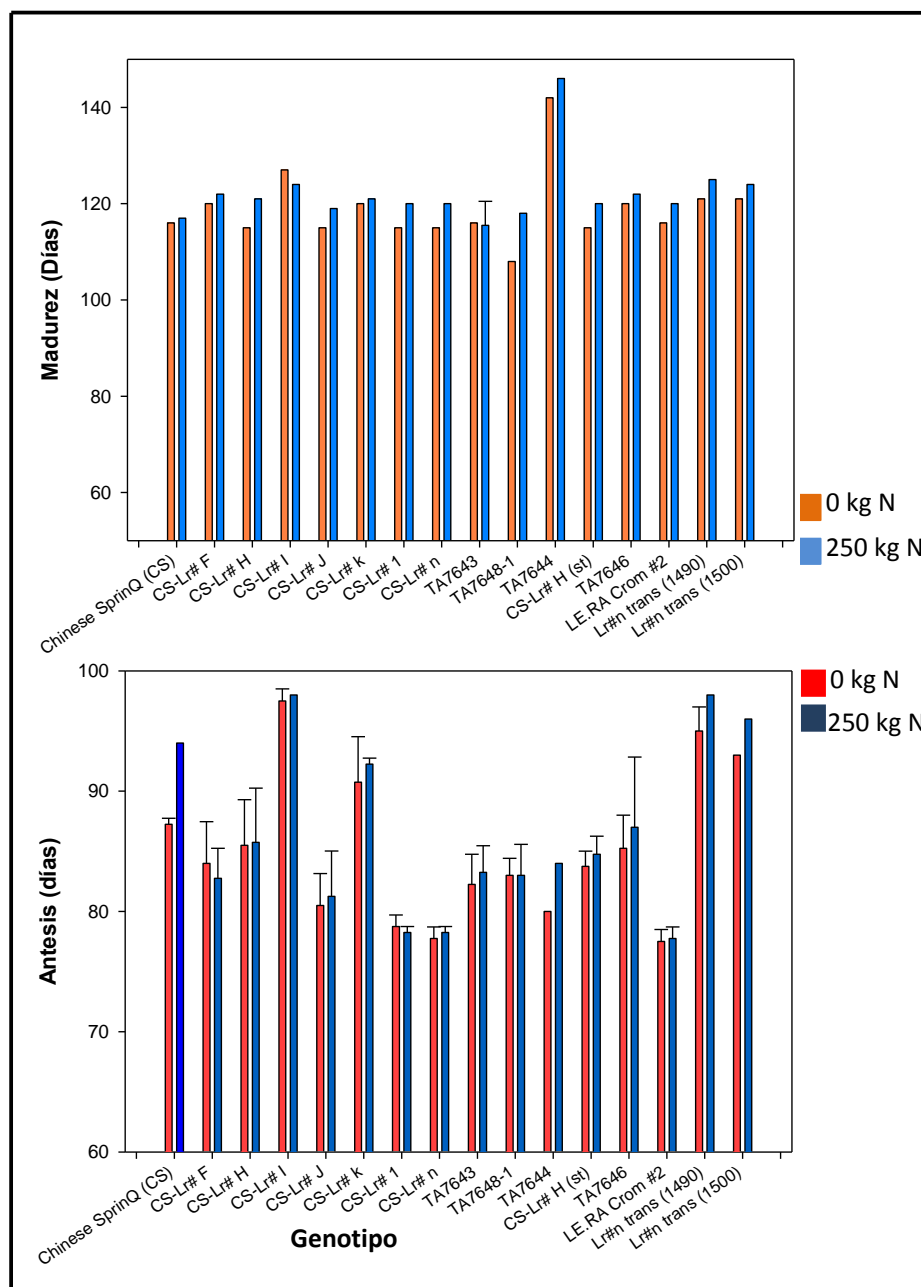


Figura 11. Diferencias entre líneas, de las variables Antesis y Madurez, con dos niveles de nitrógeno.

LE.RA. # 2 presentó un menor número de días a antesis, comparado con el testigo. Mientras que TA7648-1 no presentó diferencia con *Chinese Spring*.

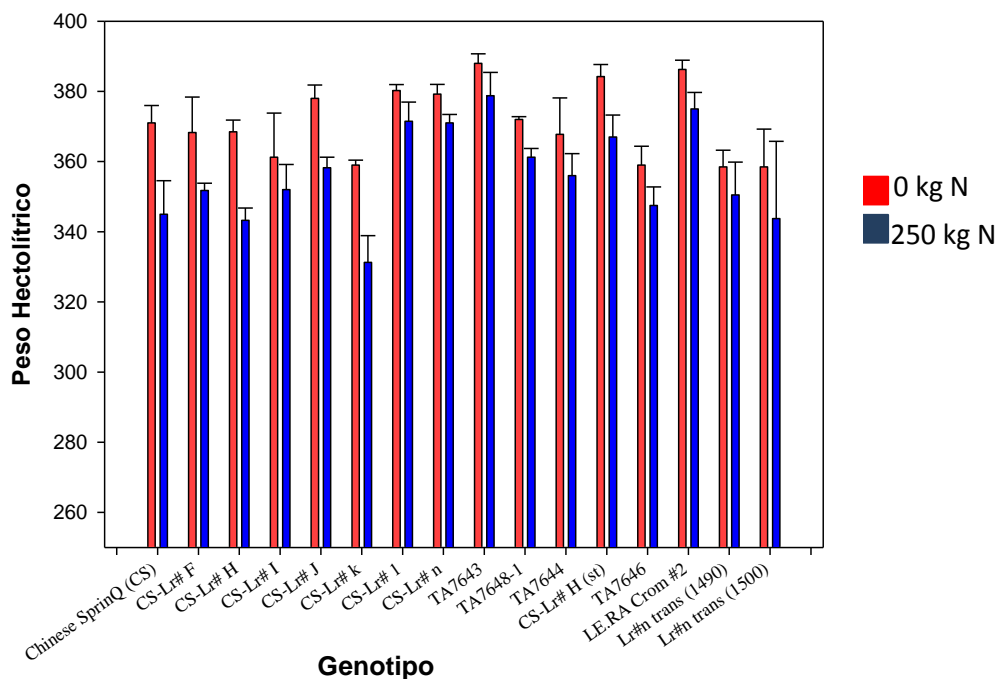
En días de madurez todas las líneas, a excepción de TA7644, no presentaron diferencia significativa entre ellas y en los dos niveles de nitrógeno. La línea TA7644 presentó bajo rendimiento además del IC y la biomasa, por lo que se puede decir que esta variedad presenta un ciclo más largo a diferencia de las demás líneas.

4.3.6. Peso Hectolítrico

El peso hectolítrico (peso/volumen) indica la densidad y/o el llenado del grano, este parámetro es definido principalmente por la morfología del grano de una variedad, la cual puede ser afectada negativamente por siembras tardías, deficiencia de nitrógeno, deficiencia en el abasto de agua y temperaturas muy altas en la etapa de llenado (Peña, 2007).

Las líneas TA7643, CS-Lr# H (st) y LE.RA #2 obtuvieron mayor peso que el *Chinese spring*, presentando diferencia significativa. Las líneas Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500) no presentaron diferencia entre tratamiento de nitrógeno.

En la gráfica 8 se pueden observar detalladamente las diferencias entre cada línea en peso hectolítrico con dos niveles de nitrógeno.



Gráfica 8. Diferencias entre líneas, de la variable peso hectolítrico, con dos niveles de nitrógeno.

Con 250 Kg de N, las líneas CS-Lr# I, CS-Lr# n, TA7643, CS-Lr# H (st) y LE.RA#2 mostraron diferencia significativa con el testigo, obteniendo valores más altos en el peso hectolítrico. La variedad TA7648-1 presentó un mayor peso que el testigo con 250 kg de N, presentando diferencia significativa, en cambio con 0 Kg de N, las dos variedades no presentaron diferencia en peso hectolítrico.

4.4. Nitrógeno total, en grano y paja

Se realizó un análisis de varianza del N en grano, N en paja y el N total de las líneas en estudio, con dos niveles de nitrógeno.

4.4.1. Análisis de varianza de nitrógeno en grano, paja y N total

En el cuadro 3 se puede apreciar el análisis de varianza entre el N total y el N en grano y paja.

Cuadro 3. Análisis de varianza del Nitrógeno total, en grano y paja.

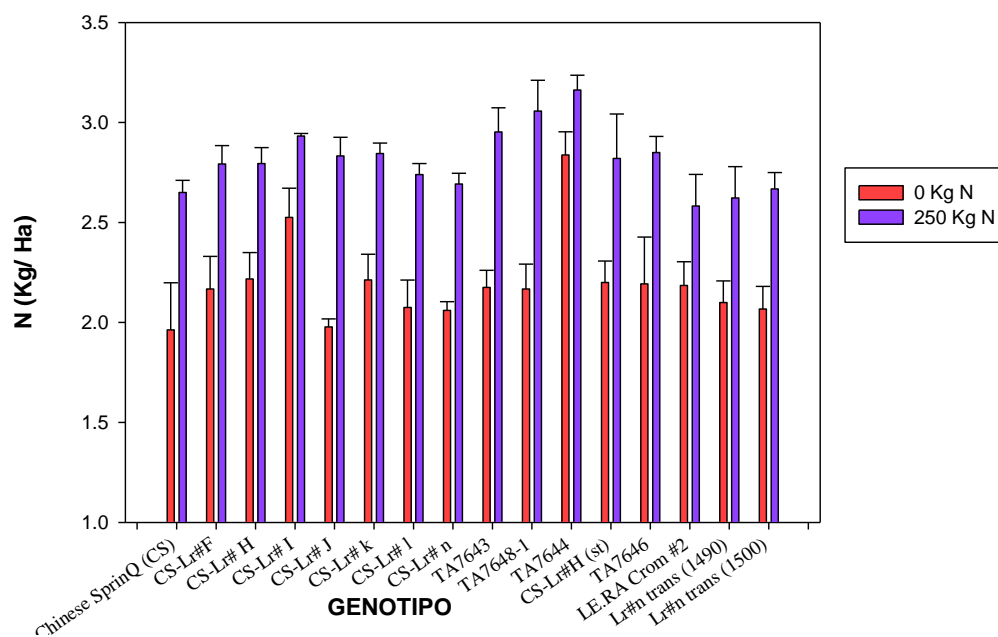
Fuente de variación	gl	N total	N en grano	N en paja
Nitrógeno	1	**	**	**
Nitrógeno*Rep.	6	*	ns	ns
Genotipo	15	**	**	**
Genotipo*N	15	*	*	ns
gl= grados de libertad		N = nitrógeno		
ns= no significativo ; * = p<0.05 ; **=p<0.01				

El nitrógeno total y el N en grano mostraron una diferencia significativa, en la relación genotipo-nitrógeno. Por otra parte el nitrógeno acumulado en paja no resultó significativo en la interacción genotipo- nitrógeno, pero si hubo un efecto significativo de nitrógeno y de el genotipo.

4.4.2. Nitrógeno en grano

El N asimilado por la planta previo a floración puede ser trasportado al grano y de hecho constituye la mayor parte del N utilizado en la síntesis de proteínas del grano. El genotipo y el ambiente pueden afectar la eficiencia del proceso de movilización de ese N (García, 2006).

La cantidad de nitrógeno que se presentó en el grano se muestra en la Gráfica 9 donde la línea TA7644 presentó valores más altos con y sin nitrógeno. La variedad CS-Lr#J presentó menos nitrógeno en grano sin adición de nitrógeno, pero con 250 Kg. de N, la cantidad de nitrógeno fue alta.



Gráfica 9. Nitrógeno en grano de cada línea con dos niveles de nitrógeno.

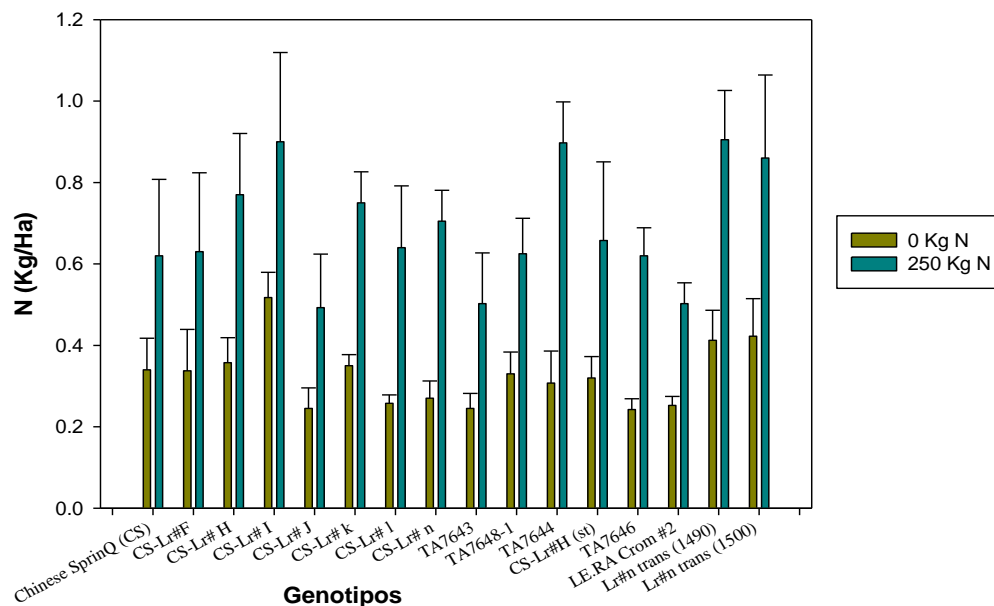
En el caso de las líneas TA7643, TA7648-1, TA7644, las cuales obtuvieron valores más altos, no presentaron diferencia significativa entre ellas, pero si con el testigo. El testigo no presentó diferencia significativa de las otras variedades como la línea CS-Lr#F, CS-Lr#H, CS-Lr# I, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500). Al igual que en las dosis de nitrógeno de 250 Kg. / ha.

Datos reportados por distintos autores indican que aplicaciones de N al cultivo posteriores al estado de hoja bandera serían responsables de incrementos en el contenido de N en el grano (Porsborg et al., 2005; Varga & Svecnjak, 2006).

Tomando en cuenta la cantidad de nitrógeno total, en comparación con el porcentaje que se encontró en grano, unas líneas no presentaron una gran diferencia como se puede apreciar en la grafica, por ejemplo: la línea TA7644 adicionada con nitrógeno presenta gran diferencia significativa de la sin adición de nitrógeno, pero en el porcentaje de N en grano la diferencia no es tan elevada. Esto se puede deber a que una parte del nitrógeno total que se obtuvo se encuentra en la paja o se perdió por volatilización o lixiviación.

4.4.3. Nitrógeno en paja

En la gráfica 10 se muestra el contenido de nitrógeno encontrado en paja de cada una de las líneas.



Gráfica 10. Nitrógeno en paja en cada línea con dos niveles de nitrógeno.

Comparando con el porcentaje de N encontrado en grano, las variedades presentaron diferencia significativa con las que no se les adiciono N. Las líneas

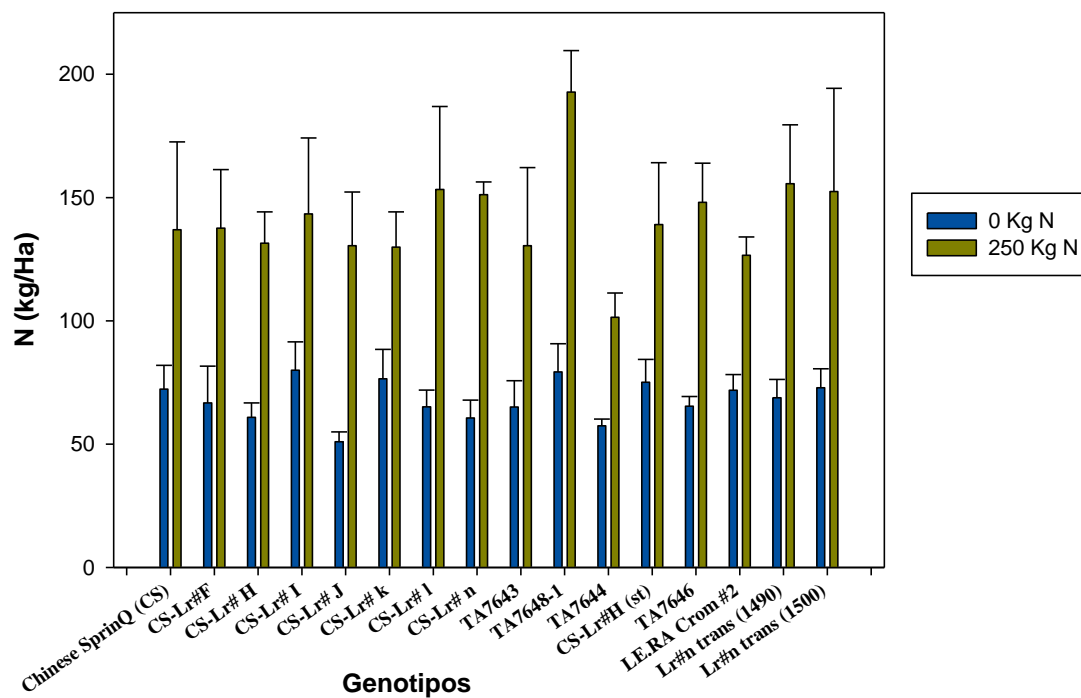
TA7644, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500) obtuvieron valores altos de nitrógeno en paja, las líneas Cs-Lr#I y TA7644 presentaron el mismo comportamiento en nitrógeno en grano, descartando un porcentaje alto de pérdida de nitrógeno en estas variedades.

La concentración proteica en el grano de trigo es de gran interés agronómico ya que es uno de los determinantes del precio del grano. El N requerido para la síntesis de proteínas que se acumulan en el grano de trigo en desarrollo proviene mayormente de la removilización del N previamente asimilado y acumulado en las hojas (Simpson et al, 1983; Caputo, 2009)

4.4.4. Nitrógeno Total

En el análisis de nitrógeno total, las líneas con 250 Kg de nitrógeno presentaron diferencia significativa con las que no se les adiciono nitrógeno. El genotipo TA7648-1 obtuvo el valor más alto con un 192 kg/ha de N total, siguiendo las líneas CS-Lr#I, CS-Lr#n, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500). Teniendo el valor más bajo la línea TA7644 con 101.44 Kg/ ha de N.

El testigo no presentó diferencia con la línea LE.RA #2 con 250 Kg de N, como se muestra en la Gráfica 11, la cual fue una de las que rindió más al adicionarle nitrógeno, lo que indica que hubo un aprovechamiento de nitrógeno por parte de esta variedad.



Gráfica 11. Nitrógeno Total en cada una de las líneas con dos niveles de nitrógeno.

La eficiencia de uso de N es la proporción del N acumulado en órganos vegetativos que llega al grano y oscila entre 50 y 60 %, pero puede llegar a más de 80% en trigos de alto potencial. Estos cultivares pueden además tener mayor capacidad de absorber N luego de floración, aunque esto parece depender más de factores ambientales que genéticos (García, 2006).

En el caso de las líneas sin adición de nitrógeno las líneas CS-Lr#I, TA7648-1 y CS-Lr#H (st) presentaron valores más altos de nitrógeno total, pero sin presentar diferencia entre ellas.

Las líneas CS-Lr# I, CS-Lr# n, Lr#n trans (1490) y Lr#n trans (1500) también obtuvieron valores altos de nitrógeno total con 250 Kg de N; de estas solamente Lr#

n trans (1490) y Lr#n trans (1500) no tuvieron un rendimiento alto al adicionar N, por lo que se puede decir que las líneas CS-Lr# l y CS-Lr# n presentaron una eficiencia en el uso de nitrógeno.

En el caso de Lr# n trans (1490) y Lr# n trans (1500), el rendimiento con 250 Kg/ha de N fue bajo, sin embargo presentaron valores altos de nitrógeno total al adicionarle N. por lo que se puede decir que estas líneas absorbieron nitrógeno pero lo utilizaron más en el desarrollo vegetativo y no lo convirtieron al rendimiento de grano.

La línea TA7648-1, la cual tuvo un rendimiento alto con y sin nitrógeno, presentó valores elevados en el nitrógeno total, lo que puede indicar que la pérdida de nitrógeno en esta línea no fue alta, sino que presentó una eficiencia en el uso de nitrógeno que se le adiciono.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al contenido de clorofila, la línea LE.RA #2 presentó valores más altos con respecto al testigo *Chinese spring* en ambas dosis de nitrógeno aplicadas. Siendo las variedades CS-Lr# I y TA7644 las que alcanzaron valores mayores pero solo al final del ciclo, probablemente porque tienen un ciclo de cultivo más largo a diferencia de las demás líneas.

Por otro lado en el índice vegetativo diferencial normalizado (NDVI) las líneas mostraron más variabilidad entre ellas cuando no se aplicó N que cuando se aplicaron 250 Kg N. Por otro lado, cuando se aplicó N fue más fácil diferenciar las líneas al final del ciclo de cultivo.

Cuando se aplicaron 250 kg/ha de N las líneas TA7648-1 y LE.RA Cromosoma #2 obtuvieron un rendimiento significativamente más alto que el testigo (CS). Demostrando que responden mejor a las aplicaciones de nitrógeno que el testigo.

El genotipo TA7648-1 obtuvo un valor alto de nitrógeno total, el cual fue significativamente más alto que los otros genotipos solamente al adicionar nitrógeno. Mostrando que tiene mayor absorción de nitrógeno.

En cambio, TA7644, obtuvo bajo rendimiento y bajo contenido de nitrógeno total, con ambas dosis de nitrógeno, por lo que se estima, según los días de anthesis y madurez, que su ciclo de cultivo es más largo que las demás líneas y no está adaptado para las condiciones de este ambiente. Además de que tiene un índice de cosecha bajo.

Al adicionar 250 kg/ha de N la línea TA7648-1 tuvo una eficiencia en la absorción y aprovechamiento del nitrógeno mayor que el testigo (CS), de igual manera la línea LE.RA #2 tuvo una mayor eficiencia de uso de nitrógeno, comparando con el testigo, y tuvo un rendimiento similar en los dos niveles de nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Para estudios futuros se recomienda medir el nitrógeno en el suelo, para tener más datos de referencia que indiquen la capacidad de nitrificación que presente cada variedad en estudio o porcentajes de pérdida de nitrógeno en el suelo. Realizando

muestreos de suelo durante el ciclo, tomando en cuenta las fechas de fertilización y de riego.

Para estudios futuros de caracterización o para realizar cruzas se debería dar énfasis a las líneas cuyo ciclo de desarrollo está mejor adaptado a las condiciones del Valle del Yaqui.

Además la utilización de medidores o sensores como herramientas que determinen las necesidades de fertilización nitrogenada en el trigo. Evitando las aplicaciones excesivas de N que generan un gasto para el productor.

VI. LITERATURA CITADA

- Aquino, P.; Peña, R; Ortiz-Monasterios, I. (2008), **México y el CIMMYT**, (ver: <http://www.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/index.htm>).
- Beman, M; Arrigo, K; Matson P. (2005), **Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms invulnerable areas of the ocean**, NATURE vol. 3370, VBICKNELL—136053
- Bergh, R.; Loewy, T.; Echeverría, H. (2006). **Importancia de la fertilización nitrogenada sobre la calidad panadera del trigo**. Revista de la 37 Fiesta Provincial del Trigo, 4-12/3/2006. Tres Arroyos, Buenos Aires. pp 23-27
- Britto, D.; Kronzucker, H. (2002), **NH₄ toxicity in higher plants: a critical review**. J Plant Physiol 159:567–584

- Cabrera L. Miguel (2007), "**Mineralización y Nitrificación: Procesos Claves en el Ciclo del Nitrógeno**". Departamento de Ciencia de Suelos y Cultivos-Instituto de Ecología Universidad de Georgia, Athens, Georgia, EE.UU. Presentado en el Simposio Fertilidad 2007. Facultad de Agronomía (UdelaR) (Paysandú)- INIA- IPNI Cono Sur. Paysandú, Uruguay, 8 Mayo 2007.
- Calderini D. (2006), "**Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and the latest trends**", Plant Breeding. Vol 114,pg 102-113. Abirl 2006
- Camacho, R. (1981). **Cultivo del Trigo y la Cebada. Temas de Orientación Agropecuaria**, Bogotá.
- Caputo, C.; Criado, V.; Roberts, I. (2009), **Removilizacion del nitrógeno en plantas de trigo como herramienta para el mejoramiento de la eficiencia de uso**. Publicada en Plant Physiology and Biochemistry 47 (2009): 335-42.
- Casar, C.; Muñoz, M. (2006) "**Aspectos ambientales y productivos del uso de inhibidores de la nitrificación en la fertirrigación de manzanos Galaxy**", Sociedad española Fisiología vegetal. Simposio ibérico de nutrición mineral de las plantas, pamplona, España. Julio, 2006
- Chen, D.; Wang, T.; Wang, L.; Huang, L.; Wang, Z.; Liu, J. (1995), **Transfer of useful germplasm from *Leymus racemosus* Lam. To common wheat. III. Development of addition lines with wheat scab resistance**. Acta Genet Sin 22:206–210
- Christensen, L.; Riley, J.; Ortiz-Monasterio, I. (2005) **Nitrogen cycling in an irrigated wheat system in Sonora, Mexico: measurements and modeling**. Springer Science+Business Media B.V. 2006.
- CICEANA, A.C., centro de información y comunicación ambiental de norte América, **Guía temática, el ciclo del nitrógeno**.

(ver: <http://www.ciceana.org.mx/contenido.php?cont=128>)

- Corvera, A. (2000), ***La fijación biológica del nitrógeno y su importancia*** centro de investigación sobre fijación de nitrógeno. UNAM Instituto latinoamericano de la comunicación educativa. Revista red escolar-año2. Número 6. Julio 2000.
- Dewey, D.R. (1984), ***The genome system of classification as a guide to intergeneric hybridization with perennial Triticeae***. In: Gustafson JP (Ed) Gene manipulation in plant improvement Plenum Press, New York, pp 209-279
- Donmez, E.; Sears, G.; Shroyer, P.; Paulsen, M. (2001). ***Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains***. Crop Science 41: 1412–1419.
- Elmi, A.; Madramoto, C.; Egeh, M.; Liu, A.; Hamel, C. (2002). ***Environmental and agronomic implications of water table and nitrogen fertilization management***. J Environ Qual 31:1858–1867
- Fenn, E.; Poth, A.; Aber, D.; Baron, S.; Bormann, T.; Johnson, W.; Lemly, D.(1998) ***Nitrogen excess in North American ecosystems: predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies***. Ecol Appl 8:706–733
- Follett, R.; Follett, F. (2001). ***Utilization and metabolism of nitrogen by humans***. In: Follett RF, Hatfield JL (eds) Nitrogen in the environment: sources, problems, and management. Elsevier, Amsterdam, pp 65–92
- Galloway, J. N. 1998. The global nitrogen cycle: Changes and consequences. *Environ. Pollut* 102/S1:15–24
- Galloway, N.; Cowling, B. (2002), ***Reactive nitrogen and the world: 200 years of Change***. Ambio 31:64–71

- Galloway, N.; Schlesinger, H.; Levy, H.; Michaels, A.; Schonoor, L. (1995). Nitrogen fixation-anthropogenic enhancement- environmental response. *Global Biogeochem. Cycles* 9: 235-252.
- García L. Adriana (2006), "**El efecto de la nutrición mineral sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo**", Jornada de Cultivos de Invierno "Trigo: Calidad vs. Rendimiento", INÍA, Uruguay.
- Golik, I.; Chidichimo, O. (2002), **Biomasa y acumulación de nitrógeno en trigo bajo dos sistemas de labranza y fertilización nitrogenada**, ciencia del suelo vol 20. (2), Argentina.
- González-Estrada, A.; Wood, S. (2006). **Impactos económicos de tecnologías para el campo mexicano**. Libro Científico. Núm. 1. INIFAP-SAGARPA, México, D.F.
- Hobbs, P.R., Sayre, K.D. & Ortiz-Monasterio, J.I. (1998). **Increasing wheat yield sustainably through agronomic means**. NRG Paper 98-01. Mexico, DF, CIMMYT.
- Kishii M.; Ban T.; Subbarao V.; Ortiz-Monasterio I. (2008), **Transferring of the biological nitrification inhibition (BNI) character from *Leymus racemosus* to wheat**, 11th International Wheat Genetics Symposium > The Sydney eScholarship Repository Sydney University Press.
- Kishii, M.; Yamada, T.; Sasakuma, T.; Tsujimoto, H. (2004). **Production of wheat-*Leymus racemosus* chromosome addition lines**. *Theor Appl Genet* 109:255–260
- Lukina, E.; Freeman, K.; Wynn, K.; Thomason, W.; Mullen, R.; M. L. Stone; J. B. Solie; A. R. Klatt; G. V. Johnson; R. L. Elliott; W. R. Raun.(2001). **Nitrogen fertilization optimization algorithm based on in-season estimates of yield and plant nitrogen uptake**. *Journal of Plant Nutrition*, 1532-4087, Volume 24, Issue 6, 2001, Pages 885 – 898

- Matson, A.; Parton, J.; Power, G.; Swift, J. (1997). ***Agricultural intensification and ecosystem properties***. Science 277:504–509
- Miralles J. Daniel, (2004), ***Información técnica de trigo***. Publicación Miscelánea N° 101. Mayo 2004. Consideraciones sobre eco fisiología y manejo de Trigo.
- Nalley, L.L. (2007). ***The genetic and economic impact of the CIMMYT wheat breeding program: a policy analysis of public wheat breeding***. Ph.D. Thesis. Department of Agricultural Economics, College of Agriculture. Kansas State University.
- Novoa, R.; Villagran, N. (2000). ***Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz***. Agric. Téc. v.62 n.1 Chillán, págs. 1.7, Enero 2002.
- Oliver, E.; Cai X, Xu, S.; Chen, X.; Stack, W. (2005). ***Wheat alien species derivatives: A novel source of resistance to Fusarium head blight in wheat***. Crop Sci 45:1353–1360.
- Orea, B., Martínez-Alcántara A., Quiñones, A., González, C., C, Montaña., Primo-Millo E., Legaz, F. (2004). ***Mejora de la eficiencia del uso del N en función de la frecuencia de aplicación el inhibidor de la nitrificación DMPP en cítricos***". Libro de Resúmenes del X Simposio Ibérico de Nutrición Vegetal, Lisboa.
- Ortiz-Monasterio, I. (2009) comunicación personal, Cd. Obregon, Sonora
- Ortiz-Monasterio, I.; Sayre, D.; Peña, J.; Fischer, A. (1994). ***Improving the nitrogen use efficiency of irrigated spring wheat in the Yaqui Valley of Mexico***. 15th World Cong. Soil Science, vol. 5b: 348-349.

- Parsons, D. B. (1999). **Trigo, cebada, avena**. 5ta reimpression, editorial trillas s.a. de c.v. México, DF Págs. 9-13.
- Peña B.; Pérez, P.; Villaseñor, E.; Gómez, M.; Mendoza, A.; Monterde, R. (2007). **Calidad de la cosecha del trigo en México. Ciclo otoño-invierno 2005-2006**. Publicación Especial del CONASIST, Av. Cuauhtémoc No. 1617, Mezzanine, Col. Sta. Cruz Atoyac, México, D. F. 24p
- Porsborg, M.; González, J.; Napolí, D. (2005). **Late application of nitrogen fertilizer in wheat**. 7th International Wheat Conference. Mar del Plata. Argentina. pp 210.
- Prasad R, Power JF (1995) Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment. *Adv Agron* 54:233–281
- Raun, R.; Johnson, V. (1999). **Improving nitrogen use efficiency for cereal production**. *Agron J* 91:357- 363.
- Raven P.; Evert, R.; Eichhorn, S. (2003) **“Biología de las plantas”**. 6ta edición, vol. 2, Ed. W.H. Freeman and Company, págs. 519-526.
- Riley, J.; Matson, A. (2000). **NLOSS: a mechanistic model of denitrified N₂O and N₂ evolution from soil**. *Soil Sci* 165:237–249
- Riley, J.; Ortiz-Monasterio, I.; Matson, A. (2001), **Nitrogen leaching and soil nitrate, nitrite, and ammonium levels under irrigated wheat in Northern Mexico**. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 61:223–236.
- Rodríguez, F. S. (1992). **Fertilizantes, nutrición vegetal**. 2da reimpression, editorial AGT editor. S.A. México Págs. 25-31, 53-58, 89-90, 123-125.

- Rodríguez, J.L. (1999). **La fertilización foliar de frutas y hortalizas**. Revista Productores de hortalizas. Págs. 46-47.
- Rodríguez, M.; Gonzáles, G.; Santelises, D.; Etcheveres, D. (1998). **Estimación de la concentración de nitrógeno y clorofila en tomate mediante un medidor portátil de clorofila**. Terra, 16 (2): 135-141.
- Rodríguez-Pérez, J.; Riaño D.; Carlisle, E.; Ustin, S.; Smart, E. (2007). **Evaluation of hyperspectral reflectance indexes to detect grapevine water status in vineyards**. Am.J. Enol. Vitic., 58: 302-317.
- Sayre, D.; Rajaram, S.; Fischer, A. (1997). **Yield potential progress in short bread wheats in northwest Mexico**. Crop Science, 37: 36–42.
- Shanahan, F.; Schepers, J.; Dennis, F.(2001). **Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield**. Agronomy journal (93): 583-589.
- Simpson, R.J., H: Lambers, and M.J. Dalling. (1983). **Nitrogen redistribution during rain growth in wheat (*Triticum aestivum L.*)** plant Physiol. 71:7-1
- Slafer, A.; Miralles, J.; Savin, R.; Whitechurch, M.; Gonzalez, G. (2003). **“Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en trigo”**. En: Satorre, E., Benech- Arnold, R., Slafer, G.A., de la Fuente, E., Miralles, D., Otegui, M.E., y Savín, R. (eds), Editorial Facultad de Agronomía. Pp. 101-134. ISBN 950-29-0713-2
- Slafer, A.; Rawson, H. (1994). **Sensitivity of wheat phasic development to major environmental factors: A re-examination of some assumptions made by physiologist and modellers**. Australian Journal of plant physiology. 21:393-426.

- Subbarao, V.; Ban, T.; Kishii, M.; Ito, O.; Samejima, H.; Wang, Y.; Pearse, J.; Gopalakrishnan, S.; Nakahara, K.; Tsujimoto, H.; Berry, W. (2007). ***Can biological nitrification inhibition (BNI) genes from perennial *Leymus racemosus* (Triticeae) combat nitrification in wheat farming?*** Plant and Soil 299: 55-64.
- Subbarao, V.; Ito, O.; Sahrawat, L.; Berry, L.; Nakahara, K.; Ishikawa, T.; Watanabe, T.; Suenaga, K.; Rondon, M.; Rao, M. (2006) ***Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – Challenges and Opportunities.*** Crit Rev Plant Sci 25:1-33
- Subbarao, V.; Nakaharam, K.; Yoshihashi, T.; Ito, O.; Maeda, I.; Ono, H.; Yoshida M (2007) ***Nitrification inhibitors from the root tissues of *Brachiaria humidicola*, a tropical grass.*** J Agric Food Chem 55:1385–1388
- Subbarao, V.; Rondon, M.; Ito, O.; Ishikawa, T.; Rao, M.; Nakahara, K.; Lascano, C.; Berry, L. (2007) ***Biological nitrification inhibition (BNI) – is it a widespread phenomenon?*** Plant Soil 294:5–18
- Taiz, L.; Zeiger, E. (2001), ***“Fisiología vegetal”***, tomo 1, 3ra edición, Ed. publicaciones de la Universidad Jaume, págs. 126-128.
- Trenkel, E. (1997). ***Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture.*** International Fertilizer industry association. Paris.
- US EPA (Environmental Protection Agency) (2003) ***Latest findings on national air quality 2002 status and trends.*** Office of Air Quality Planning and Standards Emissions, Monitoring, and Analysis Division. Research Triangle Park, North Carolina
- Varga, B & Z Svecnjak. (2006). ***The effect of late-season urea spraying on grain yield and quality of winter wheat cultivars under low and high basal nitrogen fertilization.*** Field Crops Res. 96: 125-132.

Vitousek, M.; Hedin, O.; Matson, A.; Fownes, H.; Neff, J. (1998). ***Within-system element cycles, input-output budgets, and nutrient limitation***. In: Pace M, Groffman P (eds) *Successes, limitations, and the future of ecosystem ecology*. Springer, New York, pp 432–451

<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/trigo2.htm>. Consultada el 25 de Noviembre de 2009.

http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_444.pdf. Consultada el 12 de enero de 2010.

<http://www.oeidrus-sonora.gob.mx/Trigo3/caracteristicas.pdf>. Consultada el 25 de Noviembre de 2009