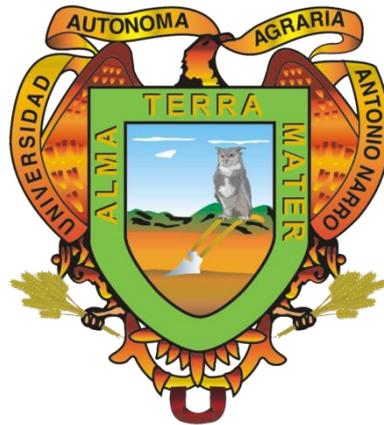


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Déficits de Humedad y Dosis de Fertilización: Efectos sobre la Producción de Biomasa y Rendimiento de Grano en Triticale de Diferentes Hábitos

Por:

FRANCISCO GERMÁN PÉREZ AVENDAÑO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Déficits de Humedad y Dosis de Fertilización: Efectos sobre la Producción de
Biomasa y Rendimiento de Grano en Triticale de Diferentes Hábitos

Por:

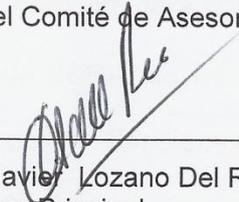
FRANCISCO GERMÁN PÉREZ AVENDAÑO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



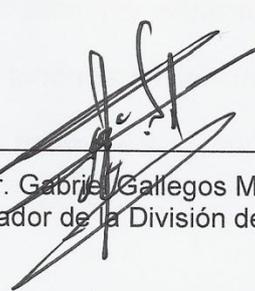
Dr. Alejandro Javier Lozano Del Río
Asesor Principal



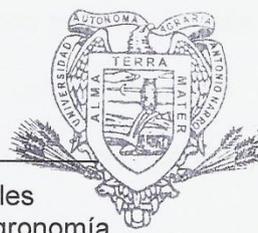
Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos
Coasesor



Ing. Raúl Gándara Huitrón
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre de 2016

DEDICATORA

A MIS PADRES

María Natividad Avendaño Solórzano y Germán Pérez Hernández

Quien son el motivo de mi vida y siempre me han guiado y enseñado el camino correcto en la vida, quienes me han servido de apoyo y me han todo lo necesario para tener una mejor vida con el fin de formarme una persona recta y de provecho. **Papá**, gracias por ser un ejemplo en la vida, porque me has demostrado que en la vida no todo es fácil, sin embargo las cosas se logran luchando día a día, admiro y respeto todo lo que ha sufrido, y por la forma en que has salido adelante. **Mamá**, gracias por tu amor y apoyo incondicional, por los desvelos que has tenido por mí, por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por ser una gran amiga y comprenderme siempre, por estar pendiente siempre en cada paso que he dado, por los grandes consejos que siempre me has dado, por confiar siempre en mí y ser un gran ejemplo en la vida, admiro tu esfuerzo y grandeza de tus palabras tan sabias.

Gracias a ustedes he logrado una meta en mi vida, porque sin sus esfuerzos no hubiera sido posible, este trabajo es el resultado del esfuerzo y dedicación que han puesto para que culminara con esta etapa más de mi vida, gracias por cuidarme, tenerme paciencia y confiar siempre en mí, gracias por ser los mejores padres del mundo. Con mucho cariño y amor para ustedes.

A MIS HERMANOS

Quienes siempre han sido mis mejores amigos, y a pesar de los malos momentos siempre hemos estado unidos, quienes son una pieza impórtate en mi vida.

Ana Gabriela y Enrique Jordán, gracias por ser la mejor compañía desde mi infancia, por estar conmigo en los buenos y malos momentos, por el gran cariño, confianza y por el gran apoyo incondicional que me han brindado.

A MIS ABUELITOS

Quienes siempre que han dado su cariño y confiaron en mí, quienes sus consejos siempre me ayudaron, quienes siempre me orientaron en la vida.

A TODOS MIS TÍOS

Por el apoyo emocional que siempre me han dado en esta etapa de mi vida, principalmente, a José Bernabé Pérez Hdez, Alejandro Pérez Hdez y Antonio Pérez Hdez, porque además de inculcarme el deseo de superación y el anhelo de triunfo en mi vida, me apoyaron económicamente. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos.

A TODOS MIS PRIMOS

Por su apoyo que siempre me han apoyado cuando los he necesitado, por brindarme su cariño y confianza.

A TODOS MIS AMIGOS

Que siempre estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, quienes me regalaron de su tiempo y darme buenos consejos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A la **UAAAN**, mi “**Alma Terra Mater**” por haberme brindado la oportunidad de formar parte de ella, abriéndome las puertas para poder cumplir mis objetivos, Gracias porque en sus aulas recibí las mejores enseñanzas para formarme profesionalmente.

Al **Dr. Alejandro Javier Lozano del Río**, Por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo de investigación, por todas sus enseñanzas, por su amistad, paciencia y tiempo dedicados para que este trabajo fuera un éxito.

Al **Ing. Raúl Gándara Huitrón** por su gran amistad y confianza durante mis estudios, y su colaboración en este trabajo. Muchas gracias.

Al **Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos** por formar parte de mi formación profesional y por su participación en este trabajo de investigación.

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

A los **Trabajadores** del Programa de Cereales que con su trabajo fue posible el trabajo.

A **MIS COMPAÑEROS DE TESIS** por ser parte del equipo del trabajo, del cual juntos fuimos progresando apoyándonos unos a los otros.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de contenido.....	iv
Índice de cuadros.....	v
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
1. Introducción	1
2. Objetivos generales.....	2
Objetivos específicos.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura.....	4
Generalidades.....	4
Tipos de triticale.....	6
Llenado de grao de los cereales.....	7
Efecto del déficit de humedad sobre los cultivos.....	8
Uso eficiente del agua	8
Efecto del déficit de humedad a nivel planta y nivel cultivo.....	10
Efectos visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad.....	11
Efectos no visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad...	12
Efectos de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos.....	13
NDVI.....	15
Acumulación de biomasa.....	17
5. Materiales y métodos.....	19
Localización del sitio experimental.....	19
Desarrollo del experimento.....	19
Material genético utilizado.....	19

Preparación del terreno.....	20
Fecha de siembra.....	21
Tamaño de parcela experimental.....	21
Fertilización.....	21
Riegos.....	21
Control de plagas, enfermedades y malezas.....	22
Diseño experimental utilizado en campo.....	22
Variable registrada.....	22
Análisis estadísticos.....	22
Modelo estadístico de los análisis de varianza individuales por experimento para la variable en estudio.....	23
Modelo estadístico del análisis de varianza combinados entre experimentos para la variable en estudio.....	23
6. Resultados.....	25
7. Discusión.....	40
8. Conclusiones.....	52
9. Literatura citada.....	53

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadr o No.		Pág.
1	Lista de genotipos utilizados en Navidad, N. L.....	20
2	Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 1.....	25
3	Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 2.....	26

4	Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 3.....	27
5	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 1...	29
6	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 2...	30
7	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 3...	31
8	Resultados de los análisis de varianza entre Experimentos de las variables estudiadas en la dosis de fertilización 1.....	32
9	Resultados de los análisis de varianza entre Experimentos de las variables estudiadas en la dosis de fertilización 2.....	33
10	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre experimentos y grupos de genotipos en la dosis de fertilización 1.	34
11	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre experimentos y grupos de genotipos en la dosis de fertilización 2.	36
12	Resultados de los análisis de varianza combinados de las variables.....	37
13	Resultados de las pruebas de comparación de medias de los análisis combinados.....	38
14	Correlaciones globales de todas las variables evaluadas.....	39

INDICE DE FIGURAS

Figuras		Pág.
1	Diferencia en el contenido de humedad del suelo.....	40
2	Área foliar de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	41
3	NDVI de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	42
4	Biomasa total de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	43
5	Rendimiento de grano de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	44
6	Área foliar de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	45
7	NDVI de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	46
8	Biomasa total de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización.....	47
9	Rendimiento de grano de los diferentes experimentos en cada una de las dosis de fertilización.....	47
10	Área foliar de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos.....	48
11	NDVI de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos.....	49
12	Biomasa total de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos.....	50
13	Rendimiento de grano de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos.....	51

RESUMEN

Palabras claves: triticale, biomasa, patrones de producción, regímenes de humedad, dosis de fertilización.

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 puede hacer más eficientes los diferentes sistemas de producción. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de fertilización nitrogenada, en las características de área foliar, NDVI, biomasa total y rendimiento de grano e identificar el comportamiento en los diferentes hábitos de crecimiento, con déficit de humedad en diferentes etapas de crecimiento y bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada en todas las variables evaluadas. La investigación se realizó en el Campo Agrícola Experimental de la UAAAN en Navidad, N.L. Se sembraron en el ciclo otoño-invierno 2014-2015 tres juegos del experimento, con el objetivo de someter uno a condiciones de riego normal, el segundo a condiciones de riego restringido durante la etapa vegetativa y el tercero sin riego a partir de la floración. Fueron utilizados 4 líneas de triticale primaveral, 2 facultativos, 2 intermedios-invernales y 4 invernales. El diseño experimental fue bloques completos al azar. Los resultados de este estudio mostraron una gran variación en el rendimiento de grano, la producción de biomasa y sus

componentes fisiológicos entre cultivares de triticale cuando se cultivaron bajo regímenes de riego contrastantes. El déficit hídrico afectó significativamente la producción de biomasa y el rendimiento de grano en triticale. De manera general la aplicación de fertilización registró un mayor rendimiento en todas las variables estudiadas, bajo condiciones de estrés hídrico en comparación con los no fertilizados. Los genotipos de hábito primaveral registraron un mayor rendimiento de grano bajo condiciones de estrés de humedad en comparación con el resto de los grupos, debido posiblemente a que escaparon de los efectos de la sequía terminal. El rendimiento de grano en los hábitos primaverales fue el más eficiente con castigo de riego en etapa vegetativa. La combinación de fertilización y riego normal proporciona un mayor rendimiento de grano y de biomasa total.

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.

Para el 2020 y 2050 en México, se señala una disminución en la precipitación del 10% al 20% y aumentos en la temperatura de 1°C y 4°C. Estas alteraciones en el clima y la regulación hídrica conllevarían a un decremento de la aptitud para la producción agrícola (Monterroso *et al.*, 2009). Entre las estrategias a corto y a largo plazo para conservar el recurso hídrico, está la utilización de cultivos que maximicen su producción con bajos niveles de humedad (Magaña *et al.*, 2004).

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).

OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar el efecto de fertilización nitrogenada, en las variables área foliar, NDVI, biomasa total y rendimiento de grano.
- Identificar el comportamiento en los diferentes hábitos de crecimiento, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada en todas las variables evaluadas.

➤ Determinar el efecto del déficit de humedad en diferentes etapas de crecimiento con los distintos hábitos de crecimiento en las dos diferentes dosis de fertilización para las variables estudiadas

Objetivos Específicos

a) Conocer el efecto del régimen de humedad en los diferentes hábitos de crecimiento de triticale con las dosis de fertilización en cada una de las variables evaluadas.

b) Conocer el efecto de la ausencia de la fertilización nitrogenada en los diferentes hábitos de crecimiento de triticale y régimen de humedad en cada una de las variables evaluadas.

HIPÓTESIS

a) No existe diferencia entre los regímenes de humedad para las variables estudiadas.

b) No existe diferencia entre las dosis de fertilización para las variables estudiadas

c) No existe diferencia entre dosis de fertilización para los diferentes hábitos de crecimiento en las variables estudiadas.

d) No existe diferencia para las variables evaluadas entre los diferentes hábitos de crecimiento en los regímenes de humedad estudiados.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades

El triticale (*X Triticosecale* Wittmack.) es considerado como un cereal relativamente nuevo, resultado de la cruce del trigo (*Triticum sp.*) con centeno (*Secale sp.*); 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, 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).

El triticale 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).

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).

Debido a las condiciones climáticas tan diversas en el Norte de México, que varían desde bajas temperaturas en el invierno hasta heladas ocasionales en la primavera, así como el déficit en la disponibilidad de agua para la agricultura, han llevado a los productores a elegir variedades de rápido crecimiento, que toman la mejor ventaja de la baja tasa de transpiración durante el invierno donde la radiación y evaporación son bajas (Santiveri *et al.*, 2004). Los forrajes invernales tienen la ventaja de crecer durante el periodo de baja demanda de evaporación, lo que permite un ajuste gradual al déficit de agua y así mantener el uso eficiente de la misma. Algunos autores sugieren que el déficit de irrigación puede ser una estrategia útil en forrajes anuales de estación fría para maximizar el uso eficiente del agua cuando este recurso es limitado, pero el resultado dependerá de las especies forrajeras, patrones de lluvia y la humedad del suelo (Neal *et al.*, 2010).

Tipos de triticale

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 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. Los tipos, 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). Los tipos invernales, de ciclo tardío, son excelentes en la producción de forraje para cortes o pastoreos múltiples (3 ó 4). 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.

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).

Llenado de grano en los cereales

Llenado del grano es la etapa final del crecimiento de cereales donde los ovarios fecundados se desarrollan en cariopsis ó grano. Su duración y velocidad determinan el peso final del grano, un componente clave de la producción total (Venkateswarlu y Visperas, 1987; Saini y Westgate, 2000; Zahedi y Jenner, 2003).

Las plantas monocárpicas requieren el inicio de la senescencia de plantas completas para removilizar y transferir asimilados previamente almacenados en los tejidos vegetativos a los granos. Por lo general, el estrés hídrico durante el período de llenado de granos induce senescencia precoz, reduce la fotosíntesis, acorta el período de llenado del grano y reduce el potencial del llenado de grano mediante la reducción del número de células de endospermo y amiloplastos formados (Nicolás et al., 1985).

Generalmente se cree que el proceso de llenado del grano es regulado genéticamente además del medio ambiente (Yoshida, 1972). Las perturbaciones ambientales también tienen una gran influencia en el llenado de grano; la naturaleza sedentaria de las plantas las expone constantemente a las variaciones en las condiciones ambientales (Saini y Westgate, 2000). Recientemente se ha propuesto que el llenado del grano está estrechamente

ligado al proceso de senescencia de la planta (Zhang et al., 1998; Yang et al., 2000b; Mi et al., 2002).

Efecto del déficit de humedad sobre los cultivos

El mayor factor que limita el crecimiento y la producción de los cultivos a nivel mundial es la disponibilidad de agua (Araus *et al.*, 2002). En la mayoría de las empresas agrícolas, las deficiencias de humedad durante cualquier etapa del desarrollo de las plantas disminuyen su rendimiento. Se ha demostrado que los incrementos en el potencial genético de los cultivos se expresan mejor en ambientes óptimos, sin embargo, también están asociados con un mejor comportamiento productivo bajo déficits de humedad o sequía (Trethowan *et al.*, 2002; Araus *et al.*, 2002).

Es necesario mejorar la eficiencia en el uso del agua en la producción de cultivos, tanto bajo condiciones de riego como de temporal (Hamdy *et al.*, 2003). Se requerirán distintas estrategias para mejorar la productividad en el uso del agua bajo las mencionadas condiciones; entre ellas, está el desarrollo de nuevas variedades que sean más eficientes en el uso de este insumo, así como otras estrategias, que incluyan un mejor manejo del recurso hídrico y también cambios en el manejo de los cultivos, tomando en cuenta que ninguna de ellas debe de implementarse en forma aislada (Wang *et al.*, 2002).

Uso eficiente del agua

La escasez de agua se ha convertido en el principal factor limitante para la producción de forraje, los agricultores están obligados a producir más forraje

con menos agua para mantener la rentabilidad de sus explotaciones en la búsqueda de mejorar la eficiencia del uso del agua y a la vez satisfacer las demandas del ganado (Neal *et al.*, 2010; Rodrigo *et al.*, 2010).

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

El déficit de riego es definido como la aplicación de agua a un nivel por debajo de las necesidades totales del cultivo. Se ha utilizado con éxito en cultivos hortícolas y anuales en las regiones secas. Sin embargo, no ha sido ampliamente evaluado para la producción de forraje en la industria láctea (Neal *et al.*, 2010).

Una característica que se busca en los forrajes es el uso eficiente del agua definido genéricamente como la relación de un nivel dado de un producto físico a un nivel dado de agua consumida (Purcell y Currey, 2003). A nivel de granja lechera, el índice de eficiencia del uso del agua está basado en el rendimiento de forraje por unidad de irrigación de agua, y es comúnmente usada como un punto de referencia para cuantificar el rendimiento del agua. Sin embargo, la comparación de las diferencias fisiológicas intrínsecas en la eficiencia del uso

del agua entre las especies forrajeras está mejor explicada por el rendimiento de biomasa por unidad de evapotranspiración del cultivo (Neal *et al.*, 2010).

Efecto del déficit de humedad a nivel planta y nivel cultivo

A nivel planta individual y cultivo, las repercusiones más importantes de la deficiencia de humedad se reflejan en los procesos fenológicos, desarrollo físico, crecimiento, asimilación de carbono, partición de asimilados y reproducción. Estos efectos mayores son determinantes en las variaciones del rendimiento de los cultivos causadas por el estrés de sequía. El crecimiento depende de la división y expansión celular. De estos, la expansión celular es probablemente la más sensible a los déficits de humedad, ya que depende del mantenimiento de la turgencia de las células, así como de la extensibilidad de la pared celular y otros factores. Esta menor expansión celular como respuesta al déficit de agua sirve para disminuir el uso del agua por la planta, pero al mismo tiempo lleva a una menor productividad de la misma. Si la reducción en el uso del agua por la planta no es suficiente para mantener la turgencia, disminuye además la transpiración debido al cierre de las estomas. Inicialmente, el cierre reduce la transpiración, más que la asimilación de CO₂, pero al avanzar el estrés ambos se reducen drásticamente. El marchitamiento es una expresión de la pérdida de turgencia, la cual se manifiesta de forma diferente de acuerdo a la especie de planta, como por ejemplo, el enrollamiento de las hojas en cereales.

Efecto de la sequía en etapa de crecimiento vegetativo en la formación del rendimiento de grano y algunas características fisiológicas.

Las plantas en condiciones naturales y agrícolas están expuestas a estrés constante. La sequía limita el crecimiento de las plantas y cultivos de campo producción más que cualquier otro estrés ambiental (Zhu 2002).

Se considera que la sequía y el estrés por calor son los dos principales factores ambientales que limitan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos (Wang et al. 2003; Prasad et al. 2008). Estos dos factores de estrés inducen muchos cambios bioquímicos, moleculares y fisiológicos y respuestas que influyen en diversos procesos celulares y toda la planta que afectan la calidad y rendimiento del cultivo.

Algunos estudios han reportado que la sequía agrava enormemente los efectos del estrés por calor en el crecimiento de las plantas y fotosíntesis (Xu y Zhou 2005; 2006).

Mirzaei et al. (2011), reportó que el estrés por sequía en todas las etapas de crecimiento, induce la reducción del rendimiento de grano y los componentes del rendimiento. El estrés por sequía en las fases de alargamiento del tallo, floración y llenado del grano indujo 32%, 32% y 35% de reducción en el rendimiento de grano, respectivamente.

Efectos visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad

Algunos efectos visibles de la exposición a la sequía en la fase vegetativa de los cereales, la cual es muy sensible a los déficits de agua, es la pérdida de

turgencia, ya que esta detiene el crecimiento o alargamiento de las células, y por lo tanto disminuye el crecimiento total de la planta, induce una disminución de la altura y un menor número y área de hojas, y por lo tanto del peso de las mismas (Hsiao y Acevedo, 1974; Grzesiak *et al.*, 2007; Boyer, 1982). Dos respuestas comunes de las plantas a los déficits de humedad son la reducción del crecimiento foliar y una senescencia foliar acelerada, ya que la expansión de las hojas depende principalmente de la expansión de las células, la cual a su vez depende del proceso de turgencia, y cualquier incremento en el déficit de humedad puede limitar el incremento en el área foliar (Musick y Dusek, 1980). Los genotipos con una mayor tasa de expansión foliar tienen una mayor probabilidad de sobrevivir bajo condiciones de sequía. En el caso de cereales, la capacidad de amacollamiento se considera un factor importante de la plasticidad de la planta en respuesta a los cambios ambientales (Keim y Kronstad, 1981; Cabeza *et al.*, 1993).

Efectos no visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad

Algunos de los efectos no visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad son los daños a las membranas citoplásmicas, disturbios en el estado hídrico de los diferentes órganos y una disminución en el contenido de clorofila (Blum y Ebercon, 1981; Trapani y Gentinetta, 1984). Los cambios en el estado hídrico de los tejidos de la planta ocurren pocas horas después de comenzar el déficit de humedad; sin embargo, la pérdida de permeabilidad en las membranas celulares y la disminución en el contenido de clorofila se presentan posteriormente, pero con frecuencia, estos cambios son irreversibles,

especialmente bajo una severa y prolongada exposición a la sequía. Estos cambios dependen de la especie de planta, nivel y duración del déficit de humedad, etapa de crecimiento y edad de la planta (Conroy *et al.*, 1988; Grzesiak *et al.*, 2003).

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos

Una de las técnicas de manejo de cultivos más importantes para la producción de triticales primaverales 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).

La fecha de siembra es uno de los factores más importantes que afectan a la producción de cereales y su calidad (McLeod *et al.*, 1992). En una región determinada, la óptima fecha de siembra depende principalmente de la sincronización de la precipitación (Jackson *et al.*, 2000). En la mayoría de los casos, retrasar la siembra más allá del período óptimo reduce los rendimientos (Anderson y Smith, 1990; Bassu *et al.*, 2009).

Afecta al rendimiento final de grano a través de la influencia en la formación de componentes de rendimiento durante todo el ciclo de crecimiento. El objetivo del estudio fue determinar el efecto de las tasas de N y los regímenes de aplicación sobre el rendimiento, los componentes del rendimiento y determinar el régimen óptimo de fertilización nitrogenada en triticales de primavera. La

fertilización aumentó el rendimiento de grano en un 35,7%, en comparación con el tratamiento control no fertilizado. Giunta y Motzo (2005) mostraron que el mejor rendimiento del triticale se asoció con un mayor número de espigas m² y granos espiga. El rendimiento de grano y los componentes de rendimiento como las espigas por m² y los granos por espiga revelaron diferencias negativas significativas bajo condiciones de humedad deficientes, comparado con un régimen de humedad normal, pero el peso del grano no fue estadísticamente diferente bajo diferentes condiciones de humedad (Villegas et al. 2010). En general, la fertilización con nitrógeno (N) produjo un 35,7% de aumento en el rendimiento de grano, en comparación con el triticale no fertilizado.

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 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 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) y se han realizado muchos esfuerzos para desarrollar índices adicionales que puedan reducir el impacto del fondo y la atmósfera del suelo sobre los resultados de mediciones espectrales

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.

Se sembraron tres juegos del experimento, con el objetivo de someter el primero de los experimentos bajo condiciones de riego normal (50 cm de lámina total); el segundo eliminando el riego en etapa vegetativa (final de amacollamiento, 40 cm de lámina total) y el tercero eliminando el riego a partir de la floración (40 cm de lámina total).

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 triticales con hábito de crecimiento primaveral, 2 del tipo facultativo, 2 del tipo intermedio- invernal y 4 de hábito invernal, que fueron proporcionados por el Proyecto Triticales del Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 1. Sorteo de genotipos utilizados en el Experimento Triticale. 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

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 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.

Tamaño de parcela experimental

Cada unidad experimental estuvo conformada por 10 surcos de 5 m de largo por 30 cm entre hileras (15.0 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 cinco surcos restantes no se les aplicó fertilizante.

Riegos

A los tres juegos del experimento se les aplicó el riego inmediatamente después de la siembra con un sistema de aspersion; posteriormente, en el caso del experimento con riego normal, se aplicaron 4 riegos adicionales en las etapas de amacollamiento, encañe, floración y llenado de grano, dando un total de 50 cm de lámina; al segundo juego se eliminó el riego en etapa vegetativa (final de amacollamiento, 40 cm de lámina total) y el tercero eliminando el riego a partir de la floración (40 cm de lámina total).

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.

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

➤ Se evaluaron las variables área foliar, NDVI, biomasa total y rendimiento de grano entre los diferentes experimentos (3), dosis de fertilización y hábitos de crecimiento.

Análisis estadísticos

Se efectuaron análisis de varianza para cada variable. En cada variable, los datos fueron analizados agrupando los experimentos (3) dentro de cada dosis de fertilización (2) y hábitos de crecimiento (4); y dosis de fertilización con hábitos de crecimiento.

Modelo estadístico de los análisis de varianza individuales por experimento para la variable en estudio.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + DF_j + G_k + V_l(G_k) + DF_j G_k + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada.

μ = Efecto de la media general.

R_i = Efecto de la i -ésima repetición

DF_j = Efecto de la j -ésima dosis de fertilización.

G_k = Efecto del k -ésimo grupo.

$V_l(G_k)$ = Efecto de las variedades dentro de los grupos.

$DF_j G_k$ = Efecto de la interacción del k -ésimo grupo en el j -ésima dosis de fertilización.

E_{ijk} = Error experimental.

Modelo estadístico del análisis de varianza combinado entre experimentos para la variable en estudio.

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + R_i(E_j) + DF_k + G_l + V_m(G_l) + DF_k G_l + E_j DF_k + E_j G_l + E_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada.

μ = Efecto de la media general.

R_i = Efecto de la i -ésima repetición

$R_i(E_j)$ = Efecto de la *i-ésima* repetición dentro del *l-ésima* experimentos.

DF_k = Efecto de la *j-ésima* dosis de fertilización.

G_l = Efecto del *k-ésima* grupo.

$V_m(G_l)$ = Efecto de las variedades dentro de los grupos.

$DF_k G_l$ = Efecto de la interacción del *k-ésima* grupo en el *j-ésima* dosis de fertilización.

$E_j DF_k$ = Efecto de la interacción de la *j-ésima* dosis de fertilización en el *l-ésima* experimentos

$E_l G_l$ = Efecto de la interacción de la *k-ésima* grupo en el *l-ésima* experimentos

E_{ijk} = Error experimental.

RESULTADOS

En el cuadro 2. Se presenta los resultados de los ANVA para cada una de las variables estudiadas lo cual se evaluó en cada experimento. Con respecto al experimento 1 se registraron diferencias altamente significativas entre dosis de fertilización (DF) en todas las variables estudiadas. Con respecto a los grupos, todas las variables presentaron diferencias altamente significativas, excepto en biomasa total (BIOTOT), donde no se registraron diferencias significativas, entre los grupos de triticales. La interacción dosis de fertilización por grupo fue altamente significativa en rendimiento de grano (RENDGRANO), significativa para área foliar (AF) y NDVI y no significativa para biomasa total (BIOTOT)

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
EXPERIMENTO 1					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
REP	2	41.315 ns	0.006 **	0.674 ns	0.121 ns
DF	1	12253.951	0.042 **	277.293 **	25.045 **
GRUPO	3	1813.653 **	0.010 **	6.964 ns	4.448 **
VAR(GRUPO)	8	975.282 **	0.003 **	4.249 ns	1.147 **
DF*GRUPO	3	587.627 *	0.002 *	5.555 ns	0.435 **
ERROR	54	169.890	0.0009	4.218	0.095
TOTAL	71				
X _G		33.63	0.245	8.507	2.504
CV (%)		38.7	12.476	24.141	12.365

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

Cuadro 2. Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 1. Navidad, N.L. 2015.

Con respecto al experimento 2 (Cuadro 3), los análisis de varianza demostraron que para la fuente de variación dosis de fertilización (DF) se registraron diferencias altamente significativas entre en todas las variables estudiadas, Con respecto a los grupos, todas las variables presentaron diferencias altamente significativas, excepto en biomasa total (BIOTOT), donde no se registraron diferencias significativas. En la interacción dosis de fertilización*grupo se encontró diferencia altamente significativa para área foliar (AF) y rendimiento de grano (RENDGRANO); significativa para NDVI, por lo contrario no se encontró diferencia estadísticamente significativa en biomasa total (BIOTOT).

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
EXPERIMENTO 2					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
REP	2	87.663 ns	0.019 **	7.427 ns	0.507 *
DF	1	4766.133 **	0.023 **	368.104 **	8.725 **
GRUPO	3	758.449 **	0.009 **	12.407 ns	2.708 **
VAR(GRUPO)	8	337.671 **	0.002 **	6.732 ns	1.355 **
DF*GRUPO	3	168.750 **	0.002 *	15.390 ns	2.451 **
ERROR	54	40.810	0.0007	7.843	0.152
TOTAL	71				
X _G		21.900	0.216	9.390	2.815
CV (%)		29.170	12.439	29.825	13.864

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

Cuadro 3. Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 2. Navidad, N.L. 2015.

Con respecto al experimento 3 los análisis de varianza demostraron que para la fuente de variación dosis de fertilización (DF) se registraron diferencias altamente significativas entre en todas las variables estudiadas, excepto en área

foliar (AF), donde no se encontraron diferencias significativas entre las dosis de fertilización (DF). Con respecto a los grupos, las variables área foliar (AF) y rendimiento de grano (RENDGRANO) presentaron diferencias altamente significativas, NDVI es significativo, y biomasa total (BIOTOT), donde no se encontró diferencias significativas. En la interacción dosis de fertilización*grupo se encontró diferencia altamente significativa para área foliar (AF) y rendimiento de grano (RENDGRANO); significativa para biomasa total (BIOTOT), por lo contrario no se encontró diferencias estadísticas en NDVI. (Cuadro 4)

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
EXPERIMENTO 3					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
REP	2	12.590 ns	0.00003 ns	5.840 ns	0.080 ns
DF	1	42.166 ns	0.003 **	195.634 **	9.802 **
GRUPO	3	603.674 **	0.001 *	12.630 ns	1.144 **
VAR(GRUPO)	8	191.888 **	0.001 **	8.267 ns	0.566 **
DF*GRUPO	3	644.150 **	0.0002 ns	21.505 *	0.333 **
ERROR	54	29.185	0.0003	7.807	0.072
TOTAL	71				
X _G		14.018	0.169	7.628	2.616
CV (%)		38.538	11.758	36.629	10.299

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

Cuadro 4. Resultados de los análisis de varianza entre dosis de fertilización de las variables estudiadas en el Experimento 3. Navidad, N.L. 2015.

Resultados de las pruebas de comparación de medias

Conforme a comparación de medias en el experimento 1 (cuadro 5), se encontraron diferencias de acuerdo a las dosis de fertilización, se encontró un

efecto positivo en la aplicación de nitrógeno (N) en todas las variables evaluadas, por lo tanto DF1 estadísticamente fue altamente significativa a DF2. Con respecto a la comparación de medias entre grupos de triticales, en la variable área foliar (AF) estadísticamente los genotipos más precoces (primaverales y facultativos) no registraron diferencias estadísticas entre ellos y los genotipos más tardíos (intermedios-invernales e invernales) no registraron diferencias estadísticas. Los grupos 1 y 2 (primaverales y facultativos) acumularon significativamente más área foliar (AF) que los grupos 3 y 4 (intermedios-invernales e invernales). En la variable NDVI en grupo 3 y 4 (intermedios-invernales e invernales) no demostraron diferencias estadísticas pero si del grupo 1 y 2 (primaverales y facultativos) siendo superiores los tardíos a los precoces los cuales no registraron diferencias estadísticas. Para la biomasa total en ninguno de los grupos presento diferencias estadísticas sin embargo el grupo 2 demostró una diferencia biológica a comparación de los otros grupos.

En rendimiento de grano (RENDGRANO) estadísticamente los genotipos más precoces (primaverales y facultativos) registraron diferencias estadísticas y los genotipos más tardíos (intermedios-invernales e invernales) no registraron diferencias estadísticas. Los grupos 1 y 2 (primaverales y facultativos) acumularon significativamente más área foliar (AF) que los grupos 3 y 4 (intermedios-invernales e invernales).

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS				
EXPERIMENTO 1				
DOSIS DE FERTILIZACIÓN				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
DF 1	46.68 a	0.269 a	10.470 a	3.094 a
DF 2	20.59 b	0.221 b	6.545 b	1.914 b
DMS α 0.05	6.159	0.014	0.970	0.146
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
GRUPO 1	44.338 a	0.236 bc	8.269 a	2.850 a
GRUPO 2	36.483 ab	0.211 c	9.645 a	3.080 a
GRUPO 3	29.242 bc	0.245 ab	8.642 a	2.149 b
GRUPO 4	23.713 c	0.271 a	8.110 a	2.048 b
DMS α 0.05	12.216	0.028	1.924	0.290

Cuadro 5. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 1. Navidad, N.L. 2015..

En el experimento 2, en la comparación de medias se encontraron diferencias de acuerdo a las dosis de fertilización (cuadro 6), se encontró un efecto positivo en la aplicación de nitrógeno (N) en todas las variables evaluadas, por lo tanto DF1 estadísticamente fue altamente significativa a DF2. Con respecto a la comparación de medias entre grupos de triticales, en la variable área foliar (AF) estadísticamente los genotipos más precoces (primaverales y facultativos) no registraron diferencias estadísticas entre ellos y los genotipos más tardíos (intermedios-invernales e invernales) no registraron diferencias estadísticas. Los grupos 1 y 2 (primaverales y facultativos) acumularon significativamente más área foliar (AF) que los grupos 3 y 4 (intermedios-invernales e invernales).

En la variable NDVI en grupo 1, 2 y 3 (primaverales, facultativos e intermedios-invernales) no demostraron diferencias estadísticas a diferencia del grupo 4

(invernales) que si registro diferencias estadísticas. Para la biomasa total, ninguno de los grupos presentó diferencias estadísticas. En rendimiento de grano (RENDGRANO) estadísticamente el grupo de primaverales (grupo 1), si tuvo diferencias estadísticas y los grupos 2, 3 y 4 (facultativos, intermedios-invernales e invernales) no registraron diferencias estadísticas. El grupo (primaverales) acumuló significativamente más área foliar (AF) que los grupos 2, 3 y 4 (facultativos, intermedios-invernales e invernales).

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS				
EXPERIMENTO 2				
DOSIS DE FERTILIZACIÓN				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
DF 1	30.03 a	0.234 a	11.651 a	3.163 a
DF 2	13.76 b	0.198 b	7.129 b	2.467 b
DMS á 0.05	3.018	0.012	1.323	0.184
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
GRUPO 1	28.633 a	0.205 b	9.525 a	3.284 a
GRUPO 2	23.150 ab	0.198 b	10.669 a	2.694 b
GRUPO 3	21.092 b	0.201 b	9.520 a	2.530 b
GRUPO 4	14.946 c	0.244 a	8.550 a	2.550 b
DMS á 0.05	5.987	0.025	2.624	0.365

Cuadro 6. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 2. Navidad, N.L. 2015.

En el experimento 3, en la prueba de comparación de medias se encontraron diferencias de acuerdo a las dosis de fertilización (cuadro 7); se encontró un efecto positivo en la aplicación de nitrógeno (N) en todas las variables evaluadas, por lo tanto, DF1 fue estadísticamente significativa con respecto a DF2.

En el experimento 3, los grupos 1, 2 y 3 (primaverales, facultativos e intermedios-invernales), no mostraron diferencias estadísticas, sin embargo fueron superiores al grupo 4 (invernales). Con respecto a NDVI sólo se reportó diferencia significativa entre el grupo 2 (facultativos) y el grupo 4 (invernales). Con respecto a la biomasa total (BIOTOT) no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo el grupo 3 (invernales e invernales) tuvo una diferencia biológica siendo superior a los otros grupos. En rendimiento de grano (RENGRANO) los genotipos más precoces (primaverales y facultativos) registraron estadísticamente mayor rendimiento, comparados principalmente con los tipos tardíos (grupos 3 y 4).

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS				
EXPERIMENTO 3				
DOSIS DE FERTILIZACIÓN				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENGRANO
DF 1	14.78 a	0.176 a	9.276 a	2.985 a
DF 2	13.25 a	0.162 b	5.979 b	2.247 b
DMS á 0.05	2.553	0.009	1.320	0.1273
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENGRANO
GRUPO 1	18.179 a	0.167 ab	7.300 a	2.830 a
GRUPO 2	18.583 a	0.155 b	7.211 a	2.811 a
GRUPO 3	14.892 a	0.170 ab	9.246 a	2.541 b
GRUPO 4	7.138 b	0.177 a	7.354 a	2.341 b
DMS á 0.05	5.063	0.018	2.618	0.252

Cuadro 7. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización y grupos de genotipos en el Experimento 3. Navidad, N.L. 2015.

Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza entre experimentos en la dosis de fertilización 1.

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de los ANVA para cada una de las variables estudiadas. Se registraron diferencias altamente significativas entre experimentos en todas las variables estudiadas, excepto rendimiento de grano (RENGRANO), donde no se registraron diferencias significativas. Con respecto a los grupos, todas las variables presentaron diferencias altamente significativas, excepto en biomasa total (BIOTOT), donde no se registraron diferencias significativas. La interacción experimentos por grupos (EXP*GRUPO) presentó diferencias altamente significativas en rendimiento de grano (RENDGRANO) y área foliar (AF), significativas para NDVI y no significativas para biomasa total (BIOTOT).

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
DOSIS DE FERTILIZACION 1					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
REP	2	165.425 ns	0.015 **	1.513 ns	0.080 ns
EXP	2	9164.323 **	0.079 **	50.748 **	0.291 ns
GRUPO	3	2309.995 **	0.015 **	13.218 ns	7.523 **
VAR(GRUPO)	8	942.343 **	0.006 **	12.288 ns	1.389 **
EXP*GRUPO	6	572.191 **	0.002 *	16.343 ns	1.193 **
ERROR	86	174.040	0.0008	9.164	1.120
TOTAL	107				
X _G		30.500	0.226	10.466	3.081
CV (%)		43.252	12.871	28.925	11.251

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

Cuadro 8. Resultados de los análisis de varianza entre experimentos de las variables estudiadas en la dosis de fertilización 1. Navidad, N.L. 2015.

Con respecto a la dosis de fertilización 2, se registraron diferencias altamente significativas entre experimentos en todas las variables estudiadas, excepto biomasa total (BIOTOT) la cual fue sólo significativa (Cuadro 9). Con respecto a los grupos, todas las variables presentaron diferencias altamente significativas. La interacción experimentos por grupos en todas las variables analizadas no reportaron diferencias significativas, excepto área foliar (AF) la cual fue altamente significativa.

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
DOSIS DE FERTILIZACION 2					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
REP	2	8.335 ns	0.002 *	2.171 ns	0.277 ns
EXP	2	604.434 **	0.031 **	11.885 *	2.787 **
GRUPO	3	901.477 **	0.004 **	18.670 **	1.175 **
VAR(GRUPO)	8	77.382 **	0.001 ns	5.959 ns	0.727 **
EXP*GRUPO	6	110.225 **	0.001 ns	4.939 ns	0.217 ns
ERROR	86	20.963	0.0006	3.642	0.178
TOTAL	107				
X _G		15.869	0.193	6.551	2.209
CV (%)		28.851	12.634	29.132	19.098

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

Cuadro 9. Resultados de los análisis de varianza entre experimentos de las variables estudiadas en la dosis de fertilización 2. Navidad, N.L. 2015.

Resultados de las pruebas de comparación de medias

Respecto a la prueba de comparación de medias, en la dosis de fertilización 1, se encontraron diferencias significativas en área foliar entre los experimentos, siendo el experimento 1 superior a los experimentos 2 y 3 (cuadro 10).

Para la variable NDVI, estadísticamente todos los experimentos fueron diferentes, siendo el experimento 1 superior al 2 y 3. En biomasa total (BIOTOT) los experimentos 1 y 2 no mostraron diferencias estadísticas entre sí, pero si con el experimento 3, siendo el experimento 1 y 2 superiores al experimento 3. En rendimiento de grano (RENDGRANO) no se tuvo ninguna diferencia estadística en los tres experimentos. Para área foliar (AF), el grupo 4 (invernales), fue significativamente inferior al resto de los grupos. Por el contrario, para NDVI, el grupo 4 fue significativamente superior al resto de los grupos. Para biomasa total (BIOTOT) en ninguno de los experimentos se registraron diferencias estadísticas entre los grupos. Para el rendimiento de grano (RENDGRANO), el grupo 1 (primaverales) fue estadísticamente superior a los demás grupos.

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS				
DOSIS DE FERTILIZACIÓN 1				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
EXP 1	46.683 a	0.269 a	10.470 ab	3.094 a
EXP 2	30.036 b	0.234 b	11.651 a	3.163 a
EXP 3	14.783 c	0.176 c	9.276 b	2.985 a
DMS α 0.05	7.416	0.016	1.701	0.194
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
GRUPO 1	38.319 a	0.221 b	10.208 a	3.652 a
GRUPO 2	35.772 a	0.196 c	10.312 a	3.248 b
GRUPO 3	31.244 a	0.215 bc	11.813 a	2.661 c
GRUPO 4	19.375 b	0.253 a	10.126 a	2.633 c
DMS α 0.05	9.977	0.022	2.289	0.262

Cuadro 10. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre experimentos y grupos de genotipos en la dosis de fertilización 1. Navidad, N.L. 2015.

En la prueba de comparación de medias para la dosis de fertilización 2, se encontraron diferencias entre los experimentos para área foliar el experimento 1 (riego normal), registró diferencia altamente significativa en comparación con los regímenes de humedad 2 y 3 (R2 y R3). Para la variable NDVI, el experimento 1 (riego normal), registró diferencia altamente significativa en comparación con los regímenes de humedad 2 y 3 (R2 y R3). Para la variable biomasa total (BIOTOT), el experimento 3 (castigo de riego en etapa reproductiva) fue estadísticamente inferior al resto de los regímenes de humedad. Para rendimiento de grano (RENDGRANO), los experimentos 2 y 3 fueron estadísticamente superiores al experimento 1. Con respecto a los grupos de genotipos, para área foliar (AF), el grupo de genotipos primaverales (G1) fue significativamente superior a los demás grupos. Para NDVI, el grupo 4 (invernales) registró valores significativamente mayores a los demás grupos. Para biomasa total (BIOTOT), el grupo facultativo (G2), registró valores significativamente mayores al resto de los grupos. Lo mismo sucedió para el rendimiento de grano.

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS				
DOSIS DE FERTILIZACIÓN 2				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
EXP 1	20.592 a	0.221 a	6.545 ab	1.914 b
EXP 2	13.764 b	0.198 b	7.129 a	2.467 a
EXP 3	13.253 b	0.162 c	5.979 b	2.247 a
DMS á 0.05	2.573	0.013	1.072	0.237
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
GRUPO 1	22.447 a	0.184 b	6.522 b	2.324 ab
GRUPO 2	16.372 b	0.181 b	8.037 a	2.475 a
GRUPO 3	12.239 c	0.196 ab	6.458 b	2.153 bc
GRUPO 4	10.856 c	0.208 a	5.883 b	1.990 c
DMS á 0.05	3.462	0.018	1.443	0.319

Cuadro 11. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre experimentos y grupos de genotipos en la dosis de fertilización 2. Navidad, N.L. 2015.

Cuadrados medios y significancia de los análisis de varianza combinados

En el Cuadro 12 se presentan los resultados de los ANVA combinados entre experimentos para cada una de las variables estudiadas. Con respecto a los experimentos, se registraron diferencias altamente significativas entre ellos en todas las variables estudiadas. Con respecto a las dosis de fertilización, todas las variables presentaron diferencias altamente significativas; con respecto a los grupos, todas las variables registraron diferencias altamente significativas entre los mismos, excepto en biomasa total (BIOTOT), donde no se registraron diferencias significativas. La interacción dosis de fertilización por grupo (DF*GRUPO), fue altamente significativa para el rendimiento de grano y significativapara las variables área foliar (AF) y NDVI. La interacción experimento por dosis de fertilización (EXP*DF) fue altamente significativa para

todas las variables analizadas. La interacción experimento por grupo (EXP*GRUPO) fue altamente significativa para el rendimiento grano y significativa para NDVI.

CUADRADOS MEDIOS Y SIGNIFICANCIA DE LOS ANÁLISIS DE VARIANZA					
		CUADRADOS MEDIOS			
FV	GL	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
EXP	2	7017.798 **	0.105 **	55.874 **	1.788 **
REP(EXP)	6	47.189 ns	0.008 **	4.647 ns	0.236 ns
DF	1	11560.33 **	0.058 **	827.513 **	40.991 **
GRUPO	3	2873.943 **	0.017 **	16.640 ns	6.710 **
VAR(GRUPO)	8	640.313 **	0.006 **	8.413 ns	1.954 **
DF*GRUPO	3	337.529 *	0.002 *	15.248 ns	1.989 **
EXP*DF	2	2750.959 **	0.005 **	6.759 ns	1.291 **
EXP*GRUPO	6	150.917 ns	0.001 *	7.681 ns	0.795 **
ERROR	184	125.321	0.0007	6.745	0.162
TOTAL	215				
X _G		23.185	0.210	8.508	2.645
CV (%)		48.283	12.628	30.524	15.249

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

Cuadro 12. Resultados de los análisis de varianza combinados de las variables estudiadas. Navidad, N.L. 2015.

Los resultados de la prueba de comparación de medias del análisis combinado indicaron que para la variable AF los tres experimentos mostraron diferencias estadísticas, siendo el experimento 1 superior a todos (Cuadro 13). Para la variable NDVI los tres experimentos presentaron diferencias estadísticas, siendo el experimento 1 superior a todos. Para biomasa total (BIOTOT), el experimento 3 fue significativamente inferior al resto. En cuanto al rendimiento (REND), el experimento 2 fue estadísticamente superior al resto de los experimentos. Para las dosis de fertilización, todas las variables registraron

diferencias estadísticas; se encontró un efecto positivo en la aplicación de nitrógeno (N) en todas las variables evaluadas, por lo tanto la DF1 estadísticamente fue significativamente superior a la DF2.

Con respecto a los grupos, en la variable área foliar (AF) estadísticamente el grupo 1 fue estadísticamente superior a los demás grupos, y con respecto al NDVI el grupo 4 fue superior a todos. Para la biomasa total (BIOTOT), no se registraron diferencias estadísticas entre ninguno de los grupos. Para rendimiento de grano (RENDGRANO), los grupos precoces fueron significativamente superiores a los grupos tardíos.

PRUEBA DE COMPARACIÓN DE MEDIAS DEL ANÁLISIS COMBINADO				
EXPERIMENTOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
EXP 1	33.638 a	0.245 a	8.507 ab	2.504 b
EXP 2	21.900 b	0.216 b	9.390 a	2.815 a
EXP 3	14.018 c	0.169 c	7.628 b	2.616 b
DMS á 0.05	4.408	0.010	1.022	0.158
DOSIS DE FERTILIZACIÓN				
DF 1	30.501 a	0.226 a	10.466 a	3.081 a
DF 2	15.869 b	0.193 b	6.551 b	2.209 b
DMS á 0.05	3.005	0.007	0.697	0.108
GRUPOS				
	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
GRUPO 1	30.383 a	0.203 b	8.365 a	2.988 a
GRUPO 2	26.072 ab	0.188 c	9.175 a	2.862 a
GRUPO 3	21.742 b	0.205 b	9.136 a	2.407 b
GRUPO 4	15.265 c	0.231 a	8.005 a	2.313 b
DMS á 0.05	5.924	0.014	1.374	0.213

Cuadro 13. Resultados de las pruebas de comparación de medias de los análisis combinados. Navidad, N.L. 2015.

Respecto a las correlaciones entre variables, en general, las más importantes fueron entre AF con NDVI y BIOTOT con RENDGRANO (Cuadro 14).

CORRELACIONES-GRUPO 1 (p>0.05)				
VARIABLE	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
AF		0.93 *	0.58	0.51
NDVI			0.62	0.55
BIOTOT				0.93 *
CORRELACIONES-GRUPO 2 (p>0.05)				
VARIABLE	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
AF		0.71	0.71	0.89 *
NDVI			0.83 *	0.45
BIOTOT				0.55
CORRELACIONES-GRUPO 3 (p>0.05)				
VARIABLE	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
AF		0.70	0.73	0.46
NDVI			0.19	-0.26
BIOTOT				0.68
CORRELACIONES-GRUPO 4 (p>0.05)				
VARIABLE	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
AF		0.97 *	0.64	0.17
NDVI			0.64	0.22
BIOTOT				0.83 *
CORRELACIONES GLOBALES (p>0.05)				
VARIABLE	AF	NDVI	BIOTOT	RENDGRANO
AF		0.53 *	0.60 *	0.62 *
NDVI			0.40 *	0.08
BIOTOT				0.64 *

Cuadro 14. Correlaciones globales de todas las variables evaluadas. Navidad, N.L. 2015.

DISCUSIÓN

En este estudio, existió una diferencia importante en el contenido de humedad del suelo; en la (Figura 1), se puede observar que para el régimen de humedad 3 (castigo a partir de la floración) el contenido de humedad fue decreciendo a lo largo del ciclo. Por esta razón se rechaza la hipótesis a planteada para esta investigación.

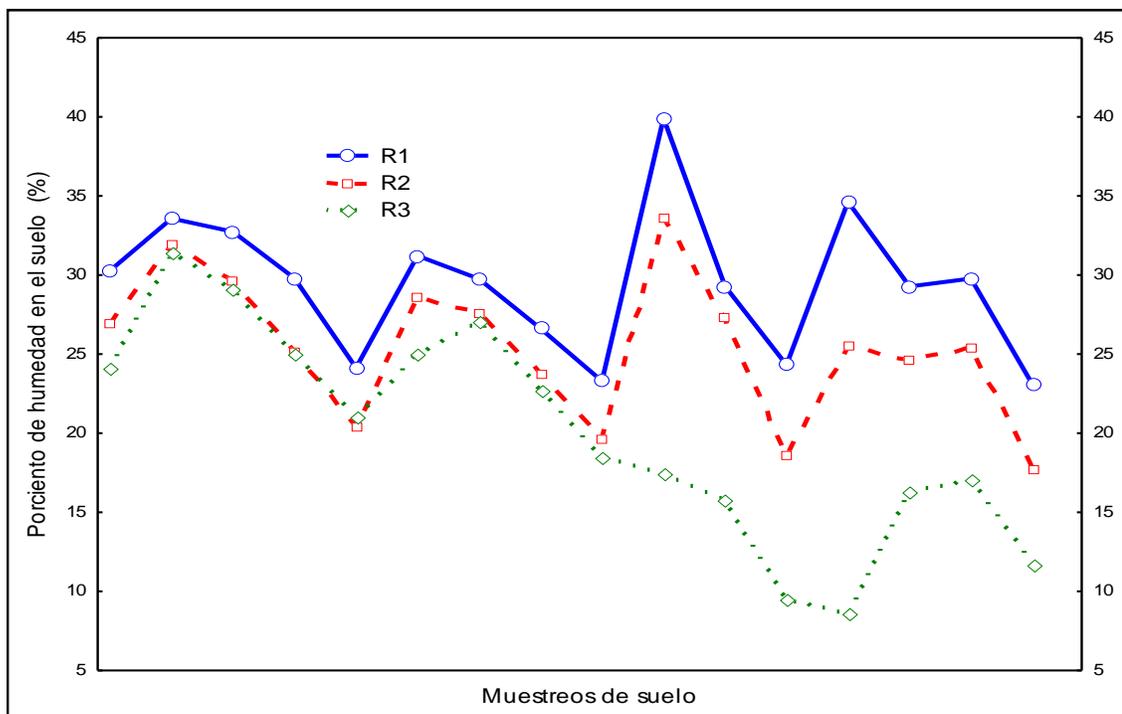


Figura 1. Contenido de humedad del suelo de cada experimento. Navidad, N.L. 2015.

De manera general, los resultados de los análisis de varianza para todas las variables evaluadas demostraron que la aplicación de nitrógeno es eficiente, ya que los valores promedio más altos en todas las variables se registraron cuando se aplicó fertilizante nitrogenado, independientemente del régimen de

humedad; Por esta razón se rechaza la hipótesis b planteada para esta investigación. Con respecto a los hábitos de crecimiento, los tipos precoces registraron los mayores valores para área foliar (AF) y rendimiento de grano; para NDVI y biomasa total (BIOTOT) los presentaron los tipos tardíos.

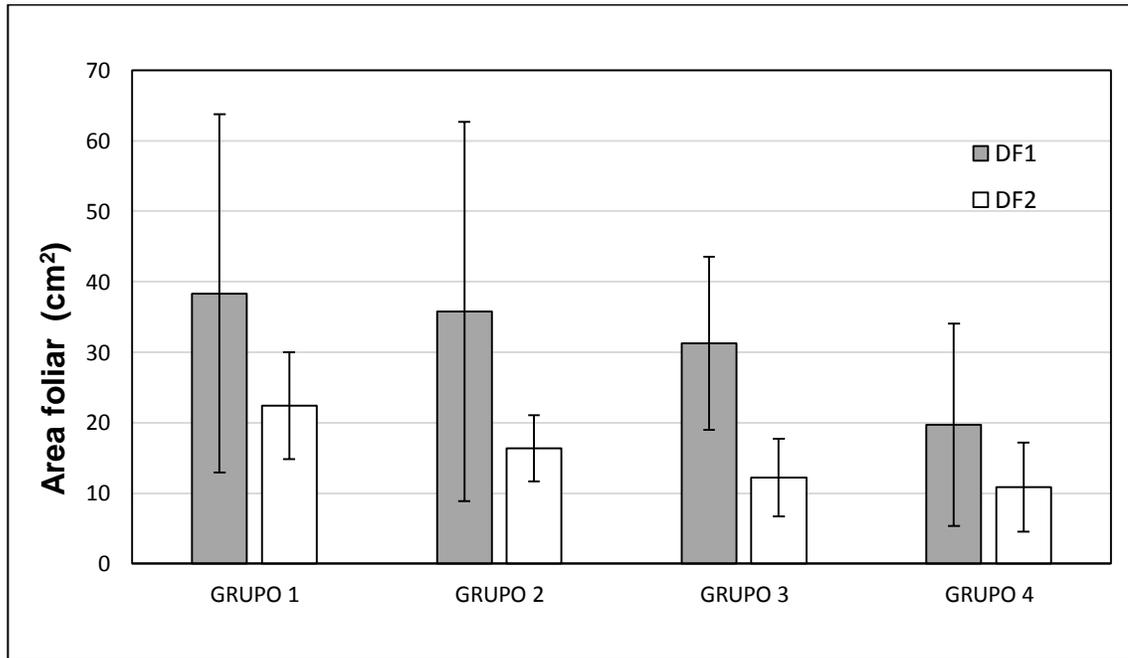


Figura 2. Área foliar de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

En la figura 2, se muestra el comportamiento de área foliar promedio para cada grupo en cada dosis de fertilización. De manera general, se observa que en todos los grupos la fertilización estimuló la acumulación de área foliar, sin embargo, entre más precoz sea el cultivo, tiene un mayor aprovechamiento del fertilizante. Concordado con lo antes mencionado (Kichey *et al.*, 2007) menciona que el nitrógeno (N), es el principal factor limitante en la producción agrícola y al igual que en otros cereales, es también uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo del triticale.

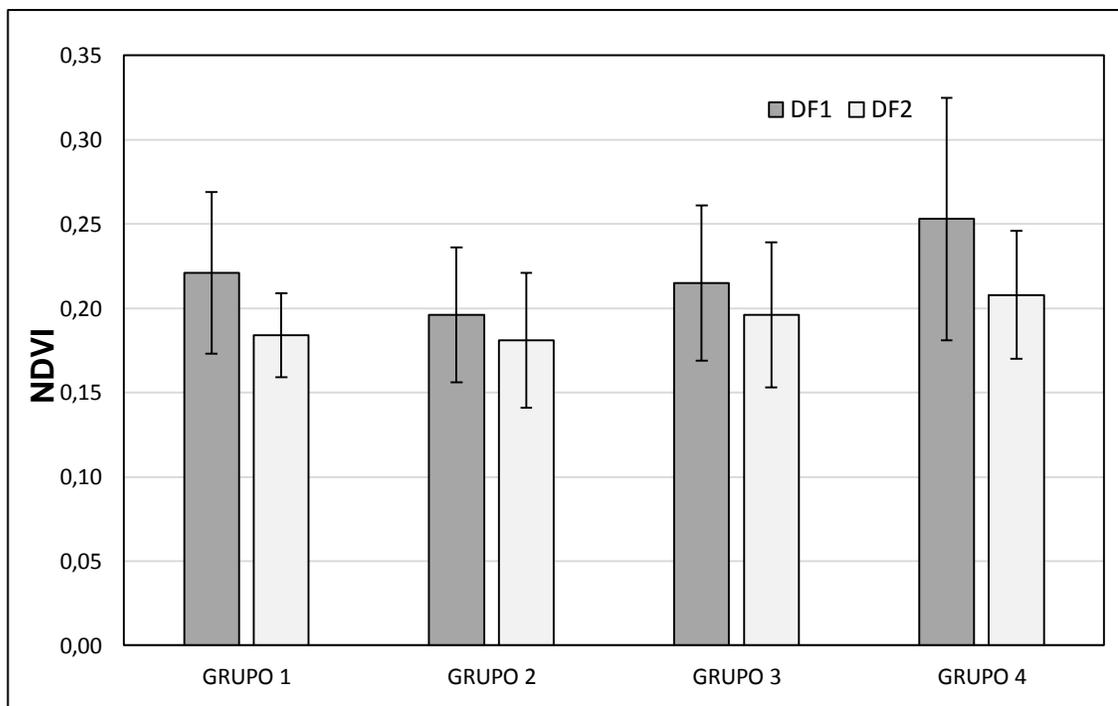


Figura 3. NDVI de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

Para la variable NDVI, los resultados coinciden con lo reportado por Salas, (2003) que menciona que la disponibilidad de nitrógeno (N) para la planta es indispensable por ser un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal, particularmente del área foliar, la cual está directamente correlacionada con los valores de NDVI, (Figura 3), donde se muestra de manera general, que todos los grupos exhibieron una mayor área foliar con la aplicación de nitrógeno, (Figura 2), lo cual se tradujo en mayores valores de NDVI, demostraron eficiencia en la aplicación de fertilizante. Los tipos invernales demostraron ser superiores a los primaverales, facultativos e intermedios-invernales para este parámetro, tanto bajo fertilización como sin ella.

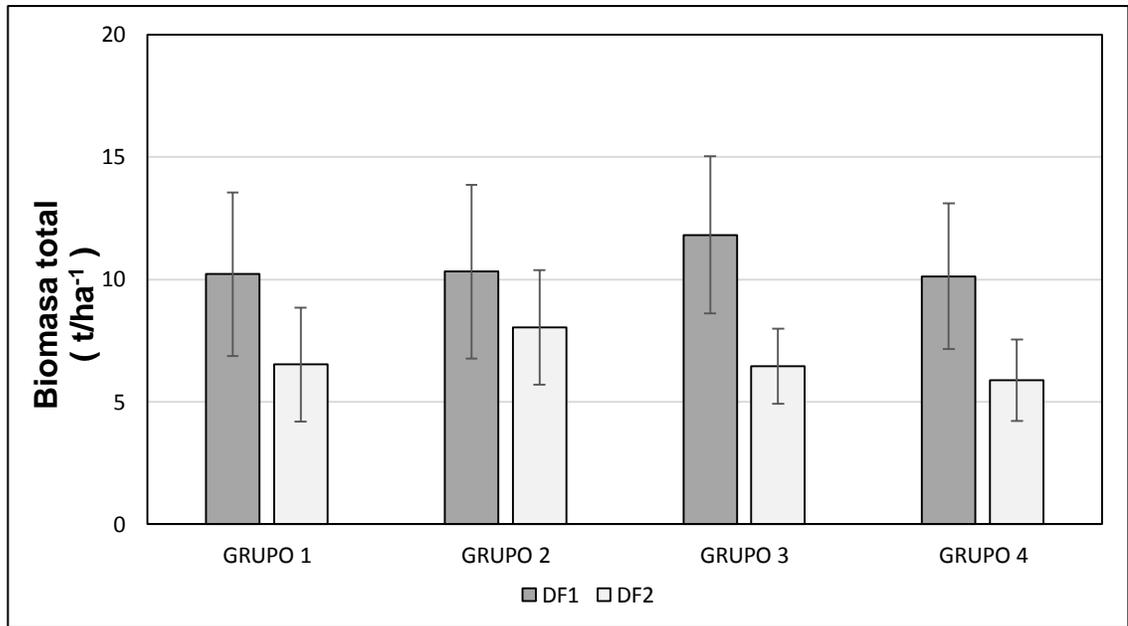


Figura 4. Biomasa total de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

En la figura 4, se observa que en los cuatro grupos de triticales la fertilización provocó una respuesta favorable y significativa para la acumulación de biomasa. En el caso del manejo sin fertilización, los tipos facultativos acumularon 36% más de biomasa a comparación de los invernales (G4), por lo que pudieran utilizarse bajo condiciones de baja o nula fertilización.

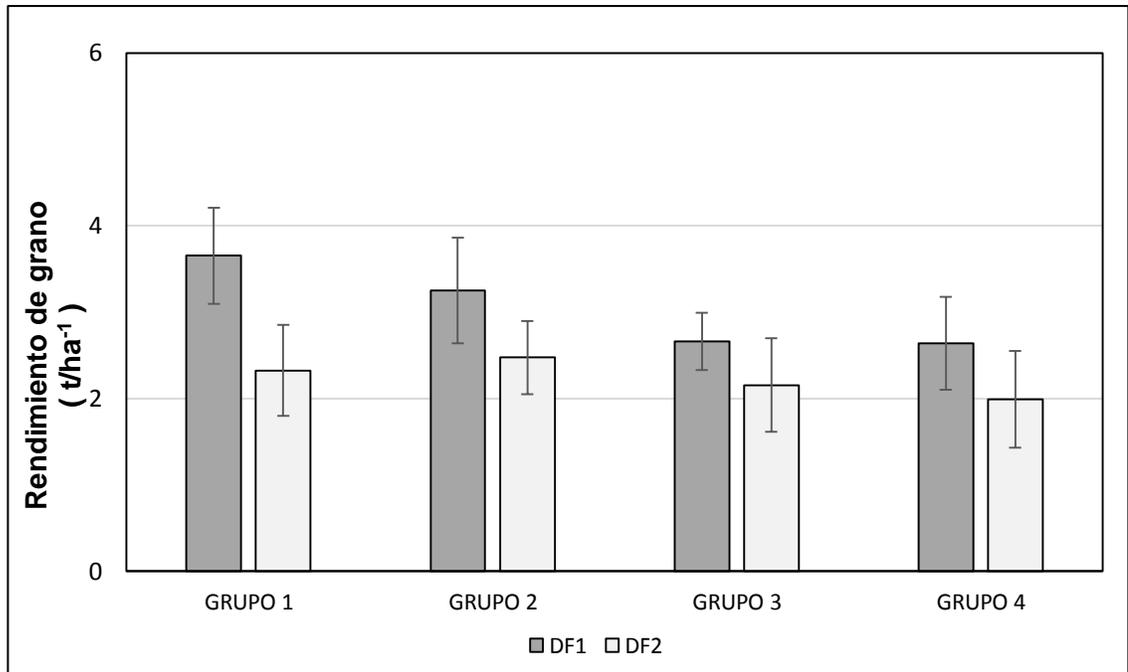


Figura 5. Rendimiento de grano de los diferentes grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

Para rendimiento de grano (Figura 5), se observa la eficiencia de la aplicación de fertilizantes, sin embargo, entre más precoz sean los genotipos se obtiene mayor rendimiento. Con respecto a los no fertilizados no existió diferencia significativa entre los grupos. (Karlen y Camp, 1982) mencionan que en condiciones de crecimiento óptimas, el rendimiento de grano normalmente se incrementa cuando se incrementa el total de materia seca y el consumo de nutrientes. 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).

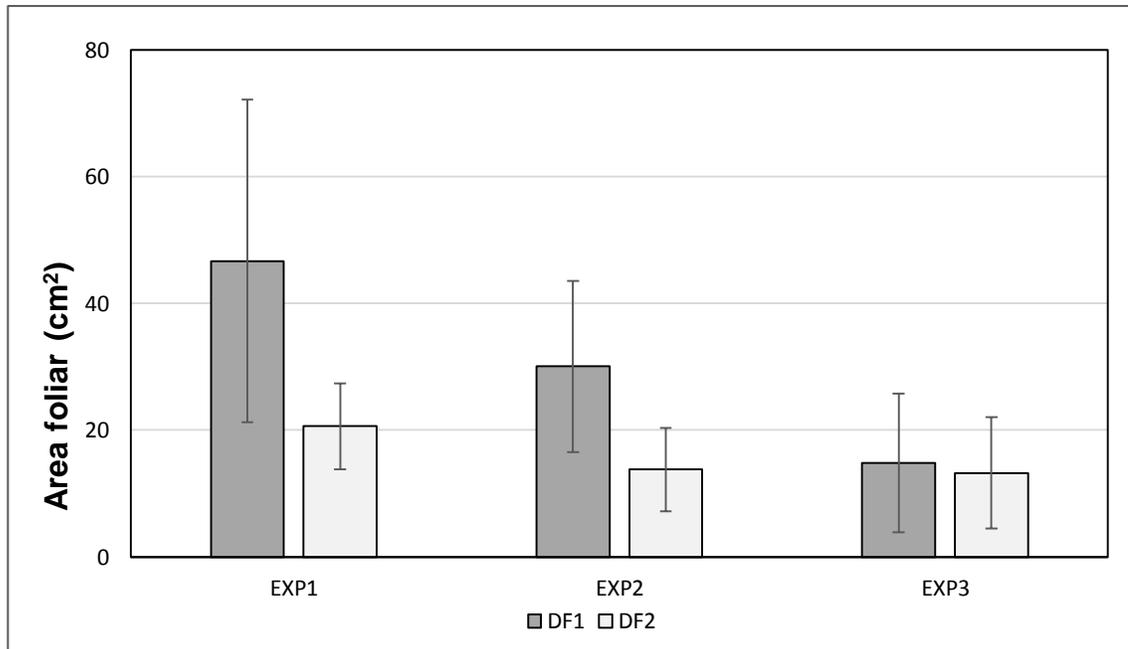


Figura 6. Área foliar de los diferentes experimentos en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

Respecto al área foliar (Figura 6), se observó una clara tendencia, demostrando en forma general una relación positiva en la aplicación de fertilizante a comparación con los no fertilizados, siendo el experimento 1 (Riego normal) el más eficiente comparado con el experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa) y experimento 3 (castigo de riego a partir de la floración). Respecto a lo anterior, coincidiendo con (Musick y Dusek, 1980) quienes mencionan que dos respuestas comunes de las plantas a los déficits de humedad son la reducción del crecimiento foliar y una senescencia foliar acelerada, ya que la expansión de las hojas depende principalmente de la expansión de las células, la cual a su vez depende del proceso de turgencia, y cualquier incremento en el déficit de humedad puede limitar el incremento en el área foliar

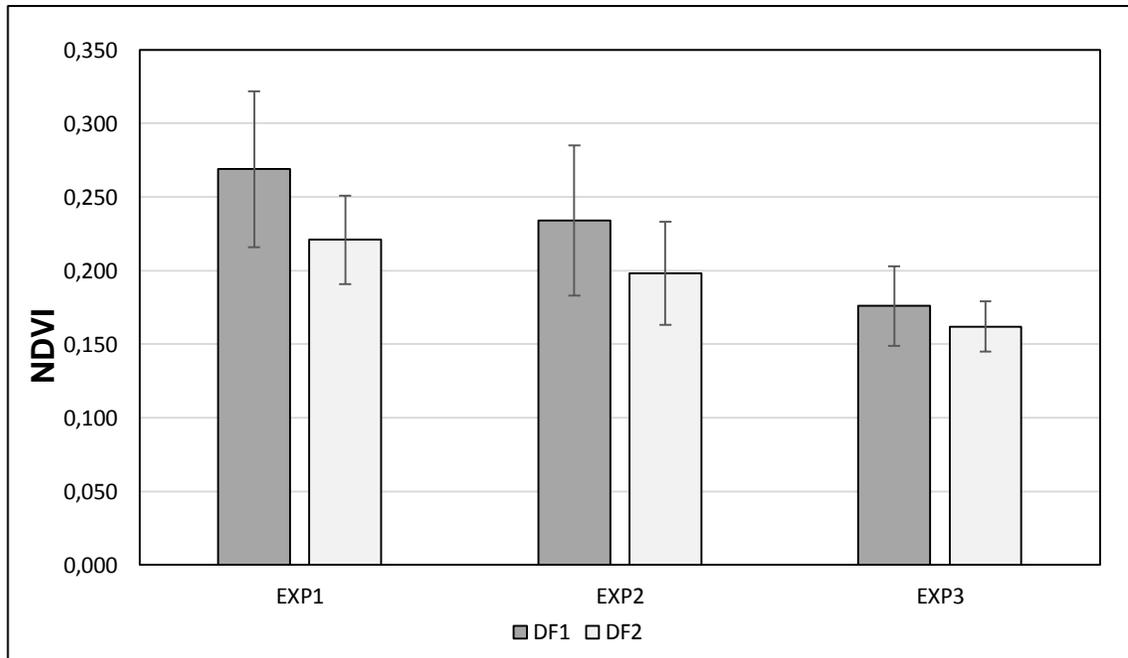


Figura 7. NDVI de los diferentes experimentos en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

Con respecto a los valores de NDVI, se observó una clara tendencia positiva a la aplicación de fertilizante en los tres experimentos (regímenes de humedad), lo cual tuvo una respuesta positiva comparado a lo no fertilizado; sin embargo, el experimento 1 (riego normal), tuvo un mejor comportamiento demostrando diferencia significativa en comparación con los EXP2 y EXP3, (regímenes de humedad 2 y 3, Figura 7).

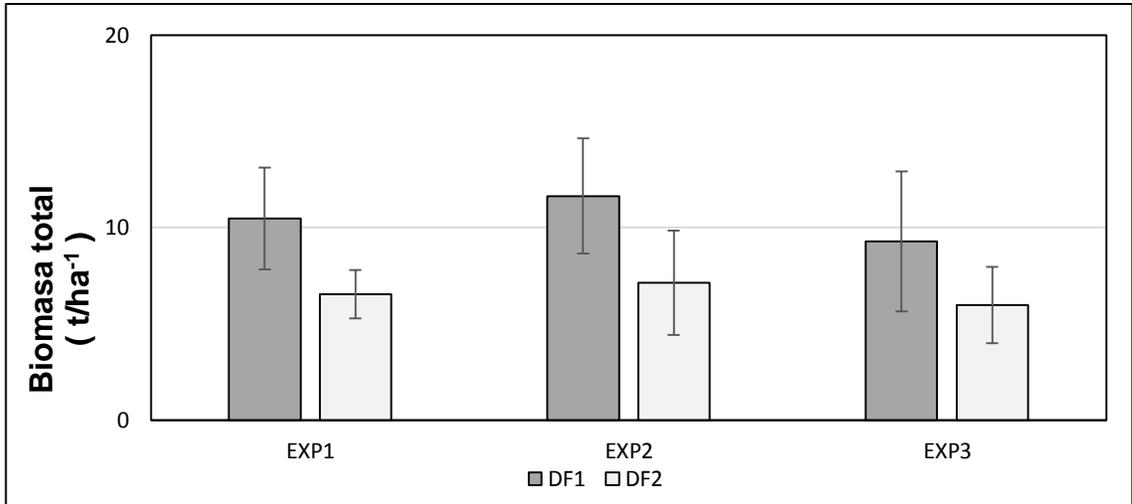


Figura 8. Biomasa total de los diferentes experimentos en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

La acumulación de biomasa total confirma a los tres regímenes de humedad dentro de las dosis de fertilización (figura 8), claramente demuestra la eficiencia en la aplicación de nitrógeno en los tres experimentos, del cual el experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa) fue el de mejor comportamiento obteniendo mayor biomasa.

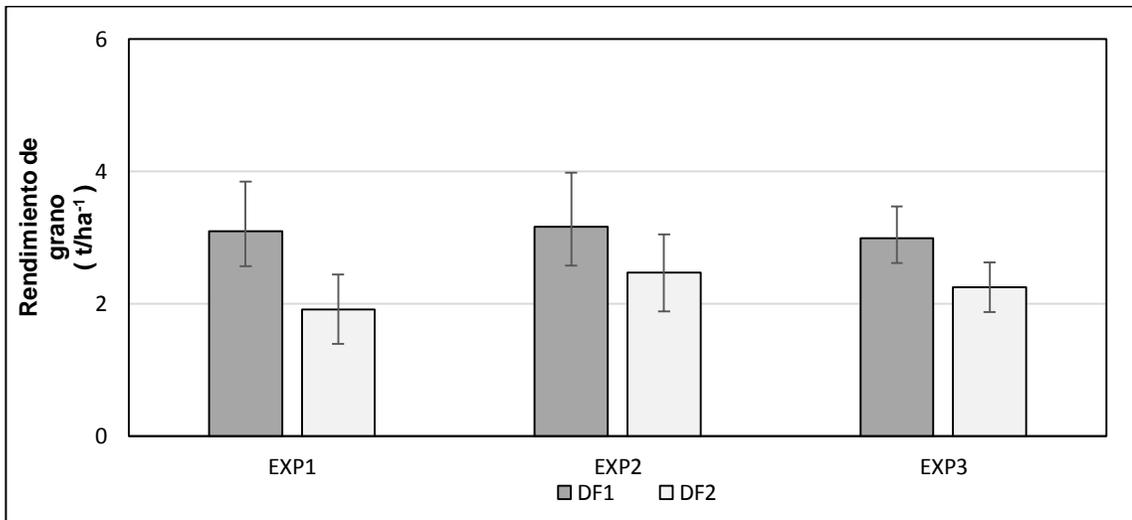


Figura 9. Rendimiento de grano de los diferentes experimentos en cada una de las dosis de fertilización. Navidad, N.L. 2015.

El rendimiento de grano de los experimentos con las dos diferentes dosis de fertilización, (figura 9), indica la reacción positiva en la aplicación de fertilizante, donde no existió diferencia significativa entre los tres regímenes de humedad; sin embargo en lo no fertilizado el experimento 1 (riego normal) presenta menor rendimiento comparado con experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa) y experimento 3 (castigo de riego a partir de la floración). Lo anterior coincide con (Karlen y Camp, 1982) que mencionan que 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.

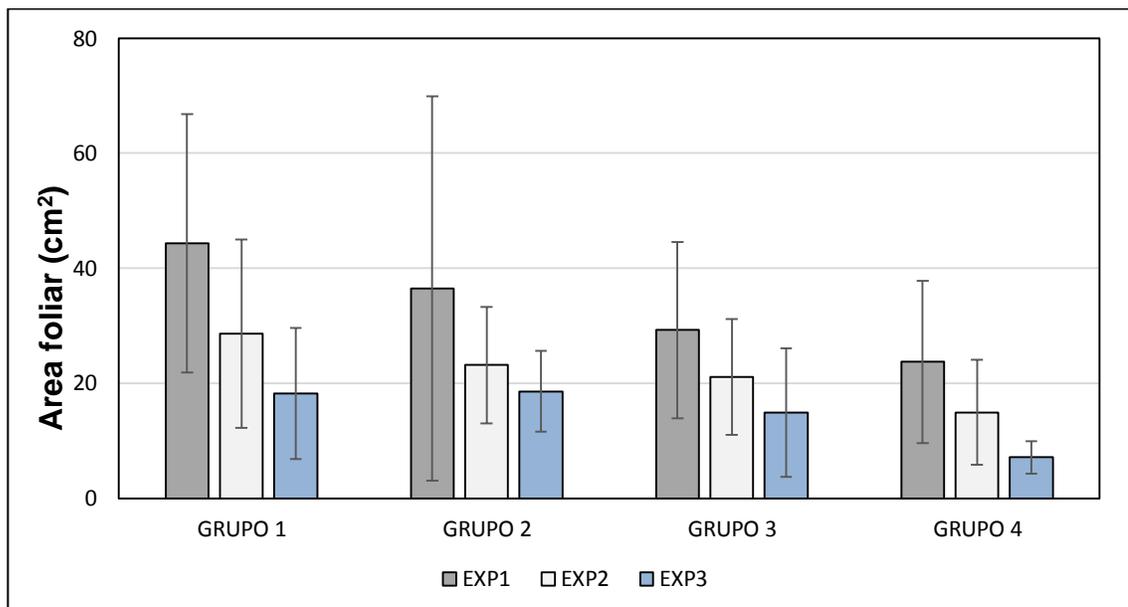


Figura 10. Área foliar de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos. Navidad, N.L. 2015.

En la Figura 10, se observa la diferencia entre experimentos dentro de los grupos donde el experimento 1 (riego normal) obtuvo mejor área foliar en todos los grupos, sin embargo, los primaverales (G1) demostraron mayor área foliar en el experimento 1 y 2, en comparación con los facultativos (G2), intermedios-invernales (G3) e invernales (G4).

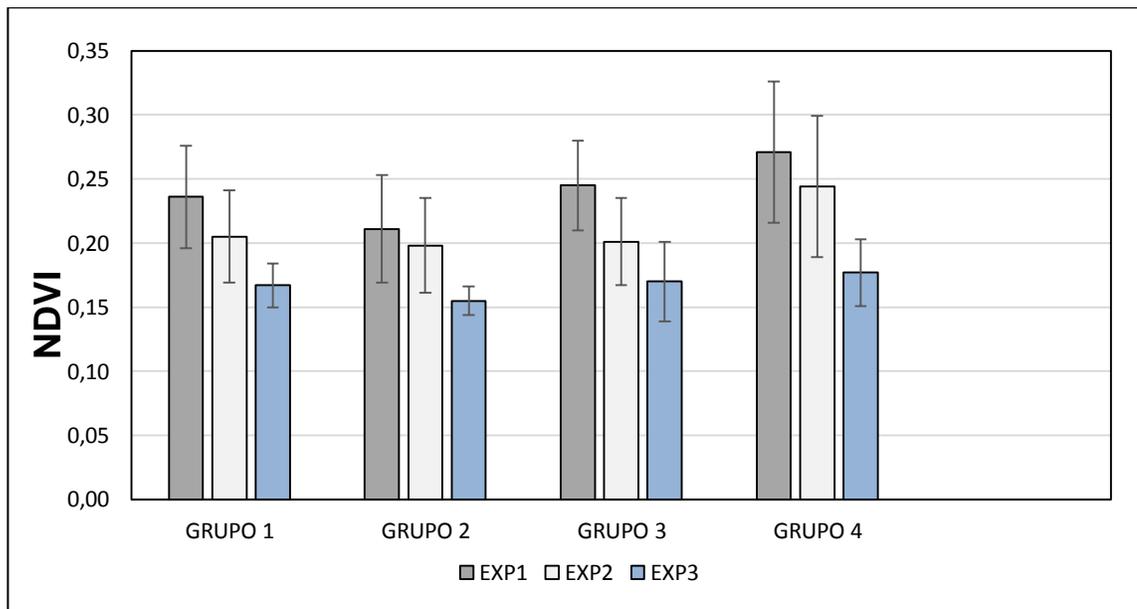


Figura 11. NDVI de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos. Navidad, N.L. 2015.

Se puede observar el comportamiento de los experimentos dentro de cada grupo de triticales de acuerdo al NDVI (Figura 11), por lo que el experimento 1 (riego normal) en los invernales (G4) fue superior de todos los experimentos, sin embargo, en los cuatro grupos el experimento 1 (riego normal), sobresalió del experimento 2 y 3. El experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa) dentro de cada grupo fue superior en el grupo 4 (invernales), mientras que el

experimento 3 (castigo de riego a partir de la floración) no presento diferencias significativas entre los cuatro grupos.

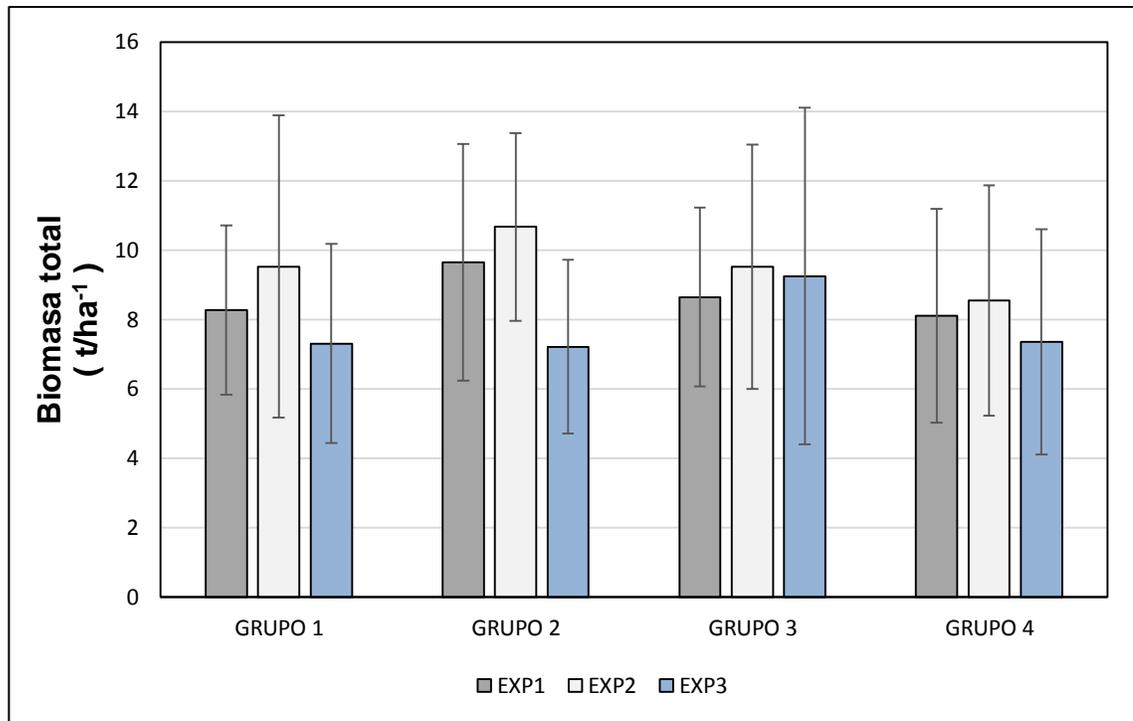


Figura 12. Biomasa total de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos. Navidad, N.L. 2015.

En la Figura 12, se muestra la acumulación de biomasa total de cada grupo dentro de cada experimento (régimen de humedad), donde se tuvo el mayor rendimiento en el experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa), en todos los grupos, sin embargo en los facultativos (G4) fue el que más biomasa acumulo en comparación en otros grupos. 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). Por esta razón se rechaza la hipótesis (d) planteada en esta investigación.

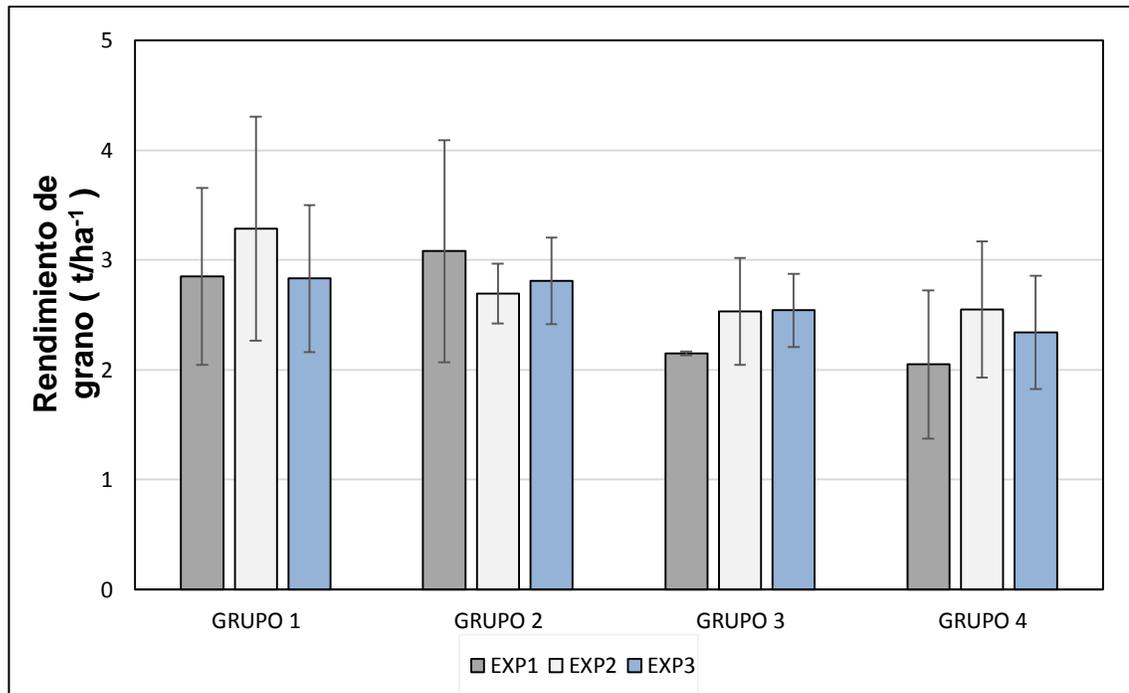


Figura 13. Rendimiento de grano de los diferentes grupos de triticales en cada uno de los experimentos. Navidad, N.L. 2015.

La Figura 13 muestra el rendimiento de grano de los grupos (primaverales, facultativos, intermedios-invernales e invernales) en cada uno de los regímenes de humedad; el experimento 2 (castigo de riego en etapa vegetativa) obtuvo mayor rendimiento, donde existió diferencia significativa de los otros experimentos y de cada grupo, sin embargo, en los facultativos el experimento 1 (riego normal) tuvo mayor rendimiento comparado con los primaverales, intermedios-invernales e invernales.

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 una gran variación en el rendimiento de grano, la producción de biomasa y sus componentes fisiológicos de los tipos de triticales cuando se cultivaron bajo regímenes de riego y dosis de fertilización contrastantes. El déficit hídrico afectó significativamente la producción de biomasa y el rendimiento de grano en triticales.
- 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 un mayor rendimiento de grano bajo condiciones de estrés de humedad en comparación con el resto de los grupos, debido posiblemente a que escaparon de los efectos de la sequía terminal.
- La combinación de fertilización y riego normal promueve un mayor rendimiento de grano y biomasa total.
- Los triticales de hábito facultativos e intermedio-invernal registraron los mayores rendimientos de biomasa total con el castigo de riego en etapa vegetativa.
- El rendimiento de grano en hábitos primaverales reportó ser más eficiente con castigo de riego en etapa vegetativa.

LITERATURA CITADA

- Anderson, W.K., Smith, W.R. 1990. Yield advantage of two semi-dwarf compared with two tall wheats depends on sowing time. *Aust. J. Agric. Res.* 41, 811–826.
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Reynolds, M. P., and Royo, C. 2002. Plant breeding and water relations in C3 cereals: what should we breed for? *Ann. Bot. London* 89:925–940.
- 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.
- Blum, A., Ebercon, A. 1981. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. *Crop Sci.* 21:43-47.
- 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.
- 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.
- Conroy, J.P., Virgona, J.M., Smillie, R.M., and Barlow, E.W. 1988. Influence of drought acclimation and CO₂ enrichment on osmotic adjustment and chlorophyll a fluorescence of sunflower during drought. *Plant Physiol.* 86:1108-1115.
- El-Hendawy, S., Al-Suhaibani, N., Salem, A., Rehman, U. Turkish. 2015. Spectral reflectance indices as a rapid and nondestructive phenotyping tool for estimating different morphophysiological traits of contrasting spring wheat germplasms under arid conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* (2015) 39: 572-587
- Gooding, M.J., Kettlwell, P.S., Davies, W.P. & Hocking, T.J. 1986. Effects of spring nitrogen-fertilizer on the Hag- berg Falling Number of grain from breadmaking varieties of winter-wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 107: 475–477.

- Hamdy, A., Ragab R., y Scarascia-Mugnozza, E. 2003. Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage*. 52:3–20.
- Hsiao, T.C. and E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.* 14:59-84.
- Jackson, L.F., Dubcovsky, J., Gallagher, L.W., Wennig, R.L., Heaton, J., Vogt, H., Gibbs, L.K., Kirby, D., Canevari, M., Carlson, H., Kearney, T., Marsh, B., Munier, D., Mutters, C., Orloff, S., Schmierer, J., Vargas, R., Williams, J., Wright, S., 2000. Regional Barley and Common and Durum Wheat Performance Tests in California. University of California, Agronomy Progress Report No.272, Davis.
- Janusauskaite, D. 2013. Spring triticale yield formation and nitrogen use efficiency as affected by nitrogen rate and its splitting. *Zemdirbyste-Agriculture*, vol. 100, No. 4 (2013), p. 383– 392
- 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.
- Keim, D.L. and Kronstad, W.E. 1981. Drought response of winter wheat cultivars grown under field stress conditions. *Crop Sci.* 21:11-15.
- 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.

- Lozano-del Río, A.J., Colín-Rico, M., Mergoum, M., Pfeiffer, W.H., Hede, A., and Reyes-Valdés, M.H. 2002. Registration of "TCLF-AN-31". *Triticale*. *Crop Sci.* 42:2215-2216.
- 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 Blanck Chernozem soil in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 86:1005-1014.
- McLeod, J.G., Campbell, C.A., Dyck, F.B., Vera, C.L., 1992. Optimum seeding dates of winter wheat in southwestern Saskatchewan. *Agron. J.* 84, 86–90.
- Mirzaei A, Naseri R, Soleimani R. 2011 Response of different growth stages of wheat to moisture tension in a semiarid land. *World Appl Sci J* 12(1):83-89.
- Moore, E. L. 2005. Alternative forage crops when irrigation water is limited. *Drought Management Factsheet*. British Columbia, Canadá. 6:1-6.
- 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. 1998. *Triticale: A promising addition to the world's cereal grains*. National Academy Press, Washington, D.C. 105 pp.
- Nicolas ME, Lambers H, Simpson RJ, Dalling MJ. 1985. Effect of post-anthesis drought on cell division and starch accumulation in Ortiz-Monasterio, R. J. I., Sayre, K. D., Rajaram, S., and McMahon, M. 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four N rates. *Crop Sci.* 37: 898–904.

- 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.
- 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.
- 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.
- Purcell, L.C., y Currey, A. 2003. Gaining acceptance of water use efficiency framework, terms and definitions. *Land Water Australia*, Canberra.
- Saini HS, Westgate ME. 2000. Reproductive development in grain crops during drought. *Advances in Agronomy* 68: 59–95.
- 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.
- Santivieri, F., Royo, C., and Romagosa, I. 2004. Growth and yield responses of spring and winter triticale cultivated under Mediterranean conditions. *Europ. J. Agronomy*. 20:281-292.
- Shpiler, L., and Blum, A. 1986. Differential reaction of wheat *Triticum aestivum* cultivars to hot environments. *Euphytica* 35:483-492.
- Trethowan, R. M., van Ginkel, M., and Rajaram, S. 2002. Progress in breeding for yield and adaptation in global drought affected environments. *Crop Sci.*42:1441–1446.
- Venkateswarlu B, Visperas RM. 1987. Source-sink relationships in crop plants. *International Rice Research Institute Paper Series* 125: 1–19.

- Wang, H.X., Liu, C.M., and Zhang, L. 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. *Advances in Agronomy* 75:135–171.
- Wojtowicz M., Wojtowicz A., Piekarczyk J. (2016). Application of remote sensing methods in agriculture. *Communications in Biometry and Crop Science* 11, 31–50.
- Xu ZZ, Zhou GS 2005. Effects of water stress and nocturnal temperature on carbon allocation in the perennial grass, *Leymus chinensis*. *Physiol Plantarum* 123:272-280.
- Xu ZZ, Zhou GS. 2006 Combined effects of water stress and high temperature on photosynthesis, nitrogen metabolism and lipid peroxidation of a perennial grass *Leymus chin- ensis*. *Planta* 224:1080-1090.
- 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.