

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Comportamiento Agronómico de Triticales Facultativos e Invernales Bajo
Diferentes Dosis de Fertilización en Navidad, N.L.

Por:

CARLOS ORTEGA CASTAÑEDA

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

Comportamiento Agronómico de Triticales Facultativos e Invernales Bajo
Diferentes Dosis de Fertilización en Navidad, N.L.

Por:


CARLOS ORTEGA CASTAÑEDA

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 Río
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

Carlos Ortega Galicia

Silvia Castañeda Vildózola

Les agradezco con todo mi corazón y el amor que les tengo inmensamente por ser mi motivo para seguir luchando día con día y no dejar vencerme pese a las adversidades que la vida nos ha puesto, quien gracias a ellos he logrado culminar lo mejor que ellos desean para mí, ser una persona sobresaliente en la vida. **Papá**, gracias por todos tus consejos, regaños quien me motiva a seguir adelante, por todos los muchos o pocos momentos que pasamos juntos por todo el apoyo que me brindaste y preocupándose por mandarme económicamente para poder sustentarme y decirme cuales son las cosas buenas y las malas con todo amor para ti, querido padre. **Mamá**, por cuidarme desde pequeño, por ser quien está atenta todo el tiempo, la mujer de mis amores y mi primer amor. Tú, mi pieza fundamental en mi vida y ser la persona de todas mis confianzas, por ser esa mujer que a pesar de cometer muchos errores siempre está conmigo y ayudarme a ser mejor persona, por escucharme cuando le hablo de mis problemas, este logro es para ustedes voy a estar con ustedes y apoyándolos como ustedes me apoyaron hasta que Dios me de vida y me llame para ahora servirle a él, con mucho amor para ustedes.

A MIS HERMANAS (OS):

Ariadna, Gerardo y Alexa

Gracias a ustedes por ser mi compañía, a pesar de que soy el hermano mayor me han enseñado muchas cosas y he aprendido también de ustedes, a pesar de que me hagan de enojar saben que nunca los voy abandonar y los voy a estar con ustedes apoyándolos en cualquier etapa de su vida, hasta que Dios me de vida, 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 quien tenemos nuestras vidas diferentes ustedes saben que siempre cuentan conmigo en todo momento. Y sobre todo a mi hermano **Gerardo** que ha estado conmigo y hemos compartido buenos y malos momentos.

A MIS ABUELITOS

Mario Castañeda Sol

Antonia Vildózola Tiempos

Antonio Ortega Zúñiga

Esperanza Galicia Álvarez

Por sus consejos, oraciones, el apoyo que me brindo cada uno de ustedes cada vez cuando regresaba a la Universidad, poner todas sus confianzas en mí y por nunca dejar de confiar a pesar de mis errores. Así mismo por su apoyo incondicional, con especial cariño para ustedes. **Y especialmente a mi abuelito Antonio** que a pesar de que se me fue antes de conocerlo, sé que el me estaría apoyando incondicionalmente, que desde el cielo me cuida.

A **TODOS MIS TÍOS**, por darme ánimos en los momentos difíciles, apoyarme económica y moralmente y ser parte de mi vida. Con todo afecto a mi tío **Ignacio** que fue uno quien me apoyo incondicionalmente, quien quiso que saliera adelante, y si dejar de mencionar a mis tíos (as): Agustín, Irene, Luis, Graciela y Rene.

A **UNO DE MIS MEJORES AMIGOS José Antonio** que siempre me dio ánimos y me motivo a seguir adelante, sin olvidar a mis de más amigos.

Y a una persona especial, que a pesar de conocernos poco tiempo se volvió una persona muy importante en mi vida y se volvió la segunda mujer que tanto quiero y que me apoyo incondicionalmente, dándome consejos y darme fuerzas para seguir adelante este logro es para ti **Guadalupe**.

AGRADECIMIENTOS

A **DIOS** por darme todas las bendiciones durante mis estudios y acompañarme en el camino cuidando mis pasos para no desviarme de mis metas, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles de mi vida y ser el hombro donde me recargo para desahogarme cuando estoy solo, que gracias a ti se pueden realizar los sueños que uno se plantea para nuestras vidas y no abandonarme en ningún momento cuando estoy pasando por momentos difíciles, gracias por escucharme y estar conmigo.

A mi "**ALMA TERRA MATER**" por permitir terminar mis estudios en esta gran casa de estudios que orgullosamente llevo recuerdos en mi corazón, me llevo grandes conocimientos adquiridos por esta hermosa institución, Gracias por formarme profesionalmente durante estos 4 años y medio, por cobijarme entre tus aulas y tus tierras agrícolas y por dejarme de ser un buitres "BUITRES BUITRES AL ATAQUE".

Al **Dr. Alejandro Javier Lozano del Río**, que gracias a él se pudo concluir este proyecto y por ser la base fundamental en este trabajo tan bonito y lleno de mucho trabajo y dedicación, 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, por todo eso y más, muchas gracias Doctor.

Al **Dr. Antonio Flores Naveda** por su colaboración y aportación en el presente trabajo.

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

A **MI COMPAÑERO DE TESIS** que nos ayudamos en todo para culminar nuestras metas y para que se realizara este trabajo que llevamos a cabo.

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

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

INDICE DE FIGURAS

Figura No.		Pág.
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 facultativo 2 y 4 de hábito invernal , 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	Primaveral
V2	AN-125	2	21	32	Primaveral
V3	AN-137	3	19	34	Primaveral
V4	ERONGA 83	4	17	29	Primaveral
V5	AN-105	5	24	36	Facultativo
V6	AN-38	6	13	31	Facultativo
V7	AN-66	7	18	25	Intermedio-invernal
V8	AN-184	8	22	33	Intermedio-invernal
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 m²).

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.

μ = 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, reportaron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos; entre los grupos de triticales se reportaron diferencias significativas en todos los muestreos, excepto en el cuarto y sexto que no reportó; la interacción DF* GRUPOS no reportó diferencias significativas en todos los muestreos diferencias significativas. Los coeficientes de variación variaron entre 9.87 y 12.58 %, 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	1160.3 **	1330.0 **	1323.0 **	1696.1 **	3256.0 **	3876.0 **	8533.3 **	10286.2 **	9766.0 **	10247.2 **	10364.4 **
REP*DF	4	15.21 *	27.20 **	35.04 ns	16.06 ns	79.42 ns	18.89 Ns	64.77 ns	140.1 ns	230.9 ns	54.39 ns	24.29 ns
GRUPOS	1	86.9 **	129.1 **	220.0 **	85.62 ns	291.6 **	3.12 Ns	1014.0 **	1980.1 **	1650.0 **	4302.2 **	7490.6 **
DF*GRUPOS	1	0.041 ns	2.44 Ns	0.00 ns	44.46 ns	31.89 ns	12.51 Ns	228.1 ns	332.5 ns	419.4 ns	492.0 ns	510.2 ns
ERROR	100	5.46	7.06	20.05	28.81	41.9	56.41	79.56	127.3	159.6	153.0	134.8
TOTAL	107											
CV (%)		10.12	10.19	12.16	10.15	10.67	9.87	10.20	11.83	12.58	11.91	10.88
MEDIA		23.09	26.06	36.81	52.85	60.62	76.06	87.44	95.38	100.4	103.8	106.6

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

En el (cuadro 3) muestra los resultados y tendencias de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos. Donde los tratamientos con fertilización nitrogenada provocaron en forma general mayor altura de la 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 facultativos, registraron significativamente mayor altura de planta que los invernales, excepto en el muestreo 4, donde no se registraron diferencias significativas.

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

ALTURA DE PLANTA PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	26.37 a	29.57 a	40.31 a	56.81 a	66.11 a	82.05 a	96.33 a	105.14 a	109.92 a	113.55 a	116.46 a
DF2	19.81 b	22.55 b	33.31 b	48.88 b	55.13 b	70.07 b	78.55 b	85.63 b	90.90 b	94.07 b	96.87 b
DMS α 0.05	0.893	1.014	1.709	2.049	2.471	2.867	3.405	4.309	4.824	4.723	4.433
GRUPO 1	24.36 a	27.61 a	38.83 a	54.11 a	62.94 a	76.30 a	83.11 b	89.33 b	94.88 b	94.88 b	94.88 b
GRUPO 2	22.45 b	25.29 b	35.80 b	52.22 a	59.45 b	75.94 b	89.61 a	98.41 a	103.18 a	108.27 a	112.55 a
DMS α 0.05	0.947	1.076	1.813	2.172	2.621	3.041	3.612	4.570	5.117	5.009	4.702

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, excepto en el primero, segundo, tercero y séptimo. Entre los grupos de genotipos se registraron diferencias significativas en todos los muestreos, excepto en el primero; asimismo, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación variaron entre 1.79 y 8.54, dependiendo del 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	16.33 **	50.70 **	44.08 **	23.14 ns	1.24 Ns	89.47 ns	36.75 *	5.78 Ns	0.018 Ns	0.222 ns	0.004 Ns
REP*DF	4	1.35 ns	0.962 *	1.40 ns	8.87 ns	4.47 Ns	15.96 ns	16.69 ns	10.09 Ns	2.32 Ns	10.88 ns	3.01 Ns
GRUPOS	1	0.226 ns	2.04 *	19.56 **	127.5 **	487.2 **	512.1 **	145.04 **	255.6 **	205.3 **	345.2 **	159.6 **
DF*GRUPOS	1	1.04 ns	0.115 Ns	1.04 ns	4.74 ns	0.145 Ns	6.47 ns	0.041 ns	0.782 Ns	10.05 Ns	7.74 ns	0.318 Ns
ERROR	100	1.61	0.309	2.19	10.11	11.62	29.34	8.83	8.51	8.52	11.90	6.40
TOTAL	107											
CV (%)		5.56	1.79	3.76	6.43	6.21	8.54	4.26	4.01	3.86	4.28	3.004
MEDIA		22.81	31.05	39.39	49.40	54.82	63.37	69.75	72.71	75.49	80.47	84.25

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 en los muestreos 1, 2, 3 y 7 demostraron diferencias significativas; y a partir de los muestreos 4, 5, 6 y del 8 hasta el 11 no registraron diferencias. Dentro los grupos de genotipos evaluados, no se encontraron diferencias en todos los muestreos, excepto en el primero.

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

ETAPA FENOLOGICA PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	23.20 a	31.74 a	40.03 a	49.87 a	54.93 a	62.46 a	70.33 a	72.94 a	75.48 a	80.42 a	84.25 a
DF2	22.42 b	30.37 b	38.75 b	48.94 a	54.72 a	64.28 a	69.16 b	72.48 a	75.50 a	80.51 a	84.24 a
DMS α 0.05	0.484	0.212	0.565	1.214	1.301	2.068	1.135	1.114	1.114	1.317	0.966
GRUPO 1	22.75 a	31.25 a	40.00 a	50.94 a	57.83 a	66.45 a	71.38 a	74.88 a	77.44 a	83.00 a	85.97 a
GRUPO 2	22.84 a	30.95 b	39.09 b	48.63 b	53.32 b	61.83 b	68.93 b	71.62 b	74.51 b	79.20 b	83.39 b
DMS α 0.05	0.514	0.225	0.6001	1.287	1.38	2.193	1.203	1.181	1.182	1.397	1.025

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; registraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, excepto en el primero. Los grupos de genotipos, se registraron diferencias significativas, excepto en el primero, segundo y sexto muestreo; entre la interacción DF*GRUPOS, no se registró significancia. Los coeficientes de variación oscilaron entre 29.7 y 54.10, 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	0.256 Ns	3.59 **	12.77 **	31.72 **	23.51 **	139.5 **	161.8 **	199.5 **	246.9 **	332.2 **	347.3 **
REP*DF	4	0.022 Ns	0.076 ns	1.63 ns	1.44 ns	2.44 Ns	1.76 ns	0.760 ns	1.31 ns	4.85 Ns	3.21 ns	2.11 ns
GRUPOS	1	0.0007 Ns	0.018 ns	3.08 *	7.75 **	18.94 **	6.90 ns	32.94 **	29.95 **	45.81 **	31.33 *	32.86 *
DF*GRUPOS	1	0.065 Ns	0.090 ns	0.072 ns	0.377 ns	0.163 Ns	0.00 ns	1.24 ns	1.10 ns	1.36 Ns	1.85 ns	23.23 ns
ERROR	100	0.091	0.127	0.766	1.11	2.47	3.26	2.35	3.07	5.29	5.98	7.05
TOTAL	107											
CV (%)		32.92	29.7	39.00	38.75	54.10	38.23	29.64	29.43	35.31	34.01	31.62
MEDIA		0.919	1.20	2.24	2.72	2.90	4.72	5.17	5.95	6.51	7.19	8.39

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

En el cuadro 7 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias, entre dosis de fertilización y grupos de genotipos. Los tratamientos con fertilización produjeron estadísticas significativas de biomasa total en todos los muestreos, comparado con los experimentos que no se le aplicó fertilización. Estas diferencias fueron más marcadas a partir del primer muestreo. dieron un menor porcentaje de acuerdo a la estimación de biomasa total. Entre los grupos de genotipos, se registró en los experimentos de triticales significancias iguales en el 1°, 2° y 6° en biomasa total; con excepción de los demás muestreos que mostraron significancias diferentes.

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

BIOMASA TOTAL											
PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.968 a	1.38 a	2.58 a	3.26 a	3.37 a	5.86 a	6.39 a	7.31 a	8.02 a	8.94 a	10.18 a
DF2	0.870 b	1.01 b	1.90 b	2.18 b	2.44 b	3.58 b	3.94 b	4.59 b	5.002 b	5.44 b	6.60 b
DMS α 0.05	0.115	0.136	0.334	0.403	0.6005	0.689	0.585	0.669	0.878	0.934	1.013
GRUPO 1	0.915 a	1.21 a	2.48 a	3.10 a	3.49 a	5.08 a	5.95 a	6.70 a	7.43 a	7.95 a	9.17 a
GRUPO 2	0.921 a	1.19 a	2.12 b	2.53 b	2.61 b	4.54 a	4.78 b	5.58 b	6.05 b	6.81 b	8.005 b
DMS α 0.05	0.122	0.144	0.354	0.428	0.636	0.731	0.621	0.71	0.931	0.991	1.075

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 esta variable; se encontraron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos. Entre los grupos de genotipos, se encontraron diferencias significativas, excepto en muestreo tres al sexto; entre la interacción DF*GRUPOS, no se registró significancia en casi todos los muestreos, con excepción del cuarto que sí hubo diferencia estadística. Los coeficientes de variación oscilaron entre 19.88 y 64.4, dependiendo del muestreo.

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

FV	GL	AREA FOLIAR CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	73101.6 **	144584.6 **	346550.7 **	593437.3 **	408421.5 **	324284.4 **	219871.5 **	129986.2 **	83344.4 **	32122.9 **	12949.4 **
REP*DF	4	106.2 ns	992.7 Ns	1526.8 Ns	636.2 Ns	718.1 Ns	33.06 ns	1844.4 ns	2150.7 ns	87.62 Ns	628.5 Ns	247.7 ns
GRUPOS	1	1841.5 ns	4017.0 Ns	27270.0 **	40867.7 **	52061.5 **	23006.1 **	2859.4 ns	1950.6 ns	30.52 Ns	2410.0 Ns	1877.9 ns
DF*GRUPOS	1	24.60 ns	31.05 Ns	2653.0 Ns	13037.1 *	12039.2 Ns	6444.1 ns	5151.9 ns	1362.5 ns	24.13 Ns	480.9 Ns	368.90 ns
ERROR	100	621.7	1137.9	1718.4	1930.7	3100.5	2035.4	1676.7	1553.4	721.3	813.5	619.6
TOTAL	107											
CV (%)		22.08	22.94	21.76	19.88	29.69	27.61	31.98	37.88	31.52	49.02	64.41
MEDIA		112.8	147.0	190.4	220.9	187.5	163.3	128.0	104.0	85.20	58.17	38.64

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

En el cuadro 9 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización para área foliar. Los tratamientos con fertilización nitrogenada registraron valores significativamente mayores en el área foliar en todos los muestreos, que los de sin fertilización registraron menor significancia; entre grupos se observó que en los primeros 6 muestreos se registró diferencia estadística, mientras que en el resto de los muestreos no registraron diferencias significativas, con los genotipos invernales registrando mayor área foliar que los tipos facultativos.

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

AREA FOLIAR											
PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	138.90 a	183.61 a	247.07 a	56.81 a	249.01 a	218.17 a	173.15 a	138.73 a	112.98 a	75.42 a	49.59 a
DF2	86.86 b	110.43 b	133.78 b	48.88 b	126.02 b	108.57 b	82.91 b	69.35 b	57.42 b	40.93 b	27.69 b
DMS α 0.05	9.52	12.88	15.82	2.049	21.261	17.22	15.63	15.049	10.255	10.891	9.504
GRUPO 1	118.72 a	155.64 a	212.90 a	193.47 b	156.46 b	142.73 b	120.75 a	98.03 a	84.45 a	64.85 a	44.54 a
GRUPO 2	109.96 b	142.71 a	179.19 b	234.74 a	203.04 a	173.69 a	131.67 a	107.05 a	85.58 a	54.83 a	35.69 a
DMS α 0.05	10.09	13.62	16.78	17.795	22.55	18.27	16.583	15.962	10.877	11.551	10.081

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

NDVI

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 10); se reportaron diferencias estadísticas entre dosis de fertilización en todos los muestreos. Entre los grupos de genotipos, no se registraron diferencias significativas en todos los muestreos, excepto en el tercero, decimo y onceavo muestreo; asimismo, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación variaron entre 8.51 y 23.26, 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	0.676 **	0.982 **	1.53 **	0.878 **	0.636 **	0.444 **	0.385 **	0.331 **	0.248 **	0.155 **	0.026 **
REP*DF	4	0.007 *	0.004 ns	0.002 Ns	0.002 Ns	0.002 Ns	0.002 ns	0.002 ns	0.0006 ns	0.0008 ns	0.001 ns	0.004 ns
GRUPOS	1	0.004 ns	0.00001 ns	0.033 **	0.005 Ns	0.006 Ns	0.002 ns	0.001 ns	0.0002 ns	0.001 ns	0.019 *	0.028 **
DF*GRUPOS	1	0.0001 ns	0.00002 ns	0.0007 Ns	0.002 Ns	0.006 Ns	0.003 ns	0.006 ns	0.005 ns	0.002 ns	0.0002 ns	0.006 ns
ERROR	100	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
TOTAL	107											
CV (%)		10.91	9.45	8.51	11.39	12.05	13.27	14.39	15.01	18.79	21.25	23.26
MEDIA		0.447	0.503	0.565	0.485	0.444	0.412	0.393	0.372	0.330	0.287	0.246

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

El cuadro 11 muestra 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. Observando entre los grupos de triticales, en el muestreo 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8 y 9 no se registró diferencia en la estimación de NDVI; sin embargo, en el muestreo 3, 10 y 11 registro diferencias estadísticas en comparación con los otros muestreos. Entre los grupos de genotipos se observó que no hubo diferencias significativas en los muestreos 1 al 9; en los muestreos 10 al 11, se registraron valores de NDVI significativamente mayores en el grupo de genotipos invernales.

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

NDVI PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.526 a	0.598 a	0.685 a	0.575 a	0.520 a	0.476 a	0.453 a	0.427 a	0.378 a	0.325 A	0.262 a
DF2	0.368 b	0.408 b	0.446 b	0.395 b	0.367 b	0.347 b	0.334 b	0.317 b	0.282 b	0.249 B	0.230 b
DMS α 0.05	0.018	0.018	0.018	0.021	0.020	0.02	0.021	0.021	0.023	0.023	0.021
GRUPO 1	0.456 a	0.503 a	0.590 a	0.495 a	0.455 a	0.418 a	0.399 a	0.374 a	0.325 a	0.268 B	0.223 b
GRUPO 2	0.442 a	0.503 a	0.553 b	0.480 a	0.438 a	0.408 a	0.391 a	0.371 a	0.333 a	0.296 A	0.258 a
DMS α 0.05	0.019	0.019	0.019	0.022	0.021	0.022	0.023	0.022	0.025	0.024	0.023

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 en el décimo y onceavo. Entre los grupos de genotipos se registraron diferencias significativas en todos los muestreos, excepto en el muestreo 2, 4, 6, 7, 8 y 11; no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación variaron entre 6.03 y 58.76, dependiendo del muestreo.

Cuadro 12. Resultados de los análisis de varianza para área verde (GA) por muestreo.

FV	GL	AREA VERDE (GA) CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.472 **	0.806 **	1.77 **	1.23 **	0.364 **	0.523 **	0.516 **	0.269 **	0.216 **	0.030 ns	0.002 ns
REP*DF	4	0.0006 Ns	0.0006 Ns	0.002 ns	0.005 ns	0.004 ns	0.002 ns	0.005 ns	0.001 ns	0.0009 ns	0.0007 ns	0.0002 ns
GRUPOS	1	0.008 *	0.001 Ns	0.030 **	0.014 ns	0.018 *	0.013 ns	0.002 ns	0.00006 ns	0.236 **	0.123 **	0.005 ns
DF*GRUPOS	1	0.002 Ns	0.00001 Ns	0.003 ns	0.002 ns	0.011 ns	0.005 ns	0.0003 ns	0.0004 ns	0.003 ns	0.0003 ns	0.001 ns
ERROR	100	0.002	0.001	0.002	0.003	0.004	0.004	0.012	0.013	0.014	0.017	0.005
TOTAL	107											
CV (%)		8.09	6.03	7.09	9.12	9.86	12.13	20.93	24.44	25.75	39.49	58.76
MEDIA		0.576	0.718	0.671	0.653	0.685	0.558	0.529	0.473	0.469	0.338	0.128

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, excepto en el décimo y onceavo; entre los grupos de genotipos se observa que hubo diferencia en el 2, 6, 7, 8 y excepto en los muestreos 11 1, 3, 4, 5, 9 y 10.

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

AREA VERDE (GA)											
PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.642 a	0.805 a	0.799 a	0.760 a	0.743 a	0.628 a	0.598 a	0.523 a	0.514 a	0.354 a	0.123 a
DF2	0.510 b	0.632 b	0.543 b	0.546 b	0.626 b	0.489 b	0.460 b	0.424 b	0.425 b	0.321 a	0.133 a
DMS α 0.05	0.017	0.016	0.018	0.022	0.025	0.025	0.042	0.044	0.046	0.051	0.028
GRUPO 1	0.589 a	0.724 a	0.695 a	0.669 a	0.703 a	0.574 a	0.536 a	0.472 a	0.403 b	0.290 b	0.118 a
GRUPO 2	0.569 b	0.715 a	0.659 b	0.645 b	0.675 b	0.550 a	0.525 a	0.474 a	0.503 a	0.361 a	0.133 a
DMS α 0.05	0.018	0.017	0.019	0.024	0.027	0.027	0.044	0.046	0.049	0.054	0.03

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

Área más 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 y onceavo. Entre los grupos de genotipos se registraron diferencias significativas en los muestreos, excepto en el segundo, quinto, sexto, séptimo, octavo y onceavo; asimismo, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación variaron entre 8.65 y 83.03, dependiendo del muestreo.

Cuadro 14. Resultados de los análisis de varianza para área más verde (GGA) por muestreo.

FV	GL	AREA MAS VERDE (GGA) CUADRADOS MEDIOS										
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF	1	0.392 **	1.21 **	2.44 **	1.43 **	0.546 **	0.589 **	0.615 **	0.213 **	0.078 **	0.006 Ns	0.002 ns
REP*DF	4	0.0007 ns	0.001 ns	0.002 ns	0.006 ns	0.005 Ns	0.001 ns	0.004 ns	0.0004 ns	0.0001 Ns	0.0008 Ns	0.00006 ns
GRUPOS	1	0.017 *	0.006 ns	0.055 **	0.026 *	0.020 Ns	0.004 ns	0.0006 ns	0.0009 ns	0.045 **	0.026 **	0.00009 ns
DF*GRUPOS	1	0.009 ns	0.00004 ns	0.006 ns	0.008 ns	0.020 Ns	0.002 ns	0.001 ns	0.0007 ns	0.0006 Ns	0.0001 Ns	0.0004 ns
ERROR	100	0.003	0.002	0.003	0.004	0.006	0.003	0.006	0.006	0.005	0.003	0.001
TOTAL	107											
CV (%)		13.58	8.65	10.92	13.65	17.67	17.17	21.17	29.45	34.54	48.00	83.03
MEDIA		0.416	0.542	0.536	0.508	0.444	0.350	0.367	0.263	0.212	0.127	0.050

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

El cuadro 15 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización para área mas verde (GGA). Los tratamientos con fertilización nitrogenada registraron en forma general valores significativamente mayores de área más verde que los tratamientos sin fertilización excepto en el muestreo 10 y 1. Entre los grupos de triticales, se observa que en el muestreo 2, 5, 6, 7, 8 y 11 no se registró diferencias significativas en la determinación de (GGA); sin embargo, en los muestreos 1, 3, 4, 9 y 10 mostraron diferencias donde tuvieron un mayor índice de área más verde (GGA).

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

AREA MAS VERDE (GGA)											
PRUEBAS DE COMPARACION DE MEDIAS											
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
DF1	0.476 a	0.648 a	0.687 a	0.623 a	0.515 a	0.424 a	0.442 a	0.307 a	0.239 a	0.135 a	0.045 a
DF2	0.356 b	0.436 b	0.386 b	0.393 b	0.373 b	0.276 b	0.291 b	0.218 b	0.185 b	0.119 a	0.055 a
DMS α 0.05	0.021	0.017	0.022	0.026	0.03	0.023	0.029	0.029	0.028	0.023	0.016
GRUPO 1	0.434 a	0.552 a	0.568 a	0.530 a	0.463 a	0.360 a	0.370 a	0.258 a	0.183 b	0.105 b	0.051 a
GRUPO 2	0.407 b	0.536 a	0.520 b	0.497 b	0.434 a	0.345 a	0.365 a	0.265 a	0.227 a	0.138 a	0.049 a
DMS α 0.05	0.022	0.019	0.023	0.028	0.031	0.024	0.031	0.031	0.029	0.024	0.017

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 16. 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	6.800 **	1.147 ns
Rep*Grupos	4	0.312 ns	0.631 ns
Error	48	0.714	0.310
Total	53		
CV (%)		27.8	27.4
Media		3.033	2.027

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

Cuadro 17. Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre dosis de fertilización (DF).

Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)	
DF1	3.033 a
DF2	2.027 b
DMS	

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

Cuadro 18. Resultados de la prueba de comparación de medias para rendimiento de grano entre grupos, por dosis de fertilización.

		Rendimiento de grano (t ha ⁻¹)
DF1	Grupo 1 (primaverales)	3.535 a
	Grupo 2 (intermedios-Invernales)	2.782 b
	DMS	0.490
DF2	Grupo 1 (primaverales)	2.233 a
	Grupo 2 (intermedios-Invernales)	1.924 a
	DMS	0.323

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, Area foliar, GA y GGA.

Cuadro 19. Correlaciones fenotípicas entre las variables estudiadas

Variable	Correlaciones fenotípicas							
	Altura	Etapa	Biotot	AF	NDVI	RendG	GA	GGA
Altura		0.95 *	0.92 *	-0.38 *	-0.55 *	0.15	-0.62 *	-0.68 *
Etapa	0.95 *		0.88 *	-0.46 *	-0.65 *	0.04	-0.69 *	-0.74 *
Biotot	0.92 *	0.88 *		-0.36 *	-0.50 *	0.36 *	-0.64 *	-0.66 *
AF	-0.38 *	-0.46 *	-0.36 *		0.90 *	0.47 *	0.84 *	0.87 *
NDVI	-0.55 *	-0.65 *	-0.50 *	0.90 *		0.49 *	0.91 *	0.95 *
RendG	0.15	0.04	0.36 *	0.47 *	0.49 *		0.30 *	0.34 *
GA	-0.62 *	-0.69 *	-0.64 *	0.84 *	0.91 *	0.30 *		0.96 *
GGA	-0.68 *	-0.74 *	-0.66 *	0.87 *	0.95 *	0.34 *	0.96 *	

(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 facultativos registraron mayor altura que los 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.

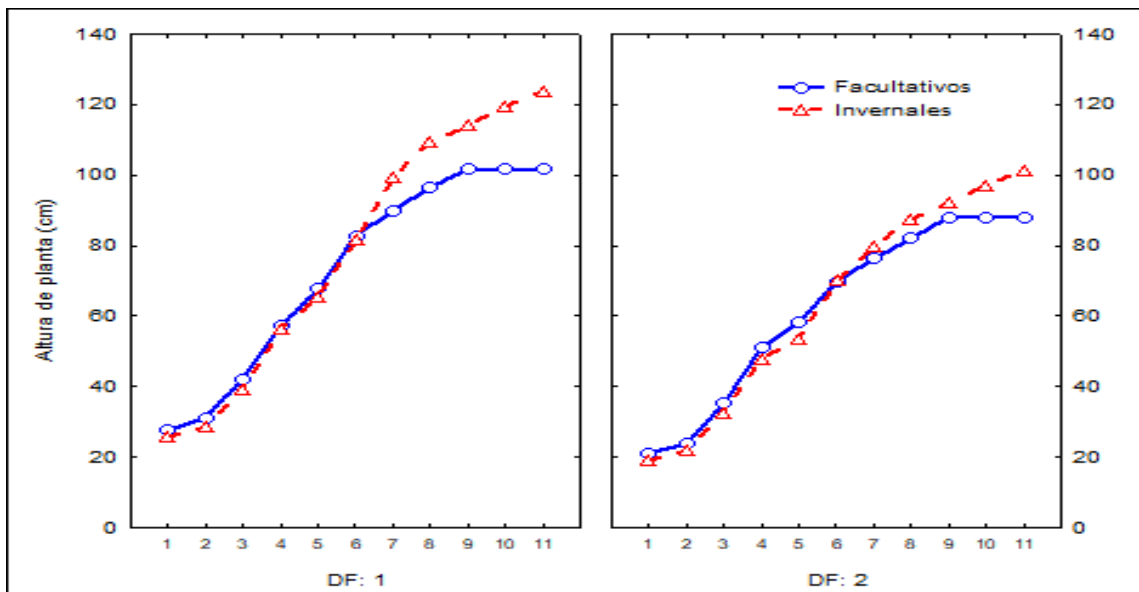


Figura 1. Patrón de acumulación de altura de planta de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

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 facultativos fueron más precoces que los 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 facultativos.

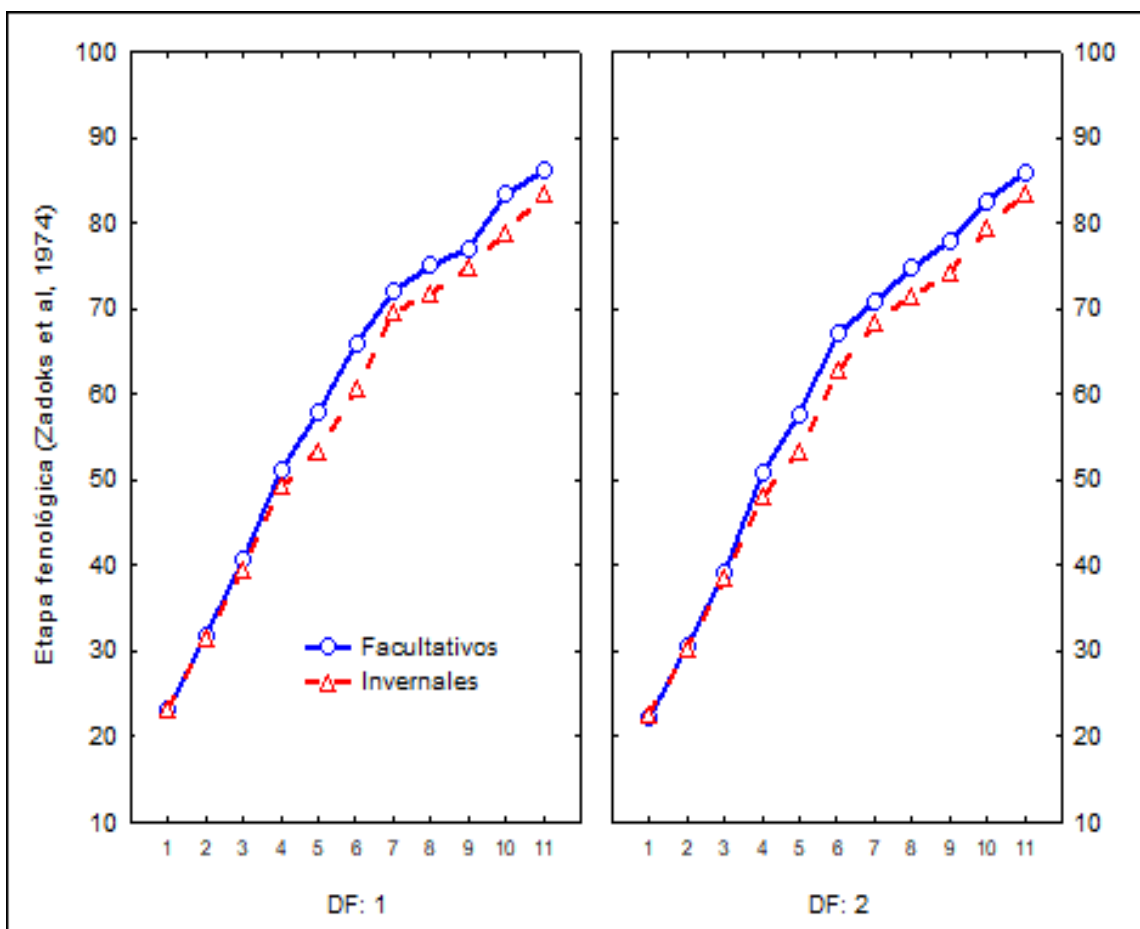


Figura 2. Patrón de acumulación de etapa fenológica de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

Biomasa 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 invernales.

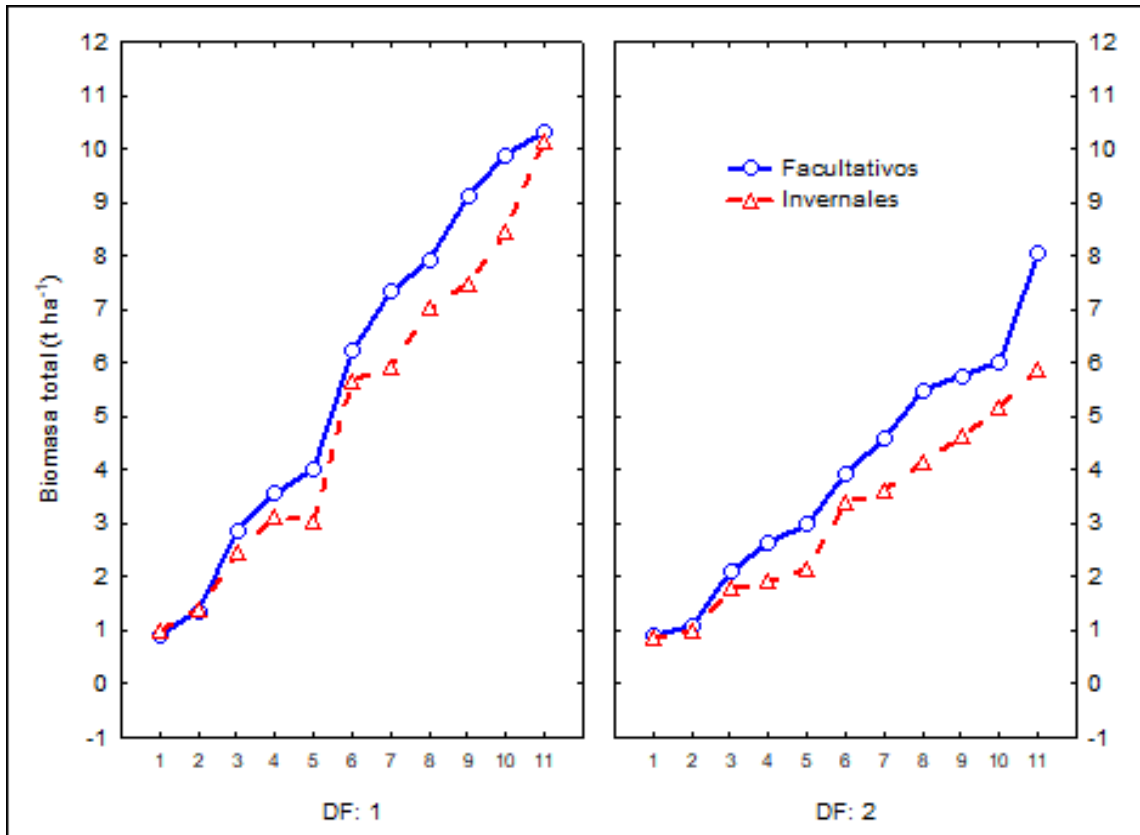


Figura 3. Patrón de acumulación de biomasa seca de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

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 invernal registraron significativamente una mayor área foliar que los tipos facultativos, debido a su constitución genética, que les confiere una mayor capacidad de ahijamiento y una mayor relación hoja-tallo (Lozano *et al.*, 2009; Royo *et al.*, 1995; Ye *et al.*, 2001).

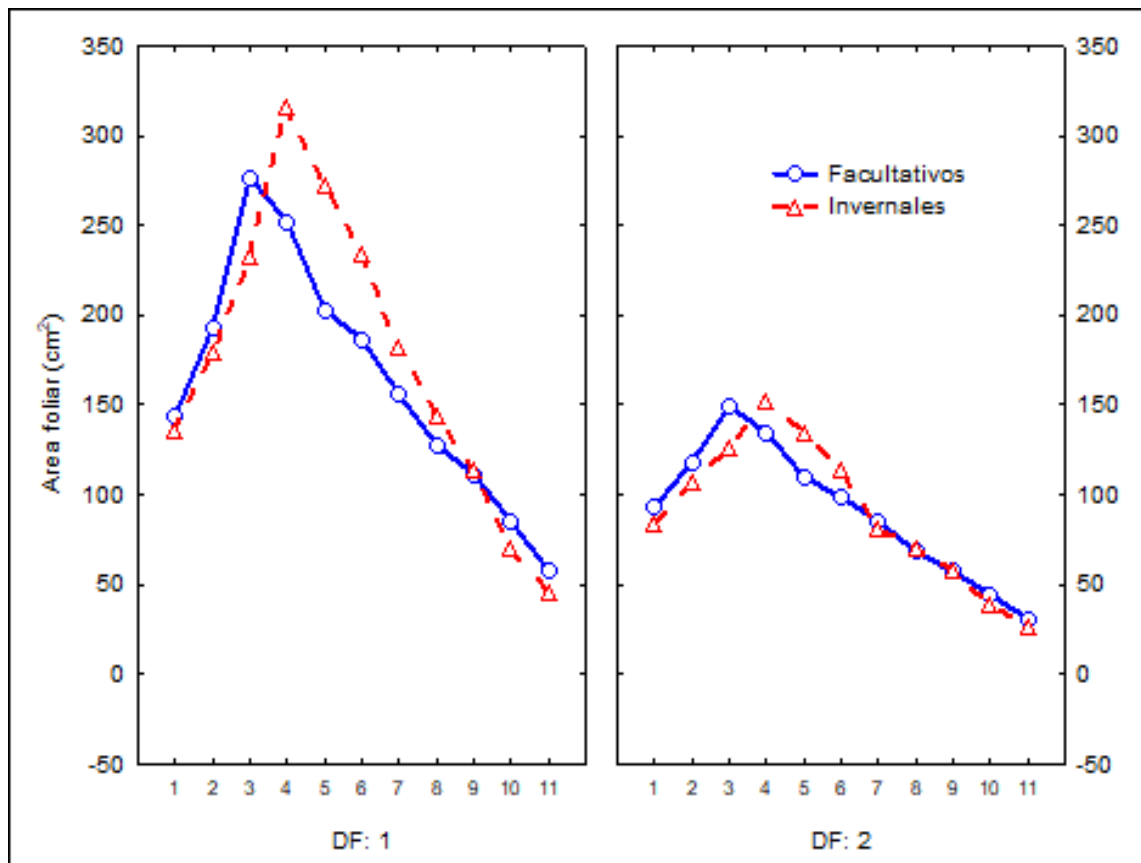


Figura 4. Patrón de acumulación de área foliar de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

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 cuarto o quinto muestreo; en la fase final de crecimiento (muestreos 5 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).

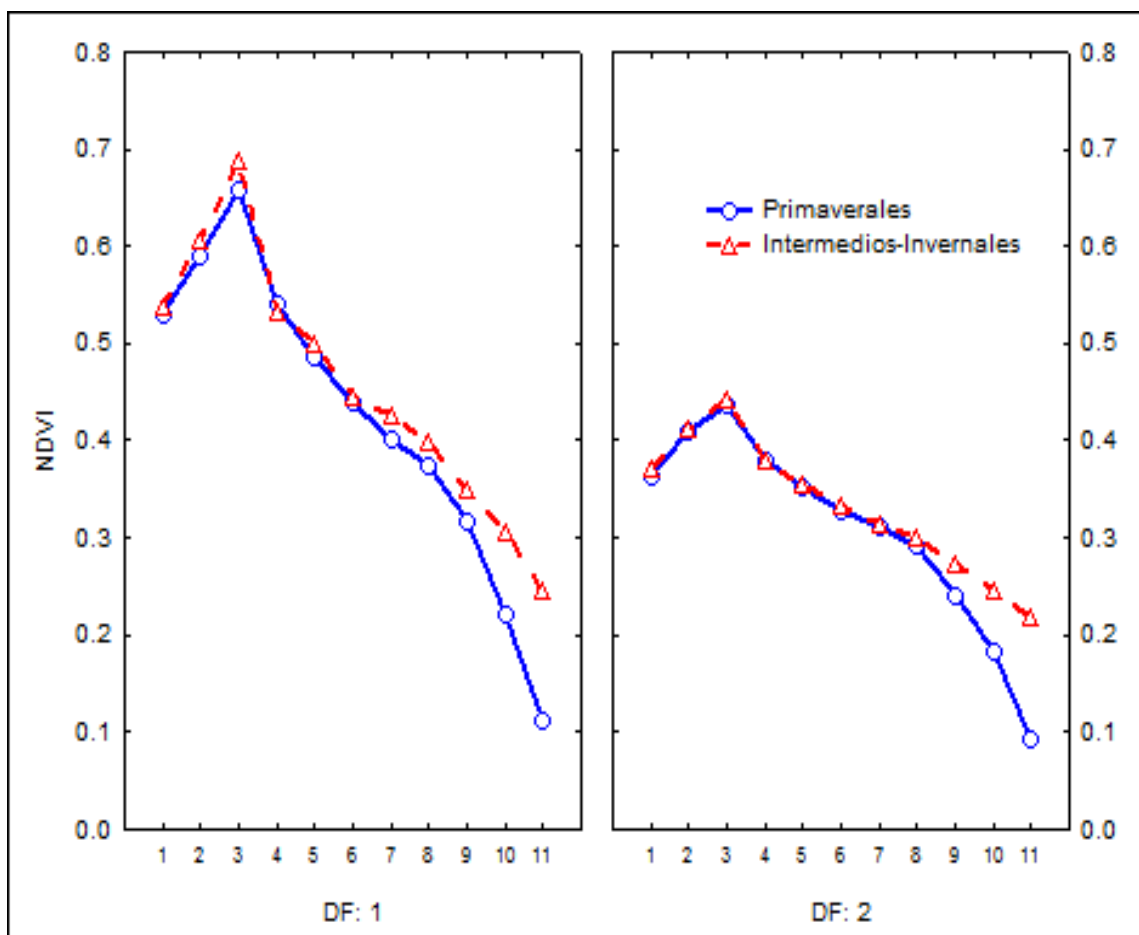


Figura 5. Patrón de acumulación de NDVI de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

Área 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 BreePix, 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 facultativos registraron en general valores ligeramente mayores de GA que los tipos invernales, pero sin diferencias estadísticas.

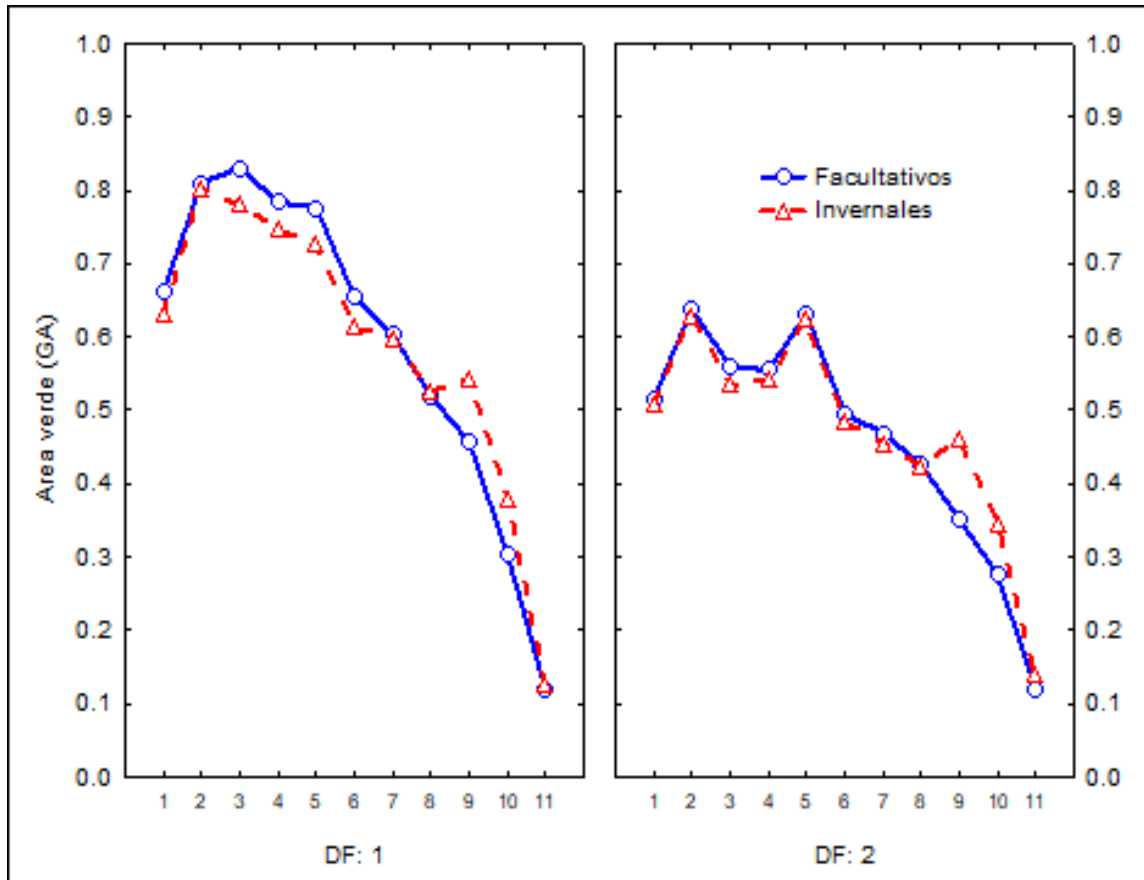


Figura 6. Patrón de acumulación de área verde (GA) de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

Área más 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 facultativos registraron en general valores ligeramente mayores de GGA que los tipos facultativos, pero sin diferencias estadísticas.

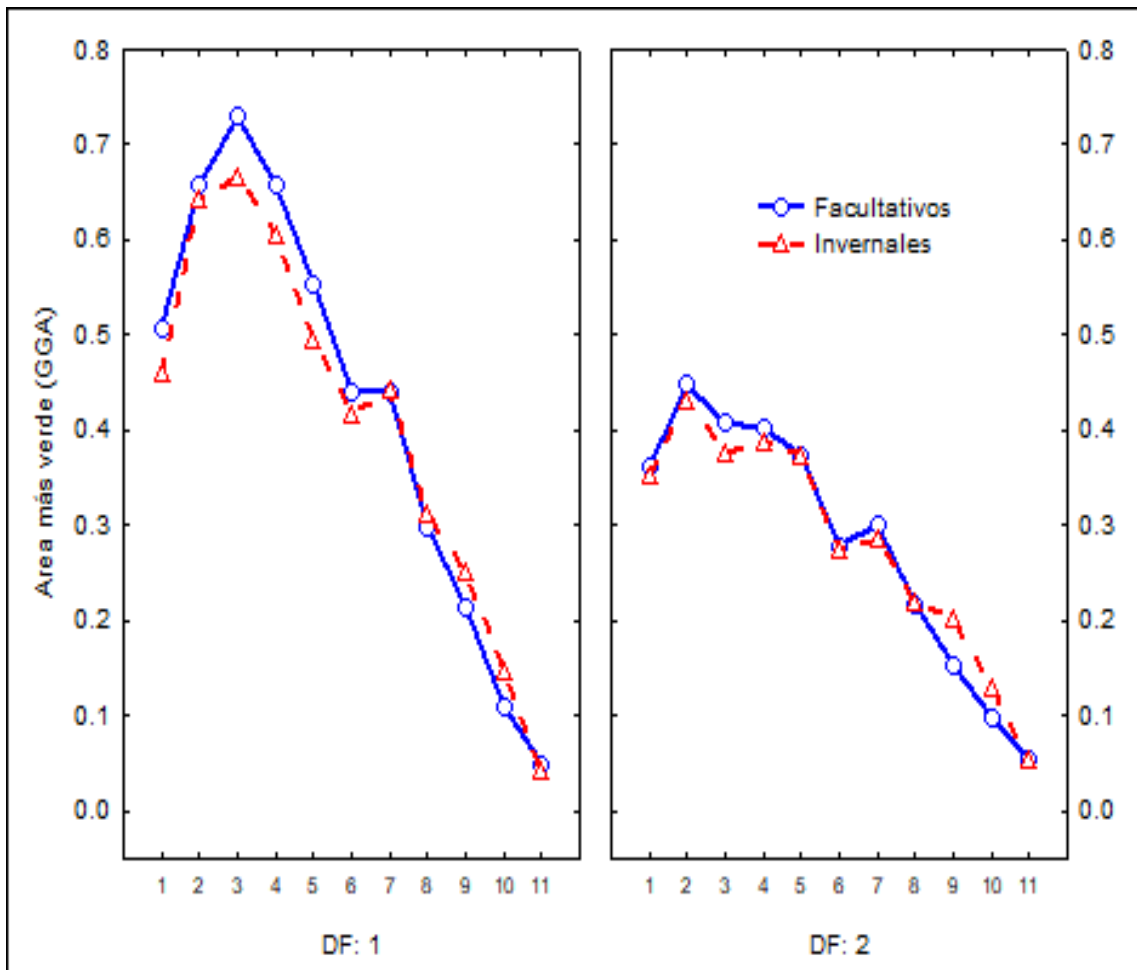


Figura 7. Patrón de acumulación de área más verde (GGA) de los dos tipos de triticales a través de los 11 muestreos. Navidad, N.L. 2015.

CONCLUSIONES

De acuerdo a 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 facultativo registraron mayores valores de biomasa seca total que los genotipos de hábito 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 triticale 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 facultativo e 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 facultativo registraron mayores valores de biomasa seca total que los genotipos de hábito 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.