

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Efecto de la Fertilización Nitrogenada sobre el Comportamiento Agronómico de  
Triticales de Diferente Hábito de Crecimiento en Navidad, N.L.

Por:

**CARLOS ALBERTO BRAVO SOL**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Saltillo, Coahuila, México.  
Diciembre de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA  
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Efecto de la Fertilización Nitrogenada sobre el Comportamiento Agronómico de  
Triticales de Diferente Hábito de Crecimiento en Navidad, N.L.

Por:


**CARLOS ALBERTO BRAVO SOL**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alejandro Javier Lozano del Rio  
Asesor Principal

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Antonio Flores Naveda  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos  
Coasesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio González Fuentes  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.  
Diciembre de 2019

## DEDICATORIA

### *A MIS PADRES*

*Sergio Bravo Coyote*

*Cecilia Sol Castañeda*

*Que son mi razón de ser, mi motivo para seguir luchando día a día y no dejar vencerme pese a las adversidades, quien gracias a ellos he logrado culminar lo mejor que ellos desean para mí. Papá, gracias por todos tus consejos, regaños quien me motiva a seguir adelante, por todos los momentos que pasamos juntos y me dices cuales son las cosas buenas y las malas con todo amor para tí, querido padre. Mamá, por cuidarme desde pequeño, por ser quien está atenta todo el tiempo, la mujer de mis amores. Tú, mi pieza fundamental en mi vida y ser la persona de todas mis confianzas con mucho amor para ustedes.*

### *A MIS HERMANAS (OS):*

*Ariana, María Elena, Alma Delia y Sergio*

*Gracias a ustedes por ser mi compañía, quienes me han regalado un poco de su tiempo, por estar conmigo en todo momento, quienes me animan a seguir luchando y superarme en la vida. Aunque cada uno tenemos nuestras vidas diferentes ustedes saben que siempre cuentan conmigo en todo momento.*

### *A MIS ABUELITOS*

*Crispín Bravo Tlázola*

*María Santos Coyote Cabañas (+)*

*José Sol Castañeda*

*Por sus consejos, oraciones y poner todas sus confianzas en mí. Así mismo por su apoyo incondicional, con especial cariño para ustedes. Y desde el cielo me cuidan.*

*A TODOS MIS TÍOS, por darme ánimos en los momentos difíciles, Con todo afecto a mi tía Romelia Bravo coyote (+) dedicado a ti donde quiera que estés siempre cuidas de nosotros*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi “ALMA TERRA MATER” por permitirme terminar mis estudios en esta gran casa de estudios que orgullosamente llevo recuerdos en mi corazón.*

*Gracias por formarme profesionalmente durante estos 4 años y medio, por cobijarme entre tus aulas y llevarme esas enseñanzas que día a día me impartieron.*

*Al Dr. Alejandro Javier Lozano del Río, por ser la base fundamental en este trabajo, por todas sus enseñanzas, amistad y toda su confianza puesta en mí. En verdad muchas gracias, me llevo una gran experiencia y orgulloso de ser parte de su equipo de trabajo.*

*Al Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos por su participación en este estudio, muchas gracias.*

*A mis compañeros de cuarto Jaime Oliverio y José Manuel Pedraza por brindarme su amistad y confianza durante mi carrera profesional.*

*A todos mis profesores que durante mis estudios me brindaron apoyo y compartieron sus conocimientos para mi desarrollo profesional.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de contenido.....	iii
Índice de cuadros.....	v
Índice de figuras.....	vii
1. Introducción .....	1
2. Objetivos .....	3
Objetivos generales.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura.....	4
Generalidades.....	4
Tipos de triticale.....	5
Efectos de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos.....	6
NDVI.....	9
Fotografía Digital.....	11
Acumulación de biomasa.....	12
5. Materiales y métodos.....	14
Localización del sitio experimental.....	14
Desarrollo del experimento.....	14
Material genético utilizado.....	14
Preparación del terreno.....	14
Fecha de siembra.....	14
Tamaño de parcela experimental.....	16
Fertilización.....	16
Riegos.....	16
Control de plagas, enfermedades y malezas.....	16
Muestreo.....	17

Diseño experimental utilizado en campo.....	18
VARIABLES REGISTRADAS.....	18
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	18
Modelo estadístico de los análisis de varianza por muestreo para la variable en estudio.....	18
Pruebas de comparación de medias.....	19
6. Resultados.....	20
Discusión .....	36
Conclusiones .....	43
Literatura citada.....	44
10. Resumen.....	48

## INDICE DE CUADROS

Cuadro No		Pág.
1	Lista de genotipos y sorteo utilizados en el Experimento. Navidad, N.L. Ciclo 2014 – 2015.....	15
2	Resultados de los análisis de varianza para altura de planta por muestreo Navidad 2015.....	20
3	Resultados de la prueba de comparación de medias de altura de planta entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	21
4	Resultados de los análisis de varianza para etapa fenológica por muestreo Navidad 2015.....	22
5	Resultados de la prueba de comparación de medias de etapa fenológica entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	23
6	Resultados de los análisis de varianza para biomasa total por muestreo. Navidad 2015.....	24
7	Resultados de la prueba de comparación de medias de biomasa total entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	25
8	Resultados de los análisis de varianza para área foliar por muestreo. Navidad 2015.....	26
9	Resultados de la prueba de comparación de medias de área foliar entre dosis de fertilización y grupos por muestreo Navidad 2015.....	27
10	Resultados de los análisis de varianza para NDVI por muestreo. Navidad 2015.....	28

<b>11</b>	Resultados de la prueba de comparación de medias de NDVI entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	<b>29</b>
<b>12</b>	Resultados de los análisis de varianza para GA por muestreo. Navidad 2015 .....	<b>30</b>
<b>13</b>	Resultados de la prueba de comparación de medias de GA entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	<b>31</b>
<b>14</b>	Resultados de los análisis de varianza para GGA por muestreo. Navidad 2015 .....	<b>32</b>
<b>15</b>	Resultados de la prueba de comparación de medias de área más verde (GGA) entre dosis de fertilización y grupos por muestreo. Navidad 2015.....	<b>33</b>
<b>16</b>	Resultados de los análisis de varianza para rendimiento de grano entre dosis de fertilización y grupos de genotipos.....	<b>34</b>
<b>17</b>	Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre dosis de fertilización (DF).....	<b>34</b>
<b>18</b>	Cuadro 18. Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre grupos, por dosis de fertilización.....	<b>35</b>
<b>19</b>	Resultados de las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas.....	<b>35</b>



## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.</b>		<b>Pág.</b>
1	Figura 1. Patrones de altura de planta de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	36
2	Figura 2. Patrones de etapa fenológica de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	37
3	Figura 3. Patrones de biomasa total de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	38
4	Figura 4. Patrones de área foliar de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	39
5	Figura 5. Patrones de NDVI de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	40
6	Figura 6. Patrones de área verde (GA) de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	41
7	Figura 7. Patrones de área más verde (GGA) de los dos diferentes hábitos de crecimiento de triticale (primaverales e intermedio invernal) a través del ciclo de cultivo. Navidad 2015.....	42

## INTRODUCCIÓN

La ganadería en México ocupa el equivalente al 58% de la superficie del país, donde se siembran más de 556 mil hectáreas con forrajes de riego, siendo la alfalfa el principal cultivo con cerca del 50% de la superficie, además de avenas, ballicos, maíces y sorgos forrajeros que son utilizados para la alimentación de rumiantes en sistemas intensivos de producción animal, y que a su vez son requeridos como complemento para apoyar a los sistemas extensivos (Zamora-Villa *et al.*, 2002). La región semiárida del norte de México se caracteriza por presentar zonas agrícolas de riego altamente productivas, como, por ejemplo, la Comarca Lagunera, ubicada en el Desierto Chihuahuense. Esta zona constituye la principal cuenca lechera del país, por lo que existe una alta demanda de forraje de calidad.

Es precisamente la producción de forrajes el rubro donde hay más posibilidad de reducir costos, mediante el uso de especies más productivas y de mayor calidad (Orona *et al.*, 2003). Esta es la razón por la cual se requiere fomentar el desarrollo de cultivos alternativos que se adapten a las condiciones del medio natural y con mejoras tecnológicas relativas a estrategias de riego y fertilización para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos (Reta *et al.*, 2010). Existe mayor interés en la producción de forraje durante el invierno, pues hay menor evaporación, pero con el riesgo de heladas (Núñez *et al.*, 1997). Se requiere así de alternativas de producción que incluyan nuevas especies forrajeras principalmente de producción invernal, así como el conocimiento de sus tecnologías de producción, que lleven a una mayor disponibilidad de forraje

de alta calidad, entre los cuales está el triticale, debido a su tolerancia a bajas temperaturas, suelos pobres, suelos ácidos, alcalinos y salinos, además de su resistencia a plagas y enfermedades, alto potencial de producción de biomasa y valor nutritivo superior al de los cultivos tradicionales, y particularmente a su mayor eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa (Ye *et al.*, 2001).

En el proceso de selección de nuevas variedades de cereales, en este caso, triticale, se hace énfasis en varios rasgos morfofisiológicos, particularmente los relacionados con las características de rendimiento, la acumulación de materia seca y la eficiencia en el uso de los insumos (agua y fertilizantes), las cuales son usualmente eficaces como criterios de selección complementarios útiles para la selección de germoplasma en diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, las mediciones directas de esos rasgos por métodos tradicionales son destructivas y requieren mucho tiempo y trabajo, particularmente cuando un gran número de genotipos necesitan evaluarse en diferentes ambientes. Para esto, se han desarrollado varios índices para estimar diversos parámetros agronómicos como la biomasa vegetal, el vigor de las plantas, el reparto de la biomasa entre las partes vegetativas y el rendimiento de grano. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es ampliamente utilizado a nivel para medir el verdor vegetativo y el tamaño fotosintético del dosel. Los sensores portátiles de campo proporcionan una medición rápida de los cultivos para caracterizar el dosel para el índice de área foliar (IAF) e índice de área verde (IAV), biomasa y contenido de nutrientes (por

ejemplo, nitrógeno). Así, los datos pueden utilizarse para estimar la predicción del rendimiento, la acumulación de la biomasa y la tasa de crecimiento, la cobertura del suelo y el vigor temprano, las estimaciones del patrón de senescencia y la detección del estrés biótico y abiótico.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos Generales**

➤ Determinar el efecto de la fertilización nitrogenada y la ausencia de fertilización sobre la producción de biomasa de triticales de dos diferentes hábitos de crecimiento durante todo el ciclo del cultivo.

➤ Documentar la relación entre diferentes índices de vegetación y la producción de biomasa total y el rendimiento de grano de los genotipos en estudio con el objetivo de validar su eficacia en la estimación de biomasa y/o grano sin utilizar métodos destructivos en los dos diferentes tipos de triticales.

### **HIPÓTESIS**

a) No existe diferencia en la producción de biomasa total y el rendimiento de grano entre ambas dosis de fertilización.

b) No existe diferencia para la producción de biomasa total y el rendimiento de grano entre los tipos evaluados.

c) No existe correlación positiva entre los valores de los índices de vegetación y la producción de biomasa total y el rendimiento de grano en los diferentes tipos de triticales.

## REVISION DE LITERATURA

### Generalidades

El uso eficiente de los fertilizantes y el agua en los forrajes está comenzando a ser un criterio para la selección de la especie o variedad a cultivar que brinde sustentabilidad en la producción. La elección correcta de los forrajes debe ser considerada en toda explotación lechera o pecuaria, y debe incluir el rendimiento, valor nutritivo, además de los costos y riesgos de producción (Neal *et al.*, 2010).

El triticale (*X Triticosecale* Wittmack.) puede utilizarse para tres fines agrícolas: a) producción de grano, b) producción de forraje y c) doble propósito, ya sea para corte ó pastoreo. Esta última modalidad en el uso de este cultivo está ganando popularidad en diversas regiones del norte y centro de México durante el ciclo otoño–invierno, debido a su potencial productivo y adecuada calidad nutritiva, la cual, en la etapa de encañe-embuche, es similar a la alfalfa (Collar y Aksland, 2001).

El triticale es un nuevo cultivo resultado de la cruce del centeno y el trigo; el objetivo en el mejoramiento de este nuevo cereal fue combinar las características deseables de las dos especies; alta productividad, adecuada resistencia a enfermedades y plagas, tolerancia al estrés, alta capacidad de absorción de nutrientes, tolerancia a déficits de humedad, eficiencia en el uso de fertilizantes, calidad nutritiva superior y rápido establecimiento, lo que lo ha convertido en una buena opción como forraje de emergencia en comparación

con los cultivos tradicionales como la avena, trigo o cebada (Moore, 2005; Ozkan *et al.*, 1999; Ye *et al.*, 2001). De esta forma, el triticale es uno de los cultivos que por sus características antes mencionadas adquiere gran importancia como una alternativa para ayudar a solucionar el déficit de alimentos (NRC, 1989).

Es un cultivo relativamente nuevo en México, del cual se estima que se cultivan alrededor de 8,000 hectáreas, en su mayoría para producción de grano, principalmente en los estados de Michoacán, Nuevo León, Puebla, Jalisco, México, Tlaxcala y Sonora, y más recientemente, y para uso forrajero, en los estados de Chihuahua, Coahuila y la Región Lagunera, donde se reportan superficies mayores a

las 5000 has sólo en esta última región, ya que ha demostrado ser una especie que compite efectivamente con la avena, ballico, trigo, centeno y cebada en la producción de forraje durante la época invernal (Ye *et al.*, 2001).

### **Tipos de triticale**

Con base a su patrón productivo y hábito de crecimiento, en México se han desarrollado materiales de triticale para uso forrajero, principalmente para cortes múltiples o pastoreo (Lozano del Río, 2002). En este tipo de explotación es imprescindible la capacidad de rebrote de los genotipos, la cual depende principalmente del hábito de crecimiento y la etapa fenológica del corte, de las condiciones climáticas, las prácticas de manejo, la humedad y fertilidad del suelo y de la presión del corte o pastoreo, entre otras (Poysa, 1985).

Existen varios hábitos de crecimiento en este cultivo, generalmente agrupados en primaverales, invernales y facultativos (Lozano del Río, 2002). Los triticales de hábito primaveral se caracterizan por su rápido crecimiento y diferenciación, sin requerimientos de vernalización, con crecimiento inicial erecto que favorece la cosecha mecánica, con amacollamiento reducido y baja capacidad de recuperación después del corte siendo adecuados para un solo corte. Los tipos invernales son convenientes para cortes o pastoreos múltiples. Los tipos facultativos son de rápido crecimiento y diferenciación, presentan crecimiento inicial semipostrado, amacollamiento intermedio y buena capacidad de recuperación después del corte o pastoreo, por lo que son adecuados para dos cortes o pastoreos. Un cuarto tipo, intermedios- invernales, mencionado por Ye *et al.*, (2001), presentan crecimiento y diferenciación medios, semipostrados, con buen ahijamiento y alta capacidad de rebrote que permite dar cortes múltiples, sin ser tan tardíos como los tipos invernales (Lozano *et al.*, 2009; Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001). Estos últimos son excelentes en la producción de forraje para cortes o pastoreos múltiples debido a su capacidad de rebrote, alta calidad nutritiva, adecuado rendimiento de forraje seco y una mayor relación hoja-tallo, en comparación con los triticales facultativos, avena y trigo.

### **Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos**

La fertilización nitrogenada es uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo de los cultivos de cereales. Se considera que el nitrógeno (N), es el principal factor limitante en la producción agrícola (Kichey *et*

al., 2007) y, al igual que en otros cereales, es también uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo de triticale (X *Triticosecale* Wittmack). La disponibilidad de N para la planta es indispensable por ser un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal (Salas, 2003). Además, el N es un elemento indispensable para la fotosíntesis; para que las plantas fijen el carbono; para la acumulación de materia orgánica y la producción de rendimientos económicamente atractivos.

Newbould (1989), sostienen que la disponibilidad de N para los cultivos es en general deficiente, debido al manejo de suelos y a las pérdidas por lixiviación, por lo que es posible que su aplicación no sea totalmente aprovechada por el cultivo en los estados de mayor requerimiento de este nutriente. Ello ocasiona que, para satisfacer la demanda de los cultivos, el N deba agregarse al suelo en grandes cantidades como abono orgánico o fertilizante nitrogenado. Esto resulta relevante considerando el impacto ambiental de la lixiviación de N, que constituye un grave problema en algunos países industrializados (Newbould, 1989), por lo que la implementación de tecnologías de manejo del cultivo que incrementen la eficiencia en el uso de insumos fertilizantes se vuelve esenciales (Parodi, 2003). Aunque la práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización en siembra, el empleo de dosis elevadas de N que permitan la expresión del potencial de rendimiento de las variedades existentes en el mercado actual, requiere un manejo cuidadoso y eficiente de la parcialización del nutriente, esto con el fin de minimizar las pérdidas por



lixiviación durante el desarrollo del cultivo, así como evitar la contaminación de capas freáticas y su efecto nocivo sobre la salud humana y la sostenibilidad ambiental (Campillo *et al.*, 2007). La importancia del momento de aplicación, además de la dosis de fertilizante empleado, puede también inducir un mejoramiento en la eficiencia de absorción, según investigaciones relacionadas con el cultivo de trigo (Campillo *et al.*, 2007) y cebada (Moreno *et al.*, 2003).

Una de las técnicas de manejo de cultivos más importantes para la producción de triticales es la fertilización con N. El nitrógeno (N) es el nutriente principal que influye en el rendimiento de grano y en la concentración de proteínas, pero también actúa retrasando la maduración del grano, aumentando la tasa del secado de grano o reduciendo su tamaño afectando así su morfología (Gooding *et al.* 1986).

Esto resulta relevante considerando el impacto ambiental de la lixiviación de N, que constituye un grave problema en algunos países industrializados (Newbould, 1989), por lo que la implementación de tecnologías de manejo del cultivo que incrementen la eficiencia en el uso de insumos fertilizantes se vuelven esenciales (Parodi, 2003). Aunque la práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización en siembra, el empleo de dosis elevadas de N que permitan la expresión del potencial de rendimiento de las variedades existentes en el mercado actual, requiere un manejo cuidadoso y eficiente de la parcialización del nutriente, esto con el fin de minimizar las pérdidas por lixiviación durante el desarrollo del cultivo, así como evitar la contaminación de capas freáticas y su efecto nocivo sobre la salud humana y la

sostenibilidad ambiental (Campillo *et al.*, 2007). La importancia del momento de aplicación, además de la dosis de fertilizante empleado, puede también inducir un mejoramiento en la eficiencia de absorción, según investigaciones relacionadas con el cultivo de trigo (Campillo *et al.*, 2007) y cebada (Moreno *et al.*, 2003).

## **NDVI**

Varios rasgos morfofisiológicos, particularmente los relacionados con los procesos de cultivo, las características de rendimiento, y los mecanismos de tolerancia a la sequía como el estado hídrico de las plantas, la eficiencia fotosintética, la conductancia estomática, la temperatura del dosel, la acumulación de materia seca, el índice de estrés y la eficiencia en el uso del agua son usualmente eficaces como criterios de

selección complementarios útiles para la selección de germoplasma en diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, las mediciones directas de esos rasgos por métodos tradicionales son destructivas y requieren mucho tiempo y algunas de ellas son difíciles de hacer cuando un gran número de genotipos necesitan ser evaluados en diferentes ambientes. Además, se han desarrollado varios índices optimizados

para estimar mejor diversos parámetros agronómicos como la biomasa vegetal, el vigor de las plantas, el reparto de la biomasa entre las partes vegetativas y el rendimiento de grano. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es ampliamente utilizado a nivel del suelo, y desde altitudes bajas, altas y satélites para medir el verdor vegetativo y el tamaño fotosintético del dosel. El

sensor NDVI portátil de campo proporciona una medición rápida del nivel del suelo de los cultivos a una resolución para caracterizar el dosel para: índice de área foliar (IAF) e índice de área verde (GAI), biomasa y contenido de nutrientes (por ejemplo, nitrógeno). Los datos pueden utilizarse para estimar la predicción del rendimiento, la acumulación de la biomasa y la tasa de crecimiento, la cobertura del suelo y el vigor temprano, las estimaciones del patrón de senescencia y la detección del estrés biótico y abiótico. La tecnología NDVI también se utiliza para tomar decisiones en agricultura de precisión: detección de malezas y aplicación de herbicidas, además de dosis y calendario de aplicaciones de fertilizantes nitrogenados. El NDVI se calcula a partir de las mediciones de la reflectancia de la luz en las regiones del espectro rojo y el infrarrojo cercano (NIR). Un follaje verde y sano absorberá la mayor parte de la luz roja y reflejará la mayor parte de la luz NIR, ya que la clorofila absorbe principalmente la luz azul y roja y el mesófilo refleja la luz NIR:  $NDVI = (RNIR + RRed)$ . Los sensores NDVI portátiles son “activos” (es decir, producen su propia fuente de luz) lo que permite realizar mediciones en cualquier condición de luz, y que los datos sean comparables entre la fecha y la hora del día.

El índice más comúnmente utilizado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), propuesto por Rouse et al. (1974) y calculado como el cociente de la diferencia y suma de la reflectancia en las regiones NIR (infrarrojo cercano) y rojo. Las partes verdes de las plantas se reflejan intensamente en la región NIR debido a la dispersión en el mesófilo foliar y absorben fuertemente la luz roja y azul a través de la clorofila (Ayala-Silva y Beyl, 2005). El índice NDVI se utiliza con mayor frecuencia para determinar la

condición, el desarrollo y la biomasa de las plantas cultivadas y para predecir sus rendimientos. El NDVI se ha convertido en el índice de vegetación más utilizado (Wallace et al., 2004, Calvao y Palmeirim, 2004); además se han realizado muchas investigaciones para desarrollar índices adicionales que puedan reducir el impacto del fondo y la atmósfera del suelo sobre los resultados de mediciones espectrales.

### **Fotografía digital**

El estudio del crecimiento del cultivo en base a la biomasa acumulada y/o la superficie verde, requiere medidas tediosas en las que la muestra se destruye, limitando por tanto su aplicación en numerosas ocasiones. Por este motivo existen varios estudios sobre la idoneidad de herramientas alternativas que permiten determinar estas variables de forma rápida y no destructiva, como son las medidas de reflectancia espectral de la cubierta del cultivo mediante teledetección (Peñuelas y Filella, 1998) o, más recientemente, la fotografía digital.

Mediante el uso de fotografías obtenidas con cámaras digitales convencionales ha sido posible predecir con buenos resultados el porcentaje de cubierta vegetal y biomasa en trigo harinero (Lukina et al., 1999). Casadesús et al., (2007) probaron la validez de diversos índices de vegetación calculados a partir de fotografías digitales, los cuales contabilizaban la proporción de píxeles verdes de la imagen, en trigo duro en seco, y obtuvieron buenas correlaciones entre estos índices y el rendimiento.

Otros estudios utilizando fotografía digital en trigo harinero han probado su validez como herramienta para determinar el contenido de nitrógeno, puesto que el color de la cubierta vegetal manifiesta este contenido, demostrándose también una buena correlación entre la información de color de la fotografía y la biomasa del cultivo (Jia et al., 2004). La fotografía digital también se ha utilizado para determinar el grado de afectación del cultivo en el control mecánico de malas hierbas (Rasmussen et al., 2007), lo cual da una idea del amplio espectro de usos de las técnicas basadas en la fotografía digital todavía en expansión.

### **Acumulación de biomasa**

La biomasa acumulada por las plantas es el producto final de la actividad fotosintética y es la reserva de nutrientes de la mayoría de las plantas. La porción de biomasa asignada a la producción de semilla en cereales se llama índice de cosecha. En cereales de grano pequeño, el rendimiento de grano está estrechamente relacionado con la producción de biomasa e índice de cosecha (Austin *et al.*, 1980). Comprender el proceso de la acumulación de biomasa durante la estación de crecimiento y la relación entre el rendimiento de grano y biomasa puede ayudar a alcanzar el más alto rendimiento a través de la nutrición y mejores prácticas agronómicas. Bajo condiciones de crecimiento óptimas, el rendimiento de grano normalmente se incrementa cuando se incrementa el total de materia seca y el consumo de nutrientes (Karlen y Camp, 1982).

Una tasa más alta de crecimiento resulta en un incremento final de biomasa, pero la tasa de crecimiento y fenología puede ser afectada por la sequía y el estrés dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo, de su duración e intensidad. Usualmente, el estrés de humedad combinado con altas temperaturas reduce la acumulación de materia seca (Shpiler y Blum, 1986).

Generalmente, los cultivos siguen un patrón de acumulación de biomasa similar en varias etapas de crecimiento, un incremento en la biomasa en etapas tempranas alcanza la máxima producción en las etapas tardías de crecimiento. La biomasa y la absorción de nutrientes en todas las especies aumentan con el tiempo y alcanza su máximo en las últimas etapas de crecimiento (Malhi *et al.*, 2006).

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Localización del Sitio Experimental**

El presente estudio se realizó durante el ciclo otoño - invierno 2014-2015 en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN, en Navidad, N. L., ubicado entre las coordenadas 25° 04' Latitud Norte y 100° 56' Longitud Oeste del meridiano de Greenwich, con una altitud de 1,895 msnm.

### **Desarrollo del Experimento**

#### **Material genético utilizado**

En el Cuadro 1 se presenta la lista de los 12 genotipos utilizados en los experimentos, de los cuales 4 fueron líneas experimentales de triticale con hábito de crecimiento primaveral 2 del tipo intermedio - invernal y 4 de hábito primaveral, que fueron proporcionados por el Proyecto Triticale del Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

#### **Preparación del terreno**

Se realizaron las labores que tradicionalmente se utilizan para la siembra de cereales en la región, esto es, barbecho, rastreo y doble nivelación.

#### **Fecha y método de siembra**

La siembra se realizó en húmedo el 16 de enero de 2015 durante el ciclo otoño-invierno 2014-2015. Esta se realizó manualmente, a chorrillo, depositando la semilla en el fondo del surco y tapando posteriormente con el pie.

**Cuadro 1. Lista de genotipos y sorteo utilizados en el Experimento. Navidad, N.L. Ciclo 2014 – 2015.**

Trat.	Descripción	R1 Parcela	R2 Parcela	R3 Parcela	Hábito de crecimiento
V1	AN-123	1	14	26	<b>Primaveral</b>
V2	AN-125	2	21	32	<b>Primaveral</b>
V3	AN-137	3	19	34	<b>Primaveral</b>
V4	ERONGA 83	4	17	29	<b>Primaveral</b>
V5	AN-105	5	24	36	Facultativo
V6	AN-38	6	13	31	Facultativo
V7	AN-66	7	18	25	<b>Intermedio-invernal</b>
V8	AN-184	8	22	33	<b>Intermedio-invernal</b>
V9	ABT	9	16	35	Invernal
V10	AN-31B	10	20	28	Invernal
V11	ANPELON	11	23	30	Invernal
V12	AN-34	12	15	27	Invernal



### **Tamaño de parcela experimental**

Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 surcos de 5 m de largo por 30 cm entre hileras (18.0 m<sup>2</sup>).

### **Fertilización**

A la siembra, en los tres juegos del experimento, en cada unidad experimental (10 surcos), se aplicó a la mitad de la parcela (5 surcos) una dosis de fertilización de 80-00-00, utilizando como fuente urea (46% N). A los seis surcos restantes no se les aplicó fertilizante.

### **Riegos**

Al experimento se le aplicó el riego inmediatamente después de la siembra con un sistema de aspersion; posteriormente, se aplicaron 4 riegos adicionales en las etapas de amacollamiento, encañe, floración y llenado de grano, dando un total de 60 cm de lámina.

### **Control de plagas, enfermedades y malezas.**

Debido a que no se presentó incidencia de plagas y enfermedades no se realizó control de ningún tipo; el control de malezas, como la incidencia no fue severa, se realizó manualmente.

## **Muestreos**

Se realizaron 12 muestreos destructivos secuenciales de biomasa: Las fechas de muestreo fueron las siguientes:

M1: 25/03/2015

M2: 03/04/2015

M3: 15/04/2015

M4: 24/04/2015

M5: 01/05/2015

M6: 08/05/2015

M7: 14/05/2015

M8: 21/05/2015

M9: 27/05/2015

M10: 03/06/2015

M11: 11/06/2015

Los muestreos se realizaron manualmente, con rozadera, cortando el forraje en 50 cm lineales de un surco con competencia completa, aproximadamente a 2 cm sobre la superficie del suelo.

## **Diseño experimental utilizado en campo**

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento en cada uno de los tres experimentos.

## **Variables registradas**

En cada muestreo, se evaluó la altura de planta en cm, etapa fenológica (Zadoks *et al.*, 1974), biomasa seca total ( $t\ ha^{-1}$ ), área foliar ( $cm^2$ ), NDVI, área verde (GA) y área más verde (GGA), además del rendimiento de grano ( $t\ ha^{-1}$ ), al final del experimento.

## **Análisis estadísticos**

Se efectuaron análisis de varianza por muestreo para cada una de las variables en estudio. En cada muestreo, los datos fueron analizados agrupando los dos tipos de genotipos (grupos), dentro de cada dosis de fertilización. Para el caso del rendimiento de grano, se analizaron con el mismo modelo estadístico, con los datos de la cosecha a madurez de trilla.

## **Modelo estadístico de los análisis de varianza por muestreo para las variables en estudio.**

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + r_j (R) + G_k + R_iG_k + E_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$ = Variable observada.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$R_i$ = Efecto de la  $i$ -ésima dosis de fertilización

$r_j (R)$  = Efecto de la  $j$ -ésima repetición dentro de la  $i$ -ésima dosis de fertilización.

$G_k$  = Efecto del  $k$ -ésimo grupo.

$MiGk$  = Efecto de la interacción del  $k$ -ésimo grupo en la  $i$ -ésima dosis de fertilización.

$Eijk$  = Error experimental.

### **Pruebas de comparación de medias**

Se realizaron pruebas de comparación de medias para cada una de las variables estudiadas, entre dosis de fertilización y grupos, utilizando la prueba de Tukey al nivel de probabilidad registrada en el correspondiente análisis de varianza.

Adicionalmente se calcularon las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas por medio del coeficiente de correlación de Pearson.

Se calcularon los coeficientes de variación para cada una de las variables estudiadas, esto con la finalidad de verificar el grado de precisión con la que se realizó el experimento utilizando la siguiente fórmula:

$$C.V. = \sqrt{\frac{CMEE}{\bar{x}}} \times 100$$

Donde:

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

$\bar{x}$  = Media general del carácter.

## RESULTADOS

### ALTURA DE PLANTA

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los análisis de varianza para esta variable, donde se reportan diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos; entre los grupos de triticale se reportaron diferencias altamente significativas en todos los muestreos excepto el sexto muestreo, que no reportó diferencias significativas; la interacción DF\* GRUPOS reportó diferencias significativas en todos los muestreos. Los coeficientes de variación variaron entre 8.6 y 13.9 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de varianza para altura de planta por muestreo.

FV	GL	ALTURA DE PLANTA CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	1511.2 **	1594.6 **	1134.2 **	4786.6 **	4733.5 **	5390.4 **	7170.3 **	6992.2 **	11781.3 **	12480.7 **	12545.3 **
REP*DF	4	2.12 ns	16.39 Ns	11.48 ns	32.12 ns	131.9 ns	26.07 ns	24.185 ns	31.60 ns	23.24 ns	42.62 ns	78.57 ns
GRUPOS	1	335.0 **	583.4 **	2632.0 **	1808.4 **	3504.1 **	108.3 ns	1218.3 **	1785.37 **	1808.4 **	3440.01 **	6101.4 **
DF*GRUPOS	1	0.22 ns	0.115 Ns	18.96 ns	202.2 ns	3.62 ns	0.56 ns	31.89 ns	55.00 ns	70.04 ns	16.66 ns	13.50 ns
ERROR	100	8.15	11.23	25.23	67.99	88.79	58.03	59.50	82.51	90.61	93.55	90.53
TOTAL	107											
CV (%)		11.2	11.2	11.9	13.9	13.5	9.2	8.6	9.7	9.8	9.9	9.6
MEDIA		25.4	29.7	41.8	59.1	69.6	82.3	88.9	93.1	96.4	97.4	98.8

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

El Cuadro 3 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización y entre grupos, donde los experimentos con fertilización nitrogenada provocaron en forma general mayor altura de planta que los tratamientos sin fertilización. Entre los grupos de genotipos, se observó que registraron diferencias estadísticas en todos los muestreos para esta variable; los genotipos más precoces (primaverales), registraron significativamente mayor altura de planta que los intermedios invernales, excepto en el muestreo 6, donde no se registraron diferencias significativas.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo para altura de planta entre dosis de fertilización y grupos.

ALTURA DE PLANTA											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	29.2 A	33.5 a	45.1 a	65.7 a	76.2 a	89.4 a	97.0 a	101.2 a	78.5 a	108.2 a	109.5 a
DF2	21.7 B	25.8 b	38.6 b	52.4 b	63.0 b	75.2 b	80.7 b	85.1 b	78.8 b	86.7 b	88.0 b
DMS $\alpha$	1.0906	1.2797	1.9178	3.1484	3.598	2.9086	2.9453	3.4684	1.1721	2.80576	3.633
GRUPO 1	26.7 A	31.3 a	45.3 a	62.0 a	73.6 a	83.0 a	86.58 a	90.3 b	93.5 b	86.1 b	93.5 b
GRUPO 2	22.9 B	26.4 b	34.8 b	53.3 b	61.5 b	80.9 a	93.6 b	98.9 a	102.1 a	81.3 a	109.4 a
DMS $\alpha$ 0.05	1.1568	1.3574	2.0342	3.3394	3.8162	3.0851	3.1239	3.6788	3.855	1.2687	1.037

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )

## ETAPA FENOLOGICA

En el Cuadro 4 se muestran los resultados de los análisis de varianza para este variable; no registraron diferencias significativas entre las dosis de fertilización en ninguno de los muestreos. Entre los grupos de genotipos se registraron diferencias altamente significativas en todos los muestreos, excepto el onceavo, que no registró diferencias significativas; asimismo, no se registraron diferencias significativas en la interacción DF\*GRUPOS. Los coeficientes de variación oscilaron entre 2.28 y 6.82 %, dependiendo el muestreo.

Cuadro 4. Resultados de los análisis de varianza para etapa fenológica por muestreo.

FV	GL	ETAPA FENOLOGICA CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	6.25 ns	73.34 **	31.14 ns	0.08 ns	6.50 Ns	17.12 Ns	13.09 ns	1.001 ns	2.13 ns	24.08 ns	12.00 ns
REP*DF	4	2.24 ns	0.18 ns	2.56 ns	2.15 ns	12.23 Ns	13.67 Ns	2.86 ns	1.08 ns	13.67 ns	4.10 ns	4.55 ns
GRUPOS	1	35.04 **	15.04 **	335.0 **	1446.6 **	1129.7 **	718.6 **	157.4 **	308.6 **	479.4 **	557.4 **	5.04 ns
DF*GRUPOS	1	0.11 ns	0.78 ns	10.22 ns	3.37 ns	0.07 Ns	25.35 Ns	4.62 ns	1.96 ns	24.13 ns	3.37 *	15.04 ns
ERROR	100	1.88	0.65	8.10	5.71	5.13	22.04	4.27	2.98	9.42	9.81	6.55
TOTAL	107											
CV (%)		6.0	2.5	6.7	4.3	3.8	6.8	2.8	2.2	3.9	3.7	2.9
MEDIA		22.7	31.6	42.0	54.8	58.3	68.7	72.9	75.6	78.6	84.5	86.0

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

El Cuadro 5 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos para esta variable. Con respecto a las dosis de fertilización nitrogenada, se observó que los dos primeros muestreos registraron diferencias estadísticas; sin embargo, a partir de los muestreos 3 al 11 no registraron diferencias significativas. Dentro los grupos de genotipos evaluados, se encontraron diferencias en todos los muestreos, excepto en el muestreo 11, que no registró diferencias estadísticas entre los grupos de genotipos.

Cuadro 5. Resultados de la prueba de comparación de medias para etapa fenológica entre dosis de fertilización y grupos, por muestreo.

ETAPA FENOLOGICA											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	23.0 a	32.5 a	42.6 a	54.9 a	58.5 a	68.3 a	73.3 a	75.7 a	78.5 a	85.0 a	86.3 a
DF2	22.5 b	30.8 b	41.5 a	54.8 a	58.0 a	69.1 a	72.6 a	75.5 a	78.8 a	84.0 a	85.6 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.5239	0.3079	1.0872	0.9172	0.8653	1.7926	0.7895	0.6596	1.1721	1.1962	1.0624
GRUPO 1	23.5 a	31.9 a	43.3 a	57.4 a	60.6 a	70.6 a	73.8 a	76.8 a	80.1 a	86.1 a	86.1 a
GRUPO 2	22.3 b	31.1 b	39.5 b	49.7 b	53.7 b	65.1 b	71.2 b	73.2 b	75.6 b	81.3 b	85.6 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.5557	0.3265	1.1531	0.9729	0.9178	1.9013	0.8374	0.6996	1.2432	1.2687	1.037

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )



## BIOMASA TOTAL

En el Cuadro 6, se presentan los resultados de los análisis de varianza para este variable; se registraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos. Entre los grupos de genotipos no se registraron diferencias significativas, excepto en el tercer muestreo, que registró diferencias altamente significativas; la interacción DF\*GRUPOS no registró diferencias significativas. Los coeficientes de variación oscilaron entre 26.0 y 55.2 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 6. Resultados de los análisis de varianza para biomasa total por muestreo.

FV	GL	BIOMASA TOTAL CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.57 **	5.76 **	12.32 **	49.59 **	47.18 **	221.64 **	128.28 **	265.28 **	372.37 **	401.52 **	485.95 **
REP*DF	4	0.07 ns	0.24 ns	0.91 ns	1.54 ns	1.09 ns	0.98 ns	4.92 ns	1.85 ns	5.17 ns	2.65 ns	4.95 ns
GRUPOS	1	0.02 ns	0.52 ns	23.78 **	6.83 ns	12.43 ns	5.34 ns	9.01 ns	7.59 ns	0.65 ns	0.26 ns	12.27 ns
DF*GRUPOS	1	0.08 ns	0.0027 ns	0.79 ns	0.003 ns	0.98 ns	3.07 ns	5.64 ns	1.05 ns	0.11 ns	1.56 ns	16.70 ns
ERROR	100	0.06	0.19	1.20	1.93	3.95	4.16	4.42	5.98	5.94	7.52	7.74
TOTAL	107											
CV (%)		26.0	32.5	41.4	42.6	55.2	34.6	32.7	35.0	32.3	32.9	32.2
MEDIA		0.97	1.33	2.65	3.25	3.59	5.89	6.42	6.97	7.53	8.33	8.62

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

El Cuadro 7 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos. Los tratamientos con fertilización nitrogenada produjeron en forma general cantidades significativamente mayores de biomasa que los tratamientos sin fertilización. Estas diferencias fueron más marcadas a partir del primer muestreo. Dentro de los grupos de triticales no se encontraron diferencias estadísticas para acumulación de biomasa entre los los tipos primaverales e intermedios-invernales, excepto en el tercer muestreo, donde el grupo de hábito primaveral fue significativamente superior al grupo de intermedios-invernales para esta característica.

Cuadro 7. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo para biomasa total entre dosis de fertilización y grupos.

BIOMASA TOTAL											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	1.04 A	1.57 a	2.99 a	3.93 a	4.25 a	7.32 a	7.51 a	8.54 a	9.39 a	10.25 a	10.74 a
DF2	.90 B	1.10 b	2.31 b	2.58 b	2.93 b	4.45 b	5.33 b	5.40 b	5.68 b	6.40 b	6.50 b
DMS $\alpha$ 0.05	0.097	0.1665	0.4198	0.5309	0.7589	0.7794	0.8028	0.9345	0.9307	1.0473	1.0624
GRUPO 1	0.98 A	1.38 a	2.98 a	3.43 a	3.83 a	6.04 a	6.62 A	7.16 a	7.59 a	8.36 a	8.36 a
GRUPO 2	0.95 a	1.24 a	1.98 b	2.90 a	3.11 a	5.57 a	6.01 a	6.59 a	7.43 a	8.26 a	9.13 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.1029	0.1766	0.4452	0.5631	0.805	0.8267	0.8515	0.9911	0.9872	1.1108	1.1269

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )

## ÁREA FOLIAR

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de los análisis de varianza para este variable; se encontraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos. Entre los grupos de genotipos se registraron diferencias significativas desde el tercer muestreo y decimo muestreo, excepto en el primero, segundo y onceavo muestreo, que no registraron diferencias significativas; en la interacción DF\*GRUPOS se registraron diferencias significativas en el muestreo 5 y altamente significativas en los muestreos 4,6,7,8,9 y 10; donde no hubo ningún efecto fue en los muestreos 1,2,3 y 11. Los coeficientes de variación oscilaron entre 21.4 y 68.0 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 8 Resultados de los análisis de varianza para área foliar por muestreo.

FV	GL	ÁREA FOLIAR CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	113555.5 **	205844.6 **	406725.9 **	431908.9 **	269170.6 **	167741.5 **	153763.3 **	98270.9 **	59202.01 **	27021.1 **	10192.7 **
REP*DF	4	1567.0 ns	1254.2 ns	813.5 ns	1877.1 ns	893.3 Ns	1288.01 ns	2108.7 ns	425.40 ns	66.83 ns	133.7 ns	117.0 ns
GRUPOS	1	2186.3 ns	1173.2 ns	15345.2 **	129169.3 **	102447.02 **	96161.1 **	75458.2 **	57473.8 **	45882.1 **	58514.7 **	16272.5 ns
DF*GRUPOS	1	2149.5 ns	11.85 ns	33.92 ns	28407.5 **	8376.36 *	12007.9 **	20284.6 **	13200.7 **	9964.7 **	12311.03 **	6722.30 ns
ERROR	100	1105.9	1337.2	1697.2	1559.4	1808.3	1233.3	1074.80	1044.1	288.7	448.9	260.7
TOTAL	107											
CV (%)		26.3	22.8	22.4	22.4	27.9	26.9	31.2	37.7	25.0	48.8	68.0
MEDIA		126.00	160.17	183.83	175.60	152.3	130.2	105.06	85.7	67.80	43.4	23.71

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

En el Cuadro 9 se muestran los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias para la variable área foliar. Los tratamientos con fertilización nitrogenada produjeron en forma general cantidades significativamente mayores de área foliar que los experimentos sin fertilización; entre grupos se observó que en los primeros dos muestreos no se registró diferencia estadística, mientras que en el resto de los muestreos registraron diferencias significativas, con los genotipos intermedios-invernales registrando mayor área foliar que los tipos primaverales.

Cuadro 9. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo de la variable área foliar entre dosis de fertilización y grupos.

AREA FOLIAR											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	158.4 a	203.8 a	245.2 a	238.83 a	202.2 a	169.6 a	142.7 a	115.8 a	91.2 a	59.2 a	33.4 a
DF2	93.5 b	116.5 b	122.4 b	112.3 b	102.4 b	90.8 b	67.3 b	55.5 b	44.3 b	27.5 b	13.9 b
DMS $\alpha$ 0.05	12.698	13.962	15.73	15.078	16.236	13.409	12.518	12.338	6.4879	8.0904	6.1654
GRUPO 1	129.1 a	157.8 a	175.4 b	151.1 b	130.5 b	109.1 b	86.36 b	69.39 b	53.23 b	30.05 b	15.03 b
GRUPO 2	119.6 a	164.8 a	200.6 a	224.5 a	195.9 a	172.4 a	142.4 a	118.3 a	96.95 a	70.11 a	41.07 a
DMS $\alpha$ 0.05	13.468	14.809	16.684	15.992	17.221	14.222	13.277	13.086	6.8814	8.58576	6.5394

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )

## NDVI

En el Cuadro 10 se reportan los resultados de los análisis de varianza para esta variable; se registraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos. Entre los grupos de genotipos no se registraron diferencias estadísticas, excepto en los muestreos 10 y 11, que registraron diferencias altamente significativas. La interacción DF\*GRUPOS no registró diferencias significativas. Los coeficientes de variación oscilaron entre 9.4 y 19.4 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 10 Resultados de los análisis de varianza para NDVI por muestreo.

FV	GL	NDVI CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.75 **	0.92 **	1.41 **	0.67 **	0.50 **	0.33 **	0.25 **	0.21 **	0.15 **	0.055 **	0.012 **
REP*DF	4	0.003 ns	0.003 ns	0.0001 ns	0.001 ns	0.001 Ns	0.001 ns	0.003 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.002 ns	0.002 *
GRUPOS	1	0.001 ns	0.001 ns	0.007 ns	0.003 ns	0.001 Ns	0.001 ns	0.004 ns	0.006 ns	0.022 ns	0.124 **	0.39 **
DF*GRUPOS	1	0.00002 ns	0.0009 ns	0.002 ns	0.0002 ns	0.0008 Ns	0.00004 ns	0.002 ns	0.001 ns	0.000001 ns	0.002 ns	0.0002 ns
ERROR	100	0.004	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.0008
TOTAL	107											
CV (%)		15.2	10.3	9.4	12.3	12.6	14.0	15.3	15.6	17.5	19.4	19.4
MEDIA		0.44	0.50	0.55	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.29	0.22	0.14

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

En el Cuadro 11 se muestran los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos para esta variable. Los tratamientos con fertilización nitrogenada registraron en forma general valores significativamente mayores del índice de vegetación diferencial normalizada (NDVI) que los tratamientos sin fertilización. Entre los grupos de genotipos se observó que no hubo diferencias significativas en los muestreos 1 al 8; en los muestreos 9 al 11, se registraron valores de NDVI significativamente mayores en el grupo de genotipos intermedios-invernales.

Cuadro 11. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo para NDVI entre dosis de fertilización y grupos.

NDVI											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.53 a	0.59 a	0.66 a	0.53 a	0.49 a	0.44 a	0.40 a	0.38 a	0.32 a	0.24 a	0.15 a
DF2	0.36 b	0.41 b	0.43 b	0.38 b	0.35 b	0.33 b	0.31 b	0.29 b	0.25 b	0.20 b	0.13 b
DMS $\alpha$ 0.05	0.0261	0.0199	0.0199	0.0216	0.0203	0.0208	0.0211	0.0202	0.0194	0.0169	0.0109
GRUPO 1	0.44 a	0.50 a	0.54 a	0.46 a	0.41 a	0.38 a	0.35 a	0.33 a	0.27 b	0.20 b	0.10 b
GRUPO 2	0.45 a	0.50 a	0.56 a	0.45 a	0.42 a	0.39 a	0.37 a	0.34 a	0.31 a	0.27 a	0.23 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.0277	0.0211	0.0211	0.023	0.0215	0.022	0.0224	0.0215	0.0206	0.0179	0.0116

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )

## ÁREA VERDE (GA)

En el Cuadro 12, se presentan los resultados de los análisis de varianza para este variable; se registraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, excepto el décimo. Entre los grupos de genotipos no se encontraron diferencias significativas, excepto en los muestreos 9 y 11, donde se registraron diferencias estadísticas; la interacción DF\*GRUPOS no registró diferencias significativas. Los coeficientes de variación oscilaron entre 6.6 y 55.4 % dependiendo del muestreo.

Cuadro 12. Resultados de los análisis de varianza para GA por muestreo.

FV	GL	ÁREA VERDE (GA) CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.51 **	0.83 **	1.79 **	1.07 **	0.30 **	0.45 **	0.41 **	0.27 **	0.184 **	0.027 ns	0.014 *
REP*DF	4	0.001 Ns	0.0007 ns	0.003 ns	0.003 ns	0.006 ns	0.004 Ns	0.010 ns	0.002 ns	0.002 ns	0.001 ns	0.0005 ns
GRUPOS	1	0.002 Ns	0.0001 ns	0.007 ns	0.008 ns	0.008 ns	0.005 Ns	0.004 ns	0.007 ns	0.185 **	0.012 ns	0.015 *
DF*GRUPOS	1	0.004 Ns	0.004 ns	0.004 ns	0.013 ns	0.003 ns	0.0007 Ns	0.0003 Ns	0.000001 ns	0.000001 ns	0.009 ns	0.0004 ns
ERROR	100	0.001	0.002	0.002	0.004	0.004	0.004	0.010	0.013	0.011	0.013	0.002
TOTAL	107											
CV (%)		7.6	6.6	8.1	10.4	10.2	12.8	19.9	25.2	25.6	39.5	55.4
MEDIA		0.58	0.71	0.66	0.63	0.67	0.54	0.52	0.45	0.41	0.29	0.098

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

El Cuadro 13 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias para esta variable. Los tratamientos con fertilización nitrogenada registraron en forma general valores significativamente mayores de área verde que los tratamientos sin fertilización. Entre los grupos de genotipos se observa que no hubo diferencia estadística en los muestreos del 2 al 10; sólo en el primer muestreo, los tipos intermedios-invernales fueron estadísticamente diferentes de los tipos primaverales.

Cuadro 13. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo para área verde entre dosis de fertilización y grupos.

ÁREA VERDE (GA)											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.65 a	0.80 a	0.79 a	0.73 a	0.72 a	0.60 A	0.58 a	0.50 a	0.46 a	0.31 a	0.08 b
DF2	0.51 b	0.62 b	0.53 b	0.53 b	0.61 b	0.47 B	0.45 b	0.40 b	0.37 b	0.28 a	0.11 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.0179	2.80576	0.0208	0.0225	0.0263	0.0267	0.0397	0.0439	0.0411	0.0449	0.0209
GRUPO 1	0.58 a	0.71 a	0.66 a	0.63 a	0.66 a	0.53 A	0.51 a	0.44 a	0.39 b	0.28 a	0.09 b
GRUPO 2	0.59 b	0.71 a	0.67 a	0.64 A	0.68 a	0.55 A	0.53 a	0.46 a	0.47 a	0.31 a	0.11 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.018	0.0192	0.0221	0.027	0.0279	0.0283	0.0421	0.0466	0.0436	0.0476	0.0222

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )



### ÁREA MAS VERDE (GGA)

En el Cuadro 14 se presentan los resultados de los análisis de varianza para este variable; se registraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, excepto en el décimo. Entre los grupos de genotipos no se registraron diferencias significativas, excepto en el noveno y undécimo muestreo. La interacción DF\*GRUPOS no registró diferencias significativas en ninguno de los muestreos. Los coeficientes de variación oscilaron entre 9.6 y 77.7 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 14. Resultados de los análisis de varianza para GGA por muestreo.

FV	GL	AREA MAS VERDE (GGA) CUADROS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.46 *	1.27 **	2.50 **	1.27 **	0.50 **	0.49 **	0.41 **	0.20 **	0.046 **	0.005 ns	0.008 **
REP*DF	4	0.001 ns	0.001 ns	0.003 ns	0.004 Ns	0.012 ns	0.002 ns	0.010 ns	0.001 ns	0.001 ns	0.0003 ns	0.00008 ns
GRUPOS	1	0.007 ns	0.001 ns	0.003 ns	0.014 Ns	0.011 ns	0.005 ns	0.004 ns	0.013 ns	0.023 *	0.004 ns	0.0086 **
DF*GRUPOS	1	0.005 ns	0.004 ns	0.005 ns	0.012 Ns	0.003 ns	0.001 ns	0.0003 ns	0.00 ns	0.00000012 ns	0.003 ns	0.0000003 ns
ERROR	100	0.002	0.002	0.004	0.005	0.006	0.003	0.010	0.004	0.005	0.002	0.0007
TOTAL	107											
CV (%)		10.93	9.69	13.1	14.9	18.85	18.15	19.9	28.09	36.27	42.49	77.72
MEDIA		0.42	0.54	0.53	0.49	0.44	0.34	0.52	0.24	0.20	0.11	0.035

ns: no significativo; \* significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

En el Cuadro 15 se muestran los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos para esta variable (GGA). Los tratamientos con fertilización nitrogenada registraron en forma general valores significativamente mayores de área más verde que los tratamientos sin fertilización. Entre los grupos de genotipos se observó que no hubo diferencias estadísticas en los primeros ocho muestreos; sólo se registró diferencia estadística en el noveno muestreo y en el final (11), donde los genotipos de hábito intermedio-invernal presentaron valores mayores de GGA.

Cuadro 15. Resultados de la prueba de comparación de medias por muestreo de área más verde (GGA) entre dosis de fertilización y grupos.

AREA MAS VERDE (GGA)											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.49 a	0.65 a	0.68 a	0.60 a	0.51 a	0.40 a	0.41 a	0.28 a	0.22 a	0.11 a	0.02 b
DF2	0.36 b	0.43 b	0.38 b	0.38 b	0.37 b	0.27 b	0.28 b	0.20 b	0.17 b	0.10 b	0.04 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.0179	0.0201	0.0267	0.0283	0.0318	0.0236	0.0276	0.0263	0.0277	0.0183	0.0107
GRUPO 1	0.49 a	0.54 a	0.52 a	0.48 a	0.43 a	0.35 a	0.34 a	0.23 a	0.18 b	0.10 a	0.02 b
GRUPO 2	0.36 b	0.54 A	0.54 a	0.51 a	0.45 a	0.33 a	0.36 a	0.26 a	0.22 a	0.12 a	0.04 a
DMS $\alpha$ 0.05	0.0179	0.0213	0.0283	0.03	0.0337	0.0251	0.0292	0.0279	0.0294	0.0194	0.0113

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey  $p < 0.05$ )

## Resultados del análisis de varianza para rendimiento de grano

Los resultados del análisis de varianza para rendimiento de grano se presentan en el Cuadro 18, donde se observa que los genotipos incluidos en ambos grupos por hábito de crecimiento registraron rendimientos de grano significativamente diferentes en la dosis de fertilización 1 (DF1, fertilizado), en comparación con los genotipos evaluados bajo cero fertilización (DF2, no fertilizado), donde no se registraron diferencias estadísticas entre los grupos de genotipos.

Cuadro 18. Resultados de los análisis de varianza para rendimiento de grano entre dosis de fertilización y grupos de genotipos.

Fuente de variación	GL	CM (DF1)	CM (DF2)
Grupos	1	8.241 **	0.4358 ns
Rep*Grupos	4	0.0607 ns	0.3509 ns
Error	48	0.444	0.308
Total	53		
CV (%)		19.7	25.9
Media		3.374	2.143

ns: no significativo; \*significativo al 0.05 de probabilidad; \*\* significativo al 0.01 de probabilidad.

Cuadro 19. Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre dosis de fertilización (DF).

Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )	
DF1	3.374 a
DF2	2.143 b
DMS	0.230

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey p<0.05)

Cuadro 20. Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre grupos, por dosis de fertilización.

		Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )
DF1	Grupo 1 (primaverales)	3.650 a
	Grupo 2 (intermedios-Invernales)	2.822 b
	DMS	0.386
DF2	Grupo 1 (primaverales)	2.207 a
	Grupo 2 (intermedios-Invernales)	2.016 a
	DMS	0.322

Columnas con la misma literal son estadísticamente iguales (Tukey p<0.05)

### Resultados de las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas.

En el Cuadro 19 se presentan los resultados de las correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas: las más importantes, positivas y significativas fueron: NDVI con rendimiento de grano, Área foliar, GA y GGA.

Cuadro 19. Correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas

Variable	Correlaciones fenotípicas							
	Altura	Etapa	Biotot	AF	NDVI	RendG	GA	GGA
Altura		0.94 *	0.94 *	-0.38 *	-0.57 *	0.21	-0.59 *	-0.65 *
Etapa	0.94 *		0.87 *	-0.54 *	-0.71 *	0.04	-0.71 *	-0.75 *
Biotot	0.94 *	0.87 *		-0.38 *	-0.56 *	0.34 *	-0.62 *	-0.65 *
AF	-0.38 *	-0.54 *	-0.38 *		0.89 *	0.35 *	0.86 *	0.89 *
NDVI	-0.57 *	-0.71 *	-0.56 *	0.89 *		0.36 *	0.93 *	0.96 *
RendG	0.21	0.04	0.34 *	0.35 *	0.36 *		0.26	0.29
GA	-0.59 *	-0.71 *	-0.62 *	0.86 *	0.93 *	0.26		0.97 *
GGA	-0.65 *	-0.75 *	-0.65 *	0.89 *	0.96 *	0.29	0.97 *	

(Significativas a p< .05).

## DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de los análisis de varianza para todas las características evaluadas demostraron que la aplicación de nitrógeno es muy importante, ya que los valores promedio más altos en todas las variables se registraron cuando se aplicó fertilizante nitrogenado (DF1 vs DF2).

### Altura de planta

En la Figura 1, se muestra el patrón de aumento promedio de altura de planta: independientemente del hábito de crecimiento de los genotipos, la aplicación de nitrógeno promovió una mayor altura de planta, resaltando la importancia del nitrógeno en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Salas, 2003; Kichey et al, 2007). Los genotipos primaverales registraron mayor altura que los intermedios-invernales en los muestreos iniciales debido a su mayor precocidad; a su vez, los más tardíos registraron las mayores alturas al final del ciclo, debido a su constitución genética.

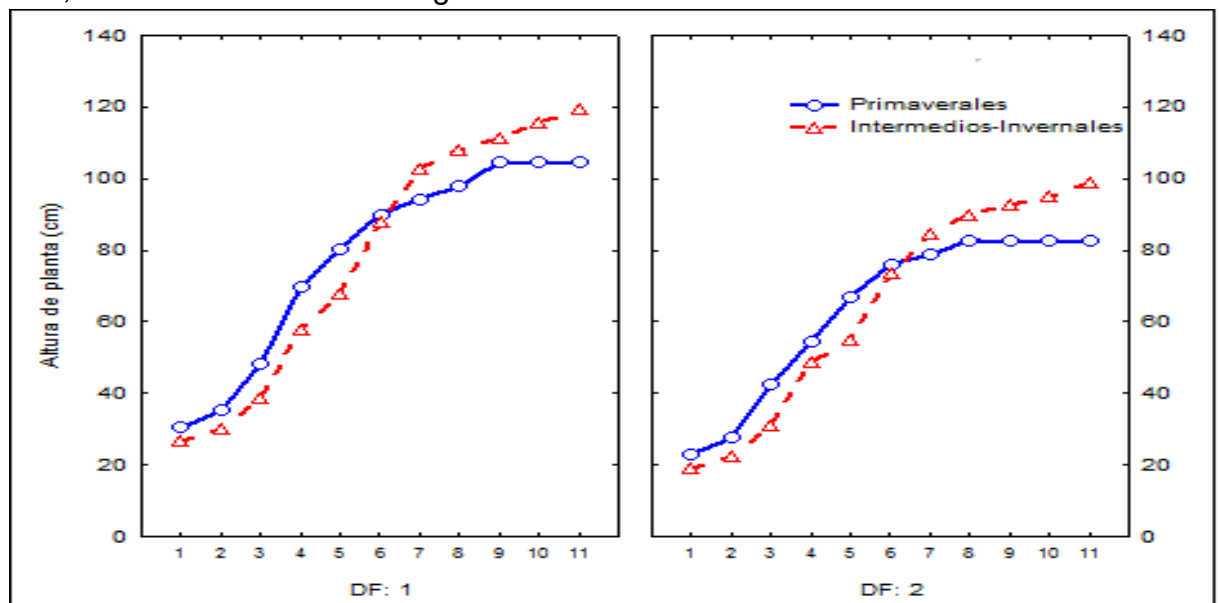


Figura 1. Patrón de acumulación de altura de planta de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

## Etapa fenológica

En la Figura 2 se muestra el patrón de avance de la etapa fenológica de ambos grupos de genotipos; no se observaron diferencias significativas en la fenología con la aplicación de nitrógeno; asimismo, el efecto de la fertilización nitrogenada no modificó la fenología de los hábitos de crecimiento evaluados; de esta forma, los triticales primaverales fueron más precoces que los intermedios-invernales a través de todo el ciclo de cultivo, independientemente de la dosis de fertilización. Asimismo, en forma general, los genotipos más tardíos alcanzaron en promedio la madurez fisiológica 10 días más tarde que los tipos primaverales.

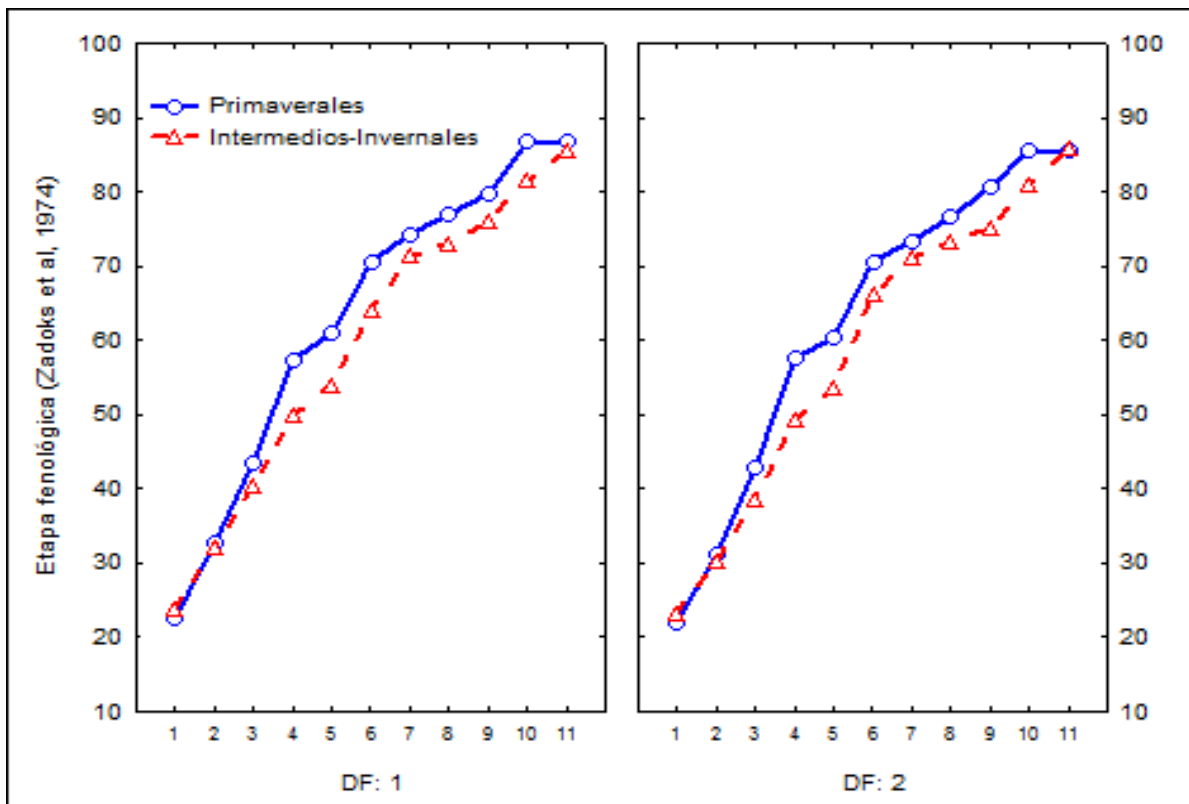


Figura 2. Patrón de acumulación de etapa fenológica de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

### Biomasa seca total

En la Figura 3 se muestra el patrón de acumulación promedio de biomasa seca para cada grupo a través de los muestreos en cada dosis de fertilización. De manera general, se observa que en ambos grupos de genotipos la fertilización estimuló la acumulación de biomasa. Lo anterior concuerda con lo reportado por Salas, 2003; Newbould, 1989 y Parodi, 2003, que mencionan que el nitrógeno es un elemento indispensable para la fotosíntesis para que las plantas fijen el carbono y para la acumulación de materia orgánica. La acumulación de biomasa fue similar en ambos grupos de genotipos, aunque de mayor duración en los tipos intermedios-invernales.

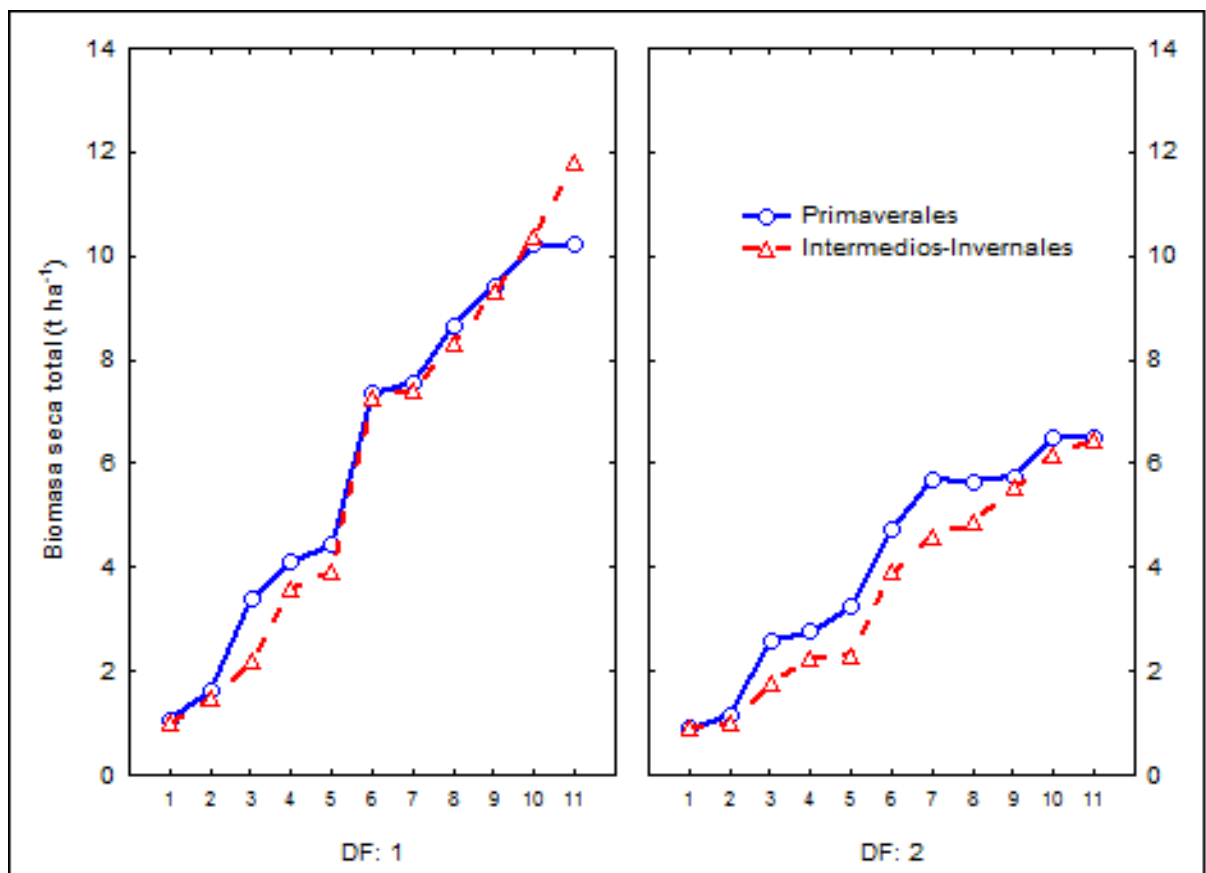


Figura 3. Patrón de acumulación de biomasa seca de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

## Área foliar

En la Figura 4, se muestra el patrón de acumulación de área foliar. Independientemente del hábito de crecimiento de los genotipos evaluados, la fertilización nitrogenada promovió un mayor desarrollo del área foliar, dando por resultados una mayor biomasa total. Los triticale de hábito intermedio-invernal registraron significativamente una mayor área foliar que los tipos primaverales, debido a su constitución genética, que les confiere una mayor capacidad de aojamiento y una mayor relación hoja-tallo (Lozano *et al.*, 2009; Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001).

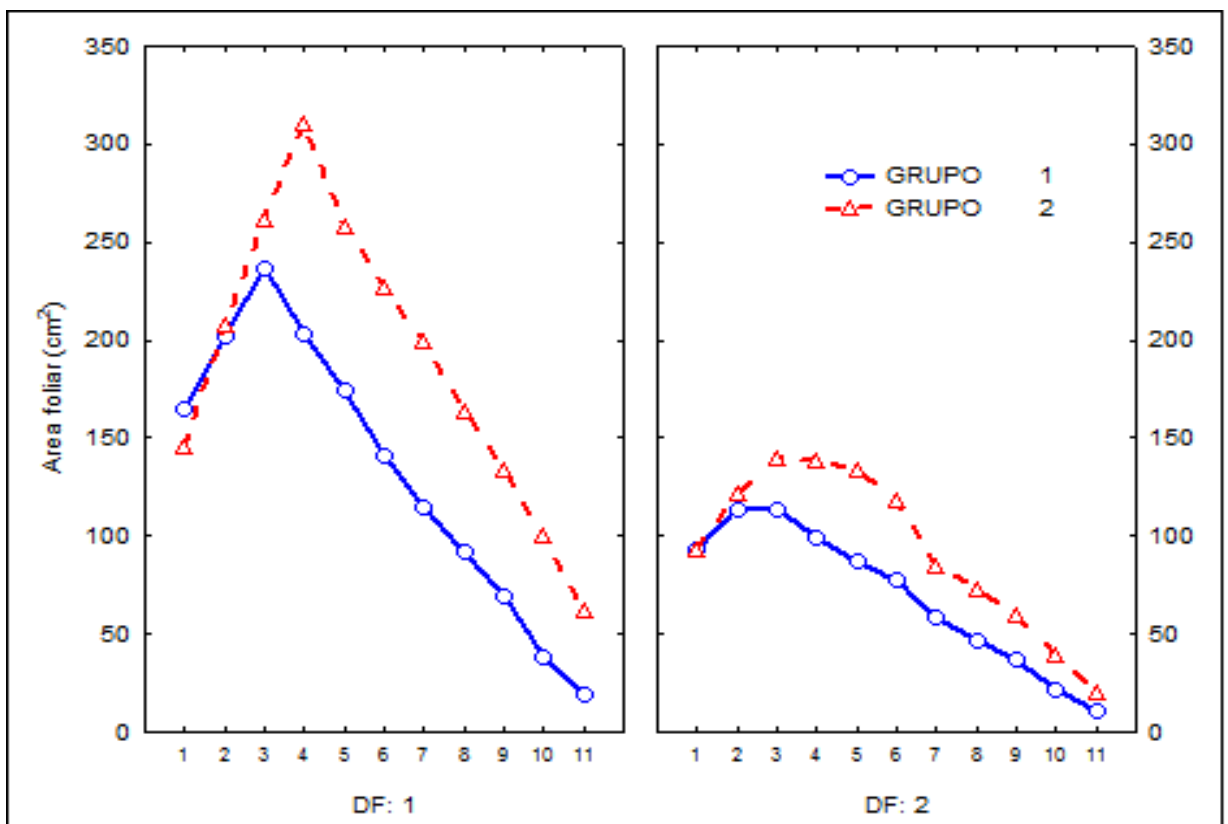


Figura 4. Patrón de acumulación de área foliar de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.



## NDVI

Para la variable NDVI, de manera general, los grupos exhibieron una mayor área foliar con la aplicación de nitrógeno, lo cual se tradujo en mayores valores de NDVI (Figura 5). Ambos tipos de triticales exhibieron un patrón similar de valores de NDVI a través del primero hasta el quinto o sexto muestreo; en la fase final de crecimiento (muestréos 6 al 11), los tipos intermedios-invernales registraron mayores valores de NDVI debido a su mayor relación hoja-tallo, concordando con lo reportado por diversos autores (Lozano *et al.*, 2009; Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001).

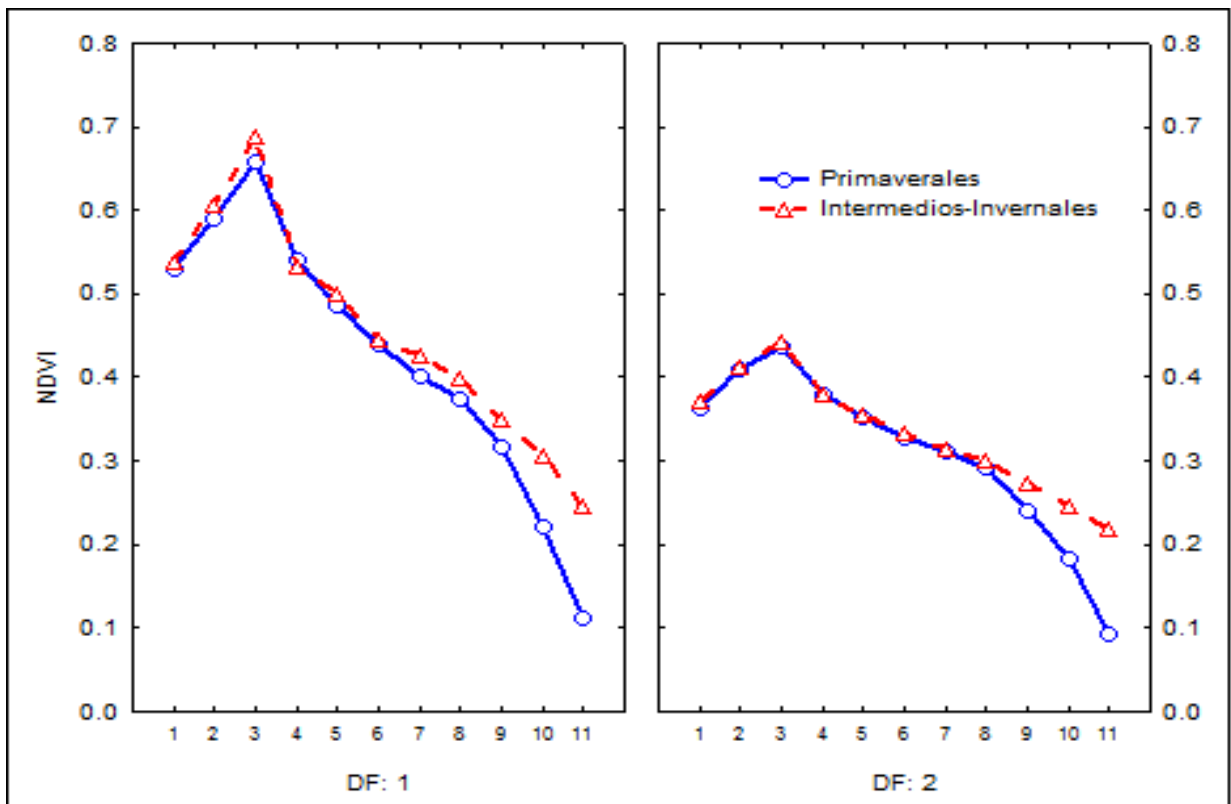


Figura 5. Patrón de acumulación de NDVI de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestréos. Navidad, N.L. 2015.

## AREA VERDE (GA)

En la Figura 6, se muestra el patrón de acumulación de área verde (GA). Con este parámetro, desarrollado por el software procesador de fotografía digital BreedPix, el cual contabiliza la proporción de píxeles verdes de la imagen, es posible predecir el porcentaje de cubierta vegetal y biomasa en los cereales. Independientemente del hábito de crecimiento, los genotipos bajo fertilización nitrogenada registraron valores mayores de GA, debido a su mayor cobertura vegetal. Por otra parte, los genotipos intermedios-invernales registraron en general valores ligeramente mayores de GA que los tipos primaverales, pero sin diferencias estadísticas.

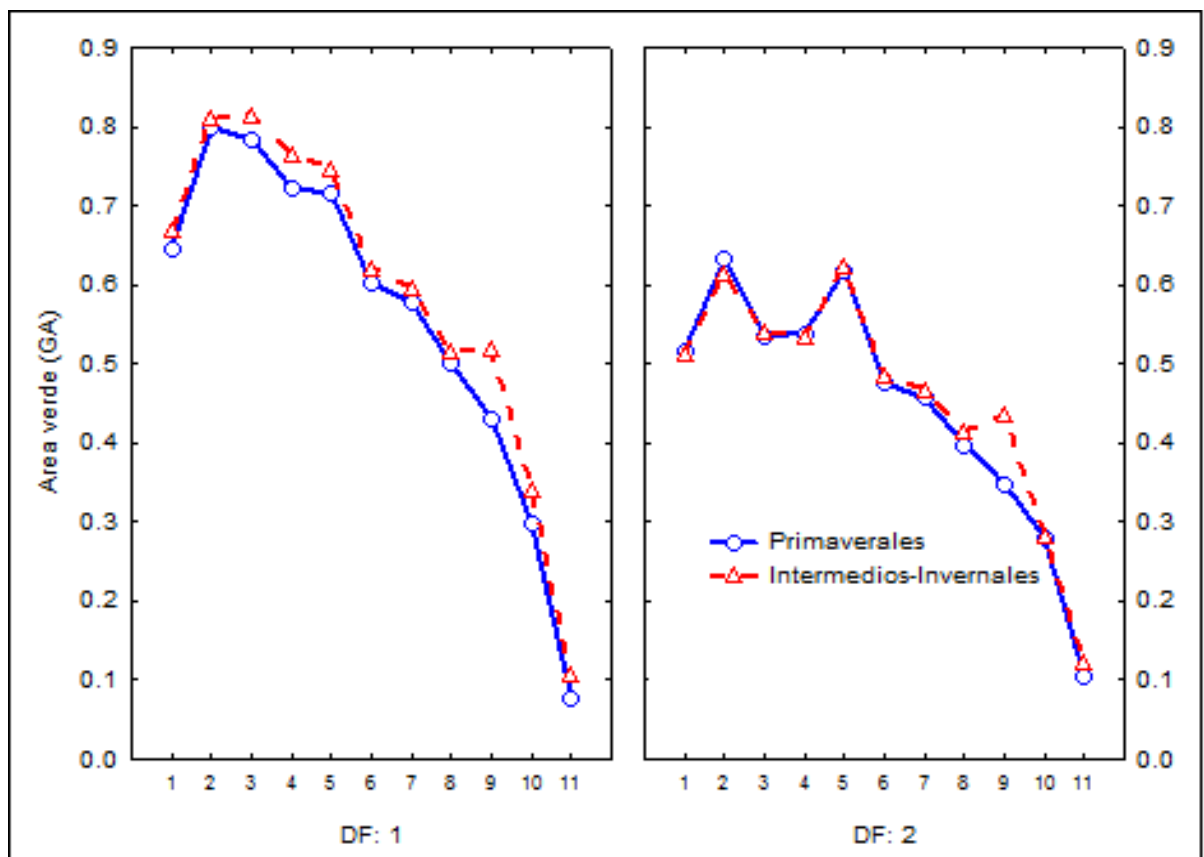


Figura 6. Patrón de acumulación de área verde (GA) de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

## AREA MAS VERDE (GGA)

De la misma manera que para el área verde (GA), la Figura 7 muestra el patrón de acumulación de área más verde (GGA). También, independientemente del hábito de crecimiento, los genotipos bajo fertilización nitrogenada registraron valores mayores de GGA, debido a su mayor cobertura vegetal. Por otra parte, los genotipos intermedios-invernales registraron en general valores ligeramente mayores de GGA que los tipos primaverales, pero sin diferencias estadísticas.

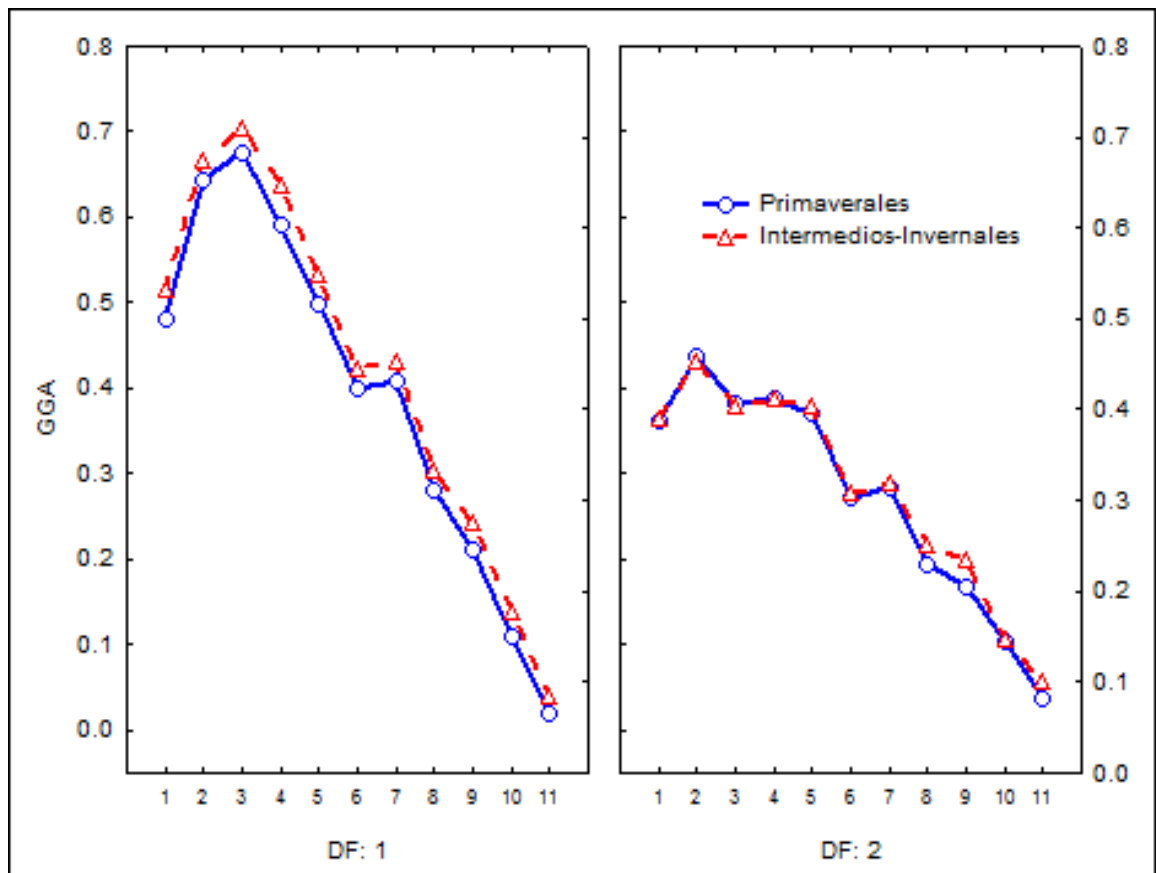


Figura 7. Patrón de acumulación de área más verde (GGA) de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

## CONCLUSIONES

De acuerdo de las condiciones bajo las cuales se realizó la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas en la producción de biomasa, área foliar y NDVI de los tipos de triticales cuando se cultivaron bajo dosis de fertilización contrastantes.
- De manera general la aplicación de fertilizante registró un incremento de los valores en todas las variables estudiadas, en comparación con los tratamientos no fertilizados.
- Los genotipos de hábito primaveral registraron mayores valores de biomasa seca total área foliar que los genotipos de hábito intermedio-invernal, debido a su precocidad, aunque no fueron estadísticamente superiores.
- En forma general, los valores de NDVI a través de los muestreos mostraron una correlación positiva, particularmente con el rendimiento de grano, área foliar y los índices de vegetación GA y GGA, más no con la biomasa seca total.

## LITERATURA CITADA

- Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L. and Taylor, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yield since 1890 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.* 94:675-689.
- Ayala-Silva, T and Beyl, C.A. (2005). Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research*, 35:305-317.
- Calvao T., Palmeirim J.M. (2004). Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behaviour. *International Journal of Remote Sensing* 25, 3113–3126.
- Campillo, R. R.; Jobet, F. C. y Undurraga, D. P. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en andisoles de la región de la Araucanía, Chile. *Chile. Agric. Téc.* 67(3):281-291.
- Casadesús, J., Kaya, Y., Bort, J., Nachit, M.M., Araus, J.L., Amor, S., Ferrazzano, G., Maalouf, F., Maccaferri, M., Martos, V., Ouabbou, H., Villegas, D., (2007). Using vegetation indices derived from conventional digital cameras as selection criteria for wheat breeding in water-limited environments. *Ann Appl Biol* 150: 227-236.
- Collar, C., and Aksland, G. 2001. Harvest effects on yield and quality of winter forage. *Proc. 31st California Alfalfa and Forage Symposium*. Ca. U.C. Cooperative Extensión. University of California, Davis. Calif: 133-142.
- Gooding, M.J., Kettlwell, P.S., Davies, W.P. & Hocking, T.J. 1986. Effects of spring nitrogen-fertilizer on the Hagberg falling number of grain from breadmaking varieties of winter-wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 107: 475–477.
- Jia, L., Chen, X., Zhang, F., Buerkert, A., Römheld, V. (2004). Use of digital camera to asses nitrogen status of winter wheat in the northern China plain. *J Plant Nutr* 27 (3): 441-450.
- Kalen, D.L. and Camp, C.R. 1982. N, P and K accumulation by high-yielding irrigated maize grown on a typical Paleudult in the Southeastern U.S. Ed. *Proc. 9th Intl, Plant Nutr. Colloq.* Vol. 1. Warwick University, UK. Pp. 262-267.

- Kichey, T.; Hirel, B.; Heumez, E.; Dubois, F. and Le Gouis, J. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Res.* 102:22-32.
- Lozano del Río, A. J. 2002. Triticales forrajeros para la Región Lagunera. *Revista Agropecuaria Laguna.* 29(6):4-5.
- Lozano-del Río, A. J., Zamora-Villa, V. M., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera, S. A., de la Cruz-Lázaro, E., y de la Rosa-Ibarra, M. 2009. Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale wittm.*). *Universidad y Ciencia.* 25(31):81-92.
- Lukina, E. V., Stone, M. L., Raun, W. R. (1999). Estimating vegetation coverage in wheat using digital images. *J Plant Nutr.* 22 (2): 341-350.
- Malhi, S.S., Johnston, A.M., Schoenau, J.J., Wang, Z.H., and Vera, C.L. 2006. Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a Black Chernozem soil in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 86:1005-1014.
- Moore, E. L. 2005. Alternative forage crops when irrigation water is limited. *Drought Management Factsheet.* British Columbia, Canadá. 6:1-6.
- Moreno, A., Moreno, M. M.; Ribas, F. and Cabello, M. J. 2003. Influence of nitrogen fertilizer on grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) under irrigated conditions. *Spanish J. Agric. Res.* 1:91-100.
- Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1980. Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. *Agron. J.* 72:45-52.
- Neal, J.S., Fulkerson, W.J., and Campbell, L.C. 2010. Differences in yield among annual forages used by the dairy industry under optimal and deficit irrigation. *Crop and Pasture Sci.* 61:625-638.

- Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically an ecologically? Ecology of arable land (Eds.). Clarholm, M. and Bergström, L. Kluwer, Dordrecht. 281-295 pp.
- National Research Council. 1989. Triticale: A promising addition to the world's cereal grains. National Academy Press, Washington, D.C. 105 pp.
- Orona, C.I., Flores, H. A., Rivera, G. M., Martínez, G., y Espinoza, A.J. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. Terra Latinoamericana. 21(2):195-201.
- Ozkan, H., Genv, T., Yagnasanlar, T., and Toklu, F. 1999. Stress tolerance in hexaploid spring triticale under Mediterranean environment. Plant Breeding. 118:365-367.
- Parodi, P. 2003. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno puede aumentar la rentabilidad del trigo y hacerlo más amigable hacia el ambiente. *In*: Kohli, M. M.; Díaz, M. y Castro, M. (Eds.). *In*: Seminario Internacional Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo, La Estanzuela, Uruguay. 8-11 de octubre de 2001. CIMMYT-INIA, Colonia, Uruguay. 275-283 pp.
- Peñuelas, J, Filella, I. (1998). Visible and near-infrared reflectance techniques for diagnosing plant physiological status. Trends Plant Sci. 3 (4): 151-156.
- Poysa, V.W. 1985. Effect of forage harvest on grain yield and agronomic performance of winter triticale, wheat and rye. Can. J. Plant Sci. 65:879-888.
- Rasmussen, J., Nørremark, M., Bibby, B.M. (2007). Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. Weed Res. 47: 299-310.
- Reta, S. D., Figueroa, V.U., Faz, C.R., Núñez, H. G., Gaytán, M. A., Serrato, C. S., y Payán G.J. 2010. Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. Rev. Fitotec. Mex. 33(4):83-87.

- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proc Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp, December 10–15 1974, Greenbelt, MD, 3:301–317, NASA, Washington, D.C.
- Royo, C. and Parés, D. 1995. Yield and quality of winter and spring triticales for forage and grain. *Grass and Forage Science*. 51:449-455.
- Salas, C. 2003. Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. *In: Meléndez, G. y Molina, E. (Eds.). Fertilizantes: características y manejo.* Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, San José. 1-19 pp.
- SAS Institute Inc. 1999. User's Guide. Statistics, Version 8.1. Sixth edition. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Statistica. 2001. By Statsoft Inc. U.S. A. Versión 6.1.
- Shpiler, L., and Blum, A. 1986. Differential reaction of wheat *Triticum aestivum* cultivars to hot environments. *Euphytica* 35:483-492.
- Wallace J.F., Caccetta P.A., Kiiveri H.T. (2004). Recent developments in analysis of spatial and temporal data for landscape qualities and monitoring. *Australian Ecology* 29, 100– 107.
- Ye, C.W., Díaz, S.H., Lozano-del Río, A.J., Zamora-Villa, V.M., Ayala, O.M. 2001. Agrupamiento de germoplasma de triticales por rendimiento, ahijamiento y gustosidad. *Téc. Pecu.* 39(1):15-29.
- Zamora-Villa, V.M., Lozano-del Río, A.J., López, B. A., Reyes, V. M., Díaz, S.H., Martínez, R.J., y Fuentes, R.J. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu.* 40(3):229-242.



## RESUMEN

En el Norte y Centro de México existe una alta demanda de forraje de calidad que con mejoras tecnológicas en el riego y la fertilización y variedades más productivas pueden hacer más eficientes los diferentes sistemas de producción. El objetivo de este trabajo fue documentar las características de biomasa foliar y total, área foliar y NDVI en genotipos de hábito de crecimiento primaveral e intermedio-invernal a través de once muestreos sucesivos bajo dos diferentes dosis de fertilización nitrogenada, además de documentar la relación entre el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y la producción de biomasa y área foliar. La investigación se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN en Navidad, N.L. durante el ciclo otoño-invierno 2014-2015. El diseño experimental fue bloques completos al azar. De manera general la aplicación de fertilización registró significativamente valores mayores en todas las variables estudiadas en comparación con los tratamientos no fertilizados. Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas en la producción de biomasa, área foliar y NDVI de los tipos de triticales cuando se cultivaron bajo dosis de fertilización contrastantes. De manera general la aplicación de fertilizante registró un incremento de los valores en todas las variables estudiadas, en comparación con los tratamientos no fertilizados. Los genotipos de hábito primaveral registraron mayores valores de biomasa seca total que los genotipos de hábito intermedio-invernal, debido a su precocidad, aunque no fueron estadísticamente superiores. El índice de vegetación NDVI mostró una correlación positiva con el rendimiento de grano y el área foliar, así como con los índices de vegetación GA y GGA; no así con la biomasa total.

**Palabras claves:** triticales, biomasa, dosis de fertilización, NDVI, GA, GGA.