

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO.

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Rendimiento de Grano de Triticales de Diferentes Hábitos de Crecimiento
Bajo Distintos Regímenes de Riego y Dosis de Fertilización en Navidad, N.L.

Por:

JORGE ALBERTO ORTA ARTEAGA

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

Rendimiento de Grano de Triticales de Diferentes Hábitos de Crecimiento
Bajo Distintos Regímenes de Riego y Dosis de Fertilización en Navidad, N.L.

Por

JORGE ALBERTO ORTA ARTEAGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

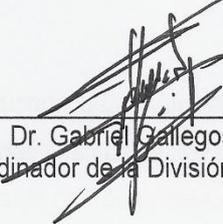
INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alejandro Javier Lozano Del Rio
Asesor Principal


Dr. 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

DEDICATORIA

A mis padres

Carlos Orta y Rosa Elba Arteaga Maya que me apoyaron en toda mi carrera en la universidad que gracias a ellos he terminado y he logrado otra más de mis metas y una de las más importante que es ser Ingeniero, que a jalones y estirones he logrado dicho objetivo, GRACIAS por sus consejos, su empatía, su amor y cariño, y este trabajo de tesis es para ustedes con todo mi amor y cariño que confiaron en mi incondicionalmente de todo corazón muchas gracias los amo padres.

A mis hermanos

Erick Yair Orta Arteaga y Carlos Sergio Orta Arteaga que siempre me apoyaron en todo momento les dedico esta tesis con todo mi amor.

A mi abuela

Pio Orta Pacheco que siempre me aconsejo en las buenas y malas, apoyándome en todo lo que podía, GRACIAS abuela y sé que desde el cielo me sigue ayudando y cuidando, te amo madre mía.

A mi tío

Sergio Orta que me ha brindado todo su apoyo y su cariño toda la vida, el cual también me ha enseñado a respetar y ser una buena persona al cual lo veo como un buen ejemplo.

A mi novia

Neri Yanet Lara Mustafá la que también me hizo fuerte en esta etapa de mi formación profesional, a la cual le doy gracias por ese amor, cariño, apoyo y comprensión, durante mi trabajo de tesis.

AGRADECIMIENTOS

A Dios

Por ayudarme en los momentos más difíciles de mi carrera y escuchar mis plegarias, Gracias por darme la dicha de tener salud, amigos, familia y guiarme por el camino correcto de la vida y a tomar la mejor decisión de mi vida que fue ser un agrónomo, de corazón muchísimas gracias padre mío.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Por haberme dado la oportunidad de ingresar a esta institución y llenarme de conocimientos que me servirán para desarrollarme en el resto de mi vida. Muchas gracias mi Alma Terra Mater te prometo no defraudarte poniendo en práctica tus conocimientos y alternativas en el ámbito laboral y ser un orgulloso buitre de la narro.

Al Dr. Alejandro Javier Lozano del Río

Le agradezco por el apoyo incondicional y amistad que me brindo durante toda mi estancia dentro de la universidad al igual por a verme permitido ser parte de su equipo de investigación, que me servirá para obtener el título profesional de Ingeniero en Agrónomo en producción, gracias por su paciencia, humor y dedicación ya que más como mi profesor y asesor de tesis fue un gran amigo para mí, gracias por todo doc.

Al Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos

Por su participación en este estudio, y por los conocimientos transmitidos durante mi desarrollo académico.

Al Ing. Raúl Gándara Huitrón

Por su participación en este estudio, y por los conocimientos transmitidos durante mi desarrollo académico.

Al Dr. Gabriel Gallegos Morales

Por su colaboración y formar parte del jurado.

A todos los profesores

Que me ayudaron a mi formación académica y a ver compartido cada experiencia de trabajo para fortalecerme en la práctica.

A mis amigos

Que me apoyaron y conviví toda mi carrera con ellos en especial a la raza de la banca.

A mis compañeros de tesis

Que nos apoyamos mutuamente en todo momento y trabajos como un buen equipo que gracias a ello obtuvimos un buen resultado que es nuestra tesis, muchas gracias por esa amistad y hermandad que tuvimos en el área de trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
INDICE DE CUADROS	v
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
INTRODUCCION	1
Objetivos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISION DE LITERATURA	4
Generalidades del cultivo de triticale.....	4
Tipos de triticale forrajero.....	5
Estrés abiótico.....	7
Efecto del déficit de humedad sobre los cultivos.....	14
Uso eficiente del agua.....	15
Efecto del déficit de humedad a nivel planta y nivel cultivo.....	15
Efectos visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad.....	16
Efectos no visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad.....	17
Efectos de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos.....	17
MATERIALES Y METODOS	20
Localización del sitio experimental.....	20
Desarrollo del experimento.....	20
Material genético utilizado.....	20
Preparación del terreno.....	21
Fecha de siembra.....	22
Tamaño de parcela experimental.....	22
Fertilización.....	22
Riegos.....	22
Control de plagas, enfermedades y malezas.....	23
Diseño experimental utilizado en campo.....	23
Variable registrada.....	23
Análisis estadísticos.....	23
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.....	24
Pruebas de comparación de medias.....	25

RESULTADOS	26
Resultados de los análisis de varianza de las variables estudiadas. Navidad, N.L.....	26
Resultados de las pruebas de comparación de medias.....	27
Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos por experimentos.....	28
Resultados de los análisis de varianza combinados entre experimentos.....	29
Resultados de las pruebas de comparación de medias del análisis combinado entre experimentos.....	30
Resultados de las dosis de fertilización combinado entre experimentos.....	31
Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos combinados entre experimentos.....	31
DISCUSIÓN	32
CONCLUSIONES	36
LITERATURA CITADA	37

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pág.
1	Material genético utilizado en el experimento. Ciclo 2014-2015.....	20

2	Resultados de los análisis de varianza para rendimiento de grano en Navidad 2015.....	26
3	Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización por experimento (regímenes de humedad).....	27
4	Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos por experimento.....	28
5	Resultados de los análisis de varianza combinados entre experimentos.....	29
6	Resultados de las pruebas de comparación de medias del análisis combinado entre experimentos.....	30
7	Dosis de fertilización combinado entre experimentos.....	30
8	Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos combinados entre experimentos.....	31

INDICE DE FIGURAS

Figuras		Pág.
1	Porcentaje de humedad en el suelo (%).....	32
2	Representación gráfica del rendimiento de grano (grupos por dosis de fertilización).....	34
3	Representación gráfica del rendimiento de grano (dosis de fertilización por experimento).....	35
4	Representación gráfica del rendimiento de grano (grupos por experimento).....	36

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 puede lograrse un mejor aprovechamiento de estos insumos. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de la disminución del régimen total de riego y la fertilización sobre la producción en triticales de diferente hábito de crecimiento, así como identificar los hábitos de crecimiento de triticales con mayor tolerancia al déficit de humedad y de fertilización para el rendimiento de grano. 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 (R1), el segundo a condiciones de riego restringido durante la etapa vegetativa (R2) y el tercero sin riego a partir de la floración (R3). Fueron utilizados 4 líneas de triticales primaveral, 2 facultativos, 2 intermedios-invernales y 4 invernales. El diseño experimental fue bloques completos al azar. Se determinó que el régimen de castigo de riego en la etapa vegetativa (R2), no causó efectos negativos en los rendimientos de grano sino que inclusive propició en algunos tipos de triticales el incremento de la producción. Por otra parte, la no aplicación de fertilizante nitrogenado afectó significativamente la producción del rendimiento de grano en todos los hábitos de crecimiento.

Palabras clave: triticales, patrones de producción, regímenes de humedad, dosis de fertilización.

INTRODUCCIÓN

Los pronósticos sobre la creciente población mundial y el cambio climático, que incide en un incremento en las temperaturas y una reducción en la precipitación, producirán un efecto particularmente negativo en la agricultura en muchos países en desarrollo, entre ellos, México, y particularmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país, ya que el más importante factor abiótico que limita el crecimiento de los cultivos es la disponibilidad de agua. El rendimiento es el principal índice de selección bajo condiciones de estrés de humedad. Los cereales forrajeros de invierno tienen la característica de producir alimento concentrado de proteínas e hidratos de carbono soluble y bajo contenido fibras que es poco lignificada (Bernardon *et al.*, 1978). Se ha demostrado que el triticale tiene un potencial de forraje y contenido proteico superior al de la avena, y un rendimiento de ensilaje y forraje más altos que los trigo, centeno, avena y cebadaba (*Hordeum Vulgare L.* y Varughese *et al.*, 1987; Huebner *et al.*, 2000).

El triticale presenta mayor tolerancia a factores adversos como sequía, enfermedades foliares, suelos pobres, etc., por lo que presenta mayor rendimiento de grano que otros cereales, por lo que se le considera una alternativa de producción para áreas de temporal (Rodríguez y Moreno *et al.*, 1994). A este respecto, el comportamiento relativo de los genotipos, tanto en ambientes favorables como con déficit de humedad, es el punto de partida más común en la identificación de características relacionadas con la tolerancia a

sequía y la selección de genotipos para su utilización en el mejoramiento para ambientes áridos. Tomando en cuenta las circunstancias anteriores, el potencial de las nuevas variedades forrajeras de este cultivo y las condiciones para la producción agrícola en el norte y centro de México, se requiere de especies y variedades con mayor eficiencia en la producción de grano con menores niveles de humedad y de fertilización.

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 del 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 *et al.*, 2003).

La práctica más utilizada para la aplicación de N es mediante la fertilización a la siembra; por otra parte, 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).

Se planteó la presente investigación con el objetivo general de documentar la respuesta en el rendimiento de grano de 12 genotipos de triticale agrupados

por hábito de crecimiento, bajo diferentes niveles de estrés de humedad y dosis de fertilización en la localidad de Navidad. N.L, con los siguientes objetivos específicos:

1.- Determinar el efecto del déficit de humedad a partir de la etapa reproductiva sobre el rendimiento de grano en triticales de diferente hábito de crecimiento.

2.- Identificar el o los hábitos de crecimiento de triticales con mayor tolerancia al déficit de humedad en comparación con su comportamiento en condiciones de riego normal.

3.- Determinar el efecto de la ausencia de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de grano de triticales de diferente hábito de crecimiento.

Hipótesis

A) Existe diferencia en el rendimiento de grano entre los genotipos de estudio, principalmente con respecto a su régimen de humedad y su dosis de fertilización.

B) Existe diferencia en la producción de grano entre los cuatro diferentes grupos.

C) No existe diferencia entre dosis de fertilización para la producción de grano entre los experimentos.

REVISION DE LITERATURA

Generalidades del cultivo de triticale

El triticale (*X Triticosecale* Wittmack), es un cultivo sintético que actualmente contribuye con más de 6 millones de toneladas por año a la producción mundial de cereales (Varughese *et al.*, 1996). Desde hace aproximadamente 30 años, se ha incrementado el interés en el uso del triticale como forraje a nivel mundial y nacional. Es uno de los cereales más exitosos hechos por el hombre y fue sintetizado para obtener una planta que combinara la singular calidad del grano de trigo con la tolerancia a estreses abióticos y bióticos del centeno.

Se compara con los mejores trigos en términos de su rendimiento potencial bajo condiciones favorables y con frecuencia son más productivos que muchos trigos cuando se siembran en diferentes tipos de suelos marginales (Ammar *et al.*, 2004). La selección de las variedades está en función de su hábito de crecimiento, características agronómicas y nutricionales, ya que depende de las condiciones ambientales, el manejo y el tipo de explotación. Su uso incluye la producción en monocultivo o en mezclas intraespecíficas invernales/primaverales (Baron *et al.*, 1992), en mezclas con leguminosas (Carnide *et al.*, 1998), bajo pastoreo directo (CIMMYT *et al.*, 2004), corte para verdeo o henificado (Lozano *et al.*, 1990), ensilaje (Haesaert *et al.*, 2002), y doble propósito (Wright *et al.*, 1990; Macas *et al.*, 2002). Las mezclas

intraespecíficas e interespecíficas, principalmente con leguminosas anuales, pueden mejorar la producción y/o la calidad (Baron *et al.*, 1992).

Tipos de triticale forrajero

(Lozano *et al.*, 2002), señala que por su ciclo de crecimiento, capacidad de rebrote y producción, los triticales forrajeros se clasifican como primaverales, intermedios o facultativos e invernales. Los tipos primaverales son de crecimiento rápido, y su utilización es principalmente para ensilaje y henificado, con un desarrollo y producción similar a la avena. Los tipos intermedios o facultativos son relativamente más tardíos que los primaverales, en forma general presentan una mayor relación hoja-tallo que los anteriores. Presentan además una mayor capacidad de rebrote que los primaverales, por lo que pueden ser utilizados en dos cortes para verdeo, o uno para verdeo y el segundo para henificado o ensilaje. Los tipos invernales, de ciclo tardío, son excelentes en la producción de forraje para cortes o pastoreos múltiples (3 ó 4), debido a su alta capacidad de rebrote, alta calidad nutritiva, con adecuados rendimientos de forraje seco en etapas tempranas en su desarrollo (encañe) y una mayor proporción de hojas en relación a los tallos, en comparación con los triticales facultativos, avenas y trigos.

Por otra parte, para producción de grano, (Fox *et al.*, 1990) y (Royo *et al.*, 1995), clasifican a los triticales hexaploides en sólo dos grupos principales (1)

tipos invernales, los cuales requieren vernalización para la diferenciación floral, que principalmente se han desarrollado en Europa y (2) tipos primaverales, que no tienen requerimientos de vernalización y han sido desarrollados básicamente por el CIMMYT en México. Ambos grupos son agrónomica y morfológicamente diferentes.

En promedio, los triticales primaverales llegan a la antesis aproximadamente dos semanas antes que los invernales. Este retraso en la antesis, causado por el hábito de crecimiento, no solo es responsable por una mayor temperatura media durante el llenado de grano para los genotipos invernales en comparación con los primaverales, sino también de la reducción en los días a madurez con la correspondiente disminución de la radiación interceptada y el suplemento de carbono al grano, afectando el llenado de grano y al rendimiento. De hecho, la duración en días del llenado de grano en los triticales invernales fue menor que para los primaverales debido a las altas temperaturas durante la primera semana de Junio, 10 días antes de la antesis de los invernales. De esta forma, los genotipos primaverales escapan adecuadamente al estrés terminal de sequía y alta temperatura. En trigo, la reducción en la duración del llenado de grano causada por altas temperaturas se ha estimado en 3 días por cada °C superior a los 15° (Wiegand y Cuellar *et al.*, 1981).

Estrés abiótico

La sequía es uno de los principales obstáculos para la producción de trigo bajo temporal en la región mediterránea y otras regiones geográficas similares, como el norte de México. Se ha reconocido que en estos ambientes es un difícil reto para los mejoradores lograr incrementos en el rendimiento, mientras que en ambientes favorables las ganancias en rendimiento han sido mucho mayores (Richards *et al.*, 2002). También, en ambientes mediterráneos, el estrés por altas temperaturas es un importante factor después de la antesis (Wardlaw *et al.*, 1989). El efecto más obvio de las altas temperaturas sobre el crecimiento de los cereales es la aceleración del desarrollo de la planta y la subsecuente reducción en su tamaño (Midmore *et al.*, 1984; Shpiler y Blum *et al.*, 1986). Diversos autores han reportado incrementos en la respiración (Berry y Bjorkman *et al.*, 1980); reducción en la fotosíntesis (Al-Katib y Paulsen *et al.*, 1984; Blum *et al.*, 1986; Reynolds *et al.*, 2000); inhibición de la síntesis de almidón en los granos en desarrollo (Jenner *et al.*, 1991); reducción en el número de espigas por planta, número de granos por espiga y menor peso de grano (Warrington *et al.*, 1977), y aceleración de la senescencia en las plantas (Al-Katib y Paulsen *et al.*, 1984), como resultado del estrés por calor.

Todos estos cambios morfológicos y fisiológicos resultan en reducción del rendimiento bajo condiciones de estrés por calor. En áreas semiáridas, el trigo y otros cereales, como el triticale, se siembran bajo condiciones de

temporal, donde se presentan grandes fluctuaciones en la cantidad y frecuencia de la precipitación, entre años y entre localidades dentro de años. El desarrollo de variedades resistentes se ve obstaculizado por la baja heredabilidad de la tolerancia a la sequía y a la carencia de estrategias efectivas de selección (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006). El comportamiento relativo de los genotipos, tanto en ambientes favorables como con déficits de humedad es el punto de partida más común en la identificación de características relacionadas con la tolerancia a sequía y la selección de genotipos para su utilización en el mejoramiento para ambientes áridos (Clarke *et al.*, 1992).

De acuerdo con Fernández *et al.*, 1992), los genotipos pueden dividirse en cuatro grupos basados en su respuesta de rendimiento en condiciones de estrés: (1) genotipos que producen rendimientos altos tanto en estrés hídrico como en condiciones sin estrés (grupo A); (2) genotipos con alto rendimiento bajo condiciones óptimas (grupo B) o estrés (grupo C), y (4), genotipos con bajo comportamiento bajo ambas condiciones (grupo D). Algunos autores señalan que la selección se debe hacer bajo condiciones favorables (Richards *et al.*, 1996; Van Ginkel *et al.*, 1998; Rajaram y Van Ginkel *et al.*, 2001; Betran *et al.*, 2003). Por otra parte, algunos autores recomiendan hacer la selección en localidades específicas con condiciones de estrés (Ceccarelli *et al.*, 1987; Ceccarelli y Grando *et al.*, 1991; Rathjen *et al.*, 1994). Otros autores señalan que la selección debe hacerse bajo condiciones tanto favorables como de estrés (Fischer y Maurer *et al.*, 1978; Nasir Ud-Din *et al.*, 1992; Fernández *et al.*, 1992; Byrne *et al.*, 1995; Rajaram y Van Ginkel *et al.*, 2001).

Un buen nivel de precocidad es una efectiva estrategia de mejoramiento para aumentar la estabilidad del rendimiento en ambientes áridos y semiáridos de tipo mediterráneo donde los cereales están expuestos al estrés de sequía terminal.

En estas condiciones, una menor duración del ciclo del cultivo, típica estrategia de escape, puede ser útil al sincronizar el ciclo del cultivo con las condiciones ambientales más favorables. Sin embargo, se sabe que una precocidad extrema lleva a una reducción del rendimiento, ya que la precocidad no está correlacionada con el rendimiento de grano en ambientes mediterráneos o bajo buenas condiciones de fertilidad (Cattivelli *et al.*, 1994). Por otra parte, el espigamiento y floración tardía, seguida por un período corto de llenado de grano puede estar asociado con un mayor rendimiento cuando el estrés de sequía sucede temprano en la estación, durante la fase vegetativa (Van Ginkel *et al.*, 1998).

En condiciones de sequía moderada, caracterizada por rendimientos de grano de trigo y cebada entre 2-5 Mg ha⁻¹, la selección para alto potencial de rendimiento ha llevado frecuentemente a algunas mejoras del mismo bajo condiciones de sequía (Araus *et al.*, 2002). Un aspecto crucial en todos los estudios dedicados a la tolerancia a sequía es la evaluación del grado de tolerancia de los diferentes genotipos. En muchos estudios, la identificación de variedades tolerantes y susceptibles se basa en pocas medidas fisiológicas

relacionadas con la respuesta a sequía. La dificultad para identificar un parámetro fisiológico como indicador confiable del rendimiento en condiciones de aridez sugiere que el comportamiento del rendimiento a través de un rango de ambientes debe utilizarse como el principal indicador de la tolerancia a sequía (Voltas *et al.*, 2005).

Se han propuesto varios índices para describir el comportamiento productivo de un genotipo dado bajo condiciones de estrés y no estrés o en comparación con el rendimiento promedio o el rendimiento de un genotipo superior. También, las diferentes etapas fenológicas del cultivo muestran una sensibilidad diferente al estrés por sequía. El número de florecillas fértiles o el número de granos por m², componente más relevante para asegurar mayor rendimiento bajo sequía es determinado durante el encañe, unas pocas semanas antes de la antesis (Slafer y Whitechurch *et al.*, 2001). También la meiosis, antesis, y la fertilidad femenina y masculina son extremadamente susceptibles al estrés de sequía y su falla afecta directamente el número de granos, llevando a una significativa reducción del rendimiento.

En muchas regiones donde se siembran cereales de invierno, y especialmente bajo condiciones mediterráneas, el período de llenado de grano sufre varios tipos de estrés, impuestos principalmente por altas temperaturas y limitado suplemento de agua. Consecuentemente, ocurren importantes reducciones del rendimiento debido a estos factores. La coincidencia del desarrollo con condiciones climáticas favorables son importantes para optimizar

el rendimiento (Perry *et al.*, 1987; Ludlow y Muchow *et al.*, 1989). Se requiere un profundo conocimiento de los procesos fisiológicos que determinan la adaptación a la sequía y su interacción con los ambientes para proporcionar a los mejoradores criterios de selección adecuados para mejorar la eficiencia de la selección en sus cultivos, en este caso, cereales (Van Oosterom *et al.*, 2001; Richards *et al.*, 2002).

El estrés por sequía durante el llenado de grano reduce dramáticamente el rendimiento de trigo (Ehdaie y Shakiba *et al.*, 1996). El mejoramiento para resistencia a sequía es complicado, por la carencia de técnicas rápidas y reproducibles y la incapacidad de crear rutinariamente condiciones de estrés hídrico constantes y repetibles cuando se pretende evaluar eficientemente una gran cantidad de genotipos (Ramírez y Kelly *et al.*, 1998).

El logro de ganancia genética para rendimiento bajo estas condiciones ha sido un difícil reto para los mejoradores, en tanto que el progreso ha sido mucho mayor en ambientes favorables (Richards *et al.*, 2002). (Sio-Se Mardeh *et al.*, 2006), encontraron que el rendimiento de grano bajo riego estuvo inversamente relacionado con el rendimiento bajo temporal, sugiriendo que un alto potencial de rendimiento bajo condiciones óptimas no resulta necesariamente en un mayor rendimiento bajo sequía. Así, la selección indirecta para ambientes desfavorables basada en los resultados bajo condiciones óptimas no será eficiente. También, (Bruckner y Frohberg *et al.*, 1987) y (Ceccarelli y Grando *et al.*, 1991), concuerdan con lo anterior, al

reportar que variedades criollas de cebada y trigo con bajo potencial de rendimiento fueron más productivas bajo sequía.

La ausencia de respuesta a mejores condiciones puede estar relacionada con la falta de adaptación a condiciones de alta humedad (Clarke *et al.*, 1992). (Trethowan *et al.*, 2002), reporta que la selección alternada en ambientes contrastantes resultó en un significativo progreso en el desarrollo de germoplasma de trigo adaptado globalmente a regiones áridas. Diversos estudios indican que una altura de planta intermedia puede ser conveniente bajo sequía terminal (Fischer y Maurer *et al.*, 1978; Richards *et al.*, 1996; Van Ginkel *et al.*, 1998). Este último autor también encontró que muchos granos por espiga fueron importantes para un alto rendimiento sólo bajo riego, y negativamente correlacionado bajo condiciones de sequía terminal. El efecto del estrés de sequía sobre el crecimiento y fenología de los cereales depende de su sincronización con alguna etapa fenológica (Slayter *et al.*, 1973; Hochman *et al.*, 1982), y de su intensidad y duración (Boyer *et al.*, 1971; Simane *et al.*, 1993; Lilley y Fukai *et al.*, 1994; Giunta *et al.*, 1995; Blum *et al.*, 1996; El Hafid *et al.*, 1998).

Se han propuesto un mayor vigor y rápida cobertura como importantes características relacionadas con una mayor eficiencia en el uso del agua y la tolerancia a la sequía temprana (Rebetzke y Richards *et al.*, 1999; Royo *et al.*, 2000), en tanto que la floración y madurez precoz juegan un papel importante en el escape a la sequía terminal en ambientes de temporal. Recientes estudios

de (Fischer y Edmeades *et al.*, 2010) y (Reynolds *et al.*, 2010) confirman que el progreso a nivel global está todavía asociado estrechamente a un mayor número de granos por unidad de área. En trigo, el déficit hídrico durante la meiosis de las células madre del polen induce androesterilidad, y puede reducir el número de granos hasta en un 40-50%. La fertilidad femenina no es afectada por déficits hídricos durante este período (Saini y Aspinall *et al.*, 1981).

El estado hídrico de la planta y la transpiración juegan un papel importante en el control de la temperatura cuando se desarrolla el estrés (Blum *et al.*, 1988; Reynolds *et al.*, 1994; Amani *et al.*, 1996). (Blum *et al.*, 1980) y (Heinrich *et al.*, 1983), mencionan que la estabilidad del rendimiento de grano es una medida de la variación entre el rendimiento potencial y el actual de un genotipo a través de diferentes ambientes, y puede resultar de uno o más de los siguientes factores: heterogeneidad genética, compensación de los componentes de rendimiento, tolerancia al estrés, capacidad de recuperación rápida después del estrés, o una combinación de estos factores. También, (Blum *et al.*, 1980), reportó que si la disponibilidad de agua o la temperatura son variables importantes entre los sitios de prueba, un cultivar estable puede poseer mecanismos de tolerancia al estrés que previenen una reducción excesiva del rendimiento de grano en los ambientes desfavorables. En resumen, el rendimiento en un ambiente de estrés depende del rendimiento potencial, susceptibilidad al estrés y escape del mismo (Fischer y Maurer *et al.*, 1978).

El rendimiento de grano en los cereales puede ser afectado por los niveles de fertilización, estrés de humedad, temperatura y la variedad o hábito de crecimiento (Idso *et al.*, 1980; Seligman *et al.*, 1983; Johnson y Kanemasu *et al.*, 1983; Baret y Guyot *et al.*, 1986; Frederick y Camberato *et al.*, 1995).

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

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 *et al.*, 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 los 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.

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 *et al.*, 1974; Grzesiak *et al.*, 2007; Boyer *et al.*, 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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 *et al.*, 1981; Trapani y Gentinetta *et al.*, 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

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 *et al.*, 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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 *et al.*, 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).

MATERIALES Y MÉTODOS

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

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).

Material genético utilizado

En el Cuadro 1 se presenta la lista de los 12 genotipos utilizados en los experimentos, de los cuales 4 fueron líneas experimentales de triticale con hábito de crecimiento primaveral, 2 del tipo facultativo, 2 del tipo intermedio-invernal y 4 de hábito invernal, que fueron proporcionados por el proyecto Triticale 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 aspersión; 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 (40cm 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.

Variable registrada

Se evaluó el rendimiento de grano cosechando 2 m lineales de surcos con competencia completa (0.3 m²) y posteriormente se transformaron los datos a t ha⁻¹.

Análisis estadísticos

Se efectuaron análisis de varianza por experimento.

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 la 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 -ésimo experimento.

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

G_l = Efecto del k -ésimo grupo.

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

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

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

$E_j G_l$ = Efecto de la interacción del k -ésimo grupo en el l -ésimo experimento

E_{ijk} = Error experimental.

Pruebas de comparación de medias

Se realizaron pruebas de comparación de medias para la variable estudiada, entre regímenes y grupos, utilizando la prueba de Tukey al nivel de probabilidad registrada en el correspondiente análisis de varianza.

Se calculó el coeficiente de variación para la variable estudiada, esto con la finalidad de verificar el grado de precisión con la que se realizó el experimento utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

$CMEE$ = Cuadrado medio del error experimental.

X = Media general.

Tanto los análisis de varianza como las pruebas de comparación de medias se realizaron con el paquete estadístico SAS 8.

RESULTADOS

Resultados de los análisis de varianza de la variable estudiadas. Navidad, N.L.

EXPERIMENTO 1

En este experimento, el cual correspondió al régimen de humedad R1 (riego normal), el análisis de varianza (Cuadro 2), registró diferencias altamente significativas entre dosis de fertilización, grupos, variedades dentro de grupos y la interacción DF x Grupos, con un coeficiente de variación de 12.3%.

EXPERIMENTO 2

En este experimento, el cual corresponde al régimen de humedad R2 (riego castigado en la etapa de desarrollo vegetativo), el análisis de varianza (Cuadro2) registró diferencia estadística significativa en las repeticiones y altamente significativa en dosis de fertilización, grupos, variedades dentro de grupos y la interacción DF x Grupos, con un coeficiente de variación de 13.8%.

EXPERIMENTO 3

En este experimento, el cual corresponde al régimen de humedad R3 (riego de castigo en la etapa de floración) el análisis de varianza (Cuadro 2) se registraron diferencias estadísticas altamente significativa entre las dosis de fertilización, grupos, variedades dentro de grupos y diferencia significativa en la interacción DF x Grupo, con un coeficiente de variación de 10.2%.

EXPERIMENTO 1			EXPERIMENTO 2			EXPERIMENTO 3		
FV	GL	CM	FV	GL	CM	FV	GL	CM
REP	2	0.121 ns	REP	2	0.507 *	REP	2	0.080 ns
DF	1	25.045 **	DF	1	8.725 **	DF	1	9.802 **
GRUPOS	3	4.448 **	GRUPOS	3	2.708 **	GRUPOS	3	1.144 **
VAR(GPO)	8	1.147 **	VAR(GPO)	8	1.355 **	VAR(GPO)	8	0.566 **
DF*GPO	3	0.435 **	DF*GPO	3	2.451 **	DF*GPO	3	0.333 *
ERROR	54	0.095	ERROR	54	0.152	ERROR	54	0.072
TOTAL	71		TOTAL	71		TOTAL	71	
Xgeneral	2.504		Xgeneral	2.815		Xgeneral	2.616	
CV (%)	12.3		CV (%)	13.8		CV (%)	10.2	

Cuadro 2. Resultados de los análisis de varianza para rendimiento de grano en Navidad 2015.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN-EXPERIMENTO 1

Se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias (Cuadro 3) entre dosis de fertilización para rendimiento de grano, en donde se observa que el experimento con aplicación de nitrógeno registró una diferencia 61.6 % > al no fertilizado.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN-EXPERIMENTO 2

Se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias (Cuadro 3) entre dosis de fertilización para rendimiento de grano, en donde se observa que el experimento con aplicación de nitrógeno registró una diferencia 28.2 % > al no fertilizado.

DOSIS DE FERTILIZACIÓN-EXPERIMENTO 3

Se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias (Cuadro 3) entre dosis de fertilización para rendimiento de grano, en donde se observa que el experimento con aplicación de nitrógeno registró una diferencia 32.8 % > al no fertilizado.

EXPERIMENTO 1		EXPERIMENTO 2		EXPERIMENTO 3	
DF	Significancia	DF	Significancia	DF	Significancia
1	3.094 a	1	3.163 a	1	2.985 a
2	1.914 b	2	2.467 b	2	2.247 b
DMS	0.146	DMS	0.184	DMS	0.127

Cuadro 3. Resultados de las pruebas de comparación de medias entre dosis de fertilización por experimento (régimenes de humedad).

GRUPOS-EXPERIMENTO 1

En este experimento se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales (Cuadro 4) donde se observa que los genotipos del grupo 2 (facultativos) registraron mayor rendimiento de grano que el grupo 4 (invernales), mayor en un 50.3 %.

GRUPOS-EXPERIMENTO 2

En este experimento se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales (Cuadro 4) donde se observa

que los genotipos del grupo 1 registraron mayor rendimiento de grano que el grupo 3, siendo mayor en un 29.8 % .

GRUPOS-EXPERIMENTO 3

En este experimento se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales (Cuadro 4) donde se observa que los genotipos del grupo 1 registraron mayor rendimiento de grano que el grupo 4, mayor en un 20.8 % .

EXPERIMENTO 1		EXPERIMENTO 2		EXPERIMENTO 3	
GRUPO	Significancia	GRUPO	Significancia	GRUPO	Significancia
1	2.850 a	1	3.284 a	1	2.830 a
2	3.080 a	2	2.694 b	2	2.811 a
3	2.149 b	3	2.530 b	3	2.541 b
4	2.048 b	4	2.550 b	4	2.341 b
DMS	0.290	DMS	0.365	DMS	0.252

Cuadro 4. Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos por experimento.

COMBINADO ENTRE EXPERIMENTOS

El análisis de varianza combinado entre experimentos (Cuadro 5) registró diferencias altamente significativa entre experimentos, dosis de fertilización, grupos, variedades dentro grupos, y las interacciones DF x Grupos, Experimentos x DF y Experimentos x Grupos, con un coeficiente de variación de 15.2%.

ANALISIS COMBINADO ENTRE EXPERIMENTOS		
FV	GL	CUADRADOS MEDIOS
EXP	2	1.788 **
REP (EXP)	6	0.236 ns
DF	1	40.991 **
GRUPOS	3	6.710 **
VAR(GPO)	8	1.954 **
DF*GPO	3	1.989 **
EXP*DF	2	1.291 **
EXP*GPO	6	0.795 **
ERROR	184	
TOTAL	215	
Xgeneral	2.645	
CV (%)	15.2	

Cuadro 5. Resultados de los análisis de varianza combinados entre experimentos.

Se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias del análisis combinado entre experimentos (Cuadro 6) donde se observa que el experimento 2 (castigo de irrigación en etapa vegetativa), registró en promedio un mayor rendimiento de grano que el experimento 1 (riego normal), (>12.4 %), y un 7.6 % mayor que el experimento 3 (castigo de riego en etapa reproductiva).

ANALISIS COMBINADO ENTRE EXPERIMENTOS		
EXPERIMENTO 1	EXPERIMENTO 2	EXPERIMENTO 3
2.504 b	2.815 a	2.616 b

Cuadro 6. Resultados de las pruebas de comparación de medias del análisis combinado entre experimentos.

En el Cuadro 7 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización del análisis combinado entre experimentos para rendimiento de grano, en donde se observa que la dosis de fertilización 1 (con aplicación de nitrógeno), registró un rendimiento 39.4 % mayor que los tratamientos no fertilizados.

ANALISIS COMBINADO ENTRE EXPERIMENTOS	
DF	Significancia
1	3.081 a
2	2.209 b
DMS	0.108

Cuadro 7. Dosis de fertilización combinado entre experimentos.

En el Cuadro 8 se muestran los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales del análisis combinado entre experimentos, donde se observa que los genotipos del grupo 1 (primaverales), registraron mayor rendimiento de grano que el grupo 4 (invernales), (29.1 % mayor).

ANALISIS COMBINADO ENTRE EXPERIMENTOS	
GRUPO	Significancia
1	2.988 a
2	2.862 a
3	2.407 b
4	2.313 b
DMS	0.213

Cuadro 8. Resultados de las pruebas de comparación de medias de grupos combinados entre experimento.

DISCUSION

De manera general, los resultados de los análisis de varianza de la variable rendimiento de grano registró diferencias altamente significativas entre los diferentes grupos dentro de los experimentos; las diferencias entre los regímenes de humedad iniciaron desde los primeros muestreos, ejemplificado por la Figura 1 que muestra las diferencias de humedad en el suelo que se iniciaron desde las primeras etapas de desarrollo, (Figura 1). En este estudio, el rendimiento de grano no fue afectado por el castigo de riego en etapa vegetativa (régimen de humedad 2), por lo que es posible lograr rendimientos adecuados de grano cuando el déficit de humedad se presenta en la etapa vegetativa.

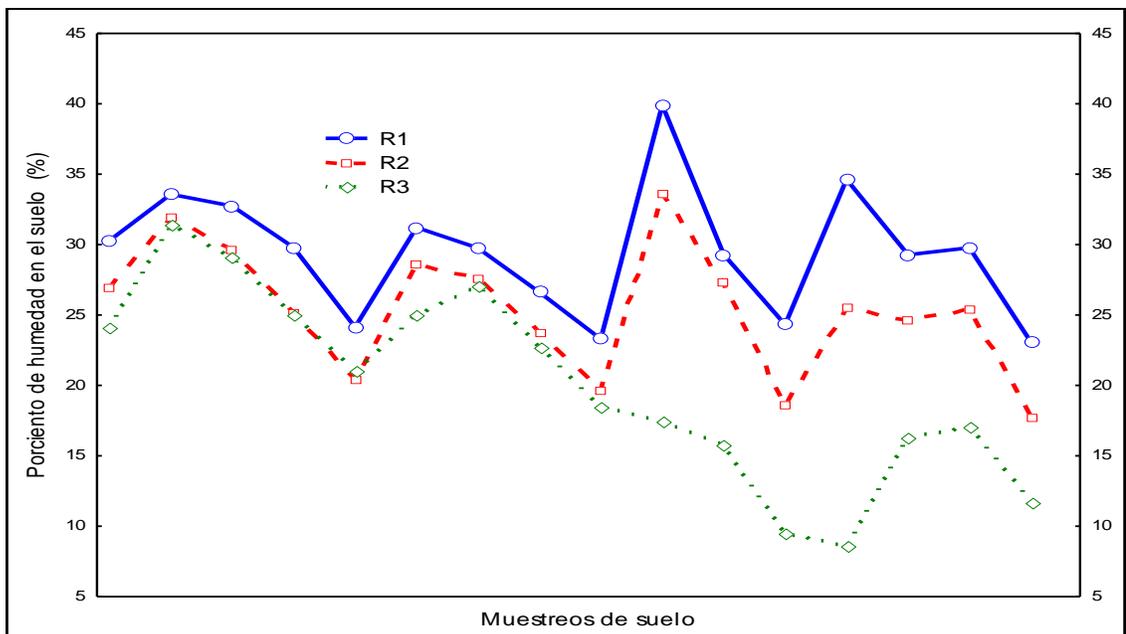


Figura 1. Porcentaje de humedad en el suelo (%) durante el período del experimento.

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 disminuyendo al final del ciclo.

La Figura 2 muestra el rendimiento de grano de los grupos de triticales en cada una de las dosis de fertilización donde la aplicación de nitrógeno (N) reportó diferencias significativas entre los grupos de genotipos primaverales y facultativos (grupos 1 y 2), los cuales registraron mayor rendimiento de grano que los genotipos intermedios-invernales e invernales. Lo anterior concuerda con lo mencionado por Kichey *et. al.*, 2007, quienes consideran que el nitrógeno (N), es el principal factor limitante en la producción agrícola. Por lo tanto, los genotipos intermedios-invernales e invernales (grupos 3 y 4) se considera que tiene un menor potencial de grano que los tipos más precoces (Lozano, 2002).

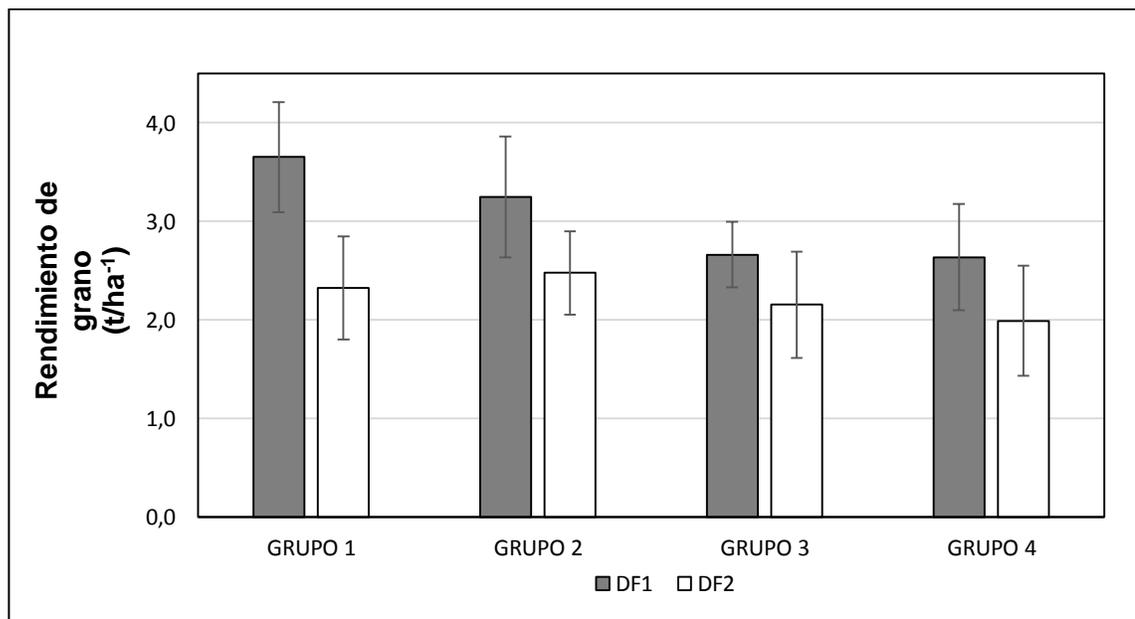


Figura 2. Representación gráfica del rendimiento de grano (grupos por dosis de fertilización).

La Figura 3 muestra el rendimiento de grano por dosis de fertilización dentro de cada experimento, donde la dosis de fertilización nitrogenada (N) reportó significativamente un mayor rendimiento de grano, independientemente de los regímenes de humedad, concordando con lo mencionado por Kichey *et. al.*, 2007).

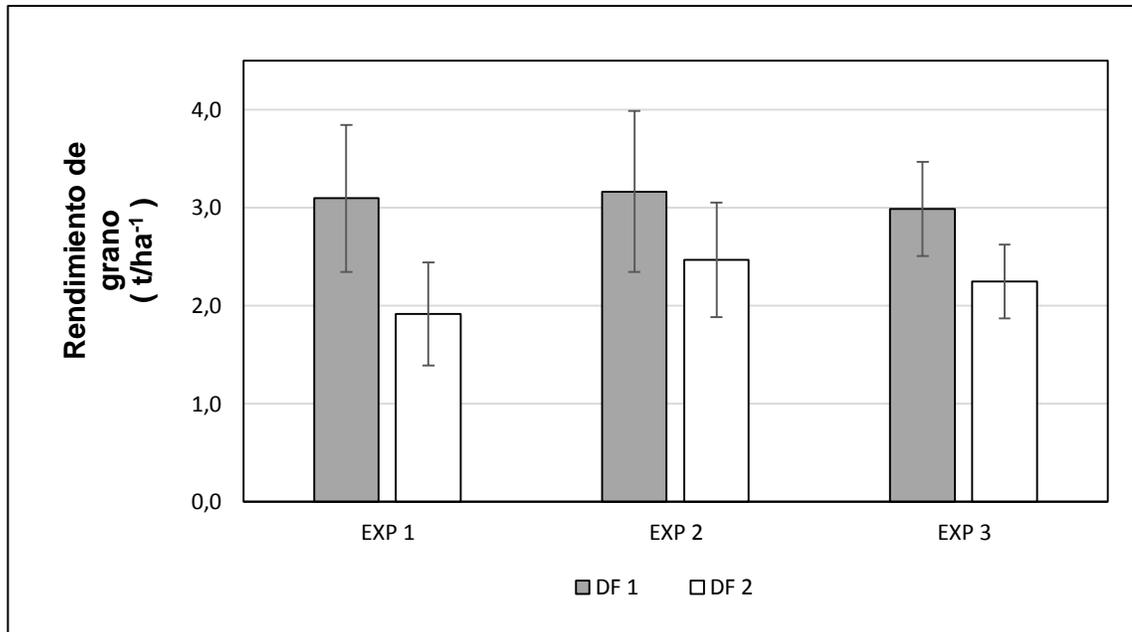


Figura 3. Representación gráfica del rendimiento de grano (dosis de fertilización por experimento).

La Figura 4 muestra el rendimiento de grano de los 4 grupos de triticales a través de los experimentos donde se observa diferencia significativa entre los grupos de genotipos primaverales y facultativos (grupos 1 y 2), que tienen mayor rendimiento de grano que los genotipos intermedios-invernales e invernales, concordando con lo reportado por Fox *et al* (1990) y Royo *et al* (1995).

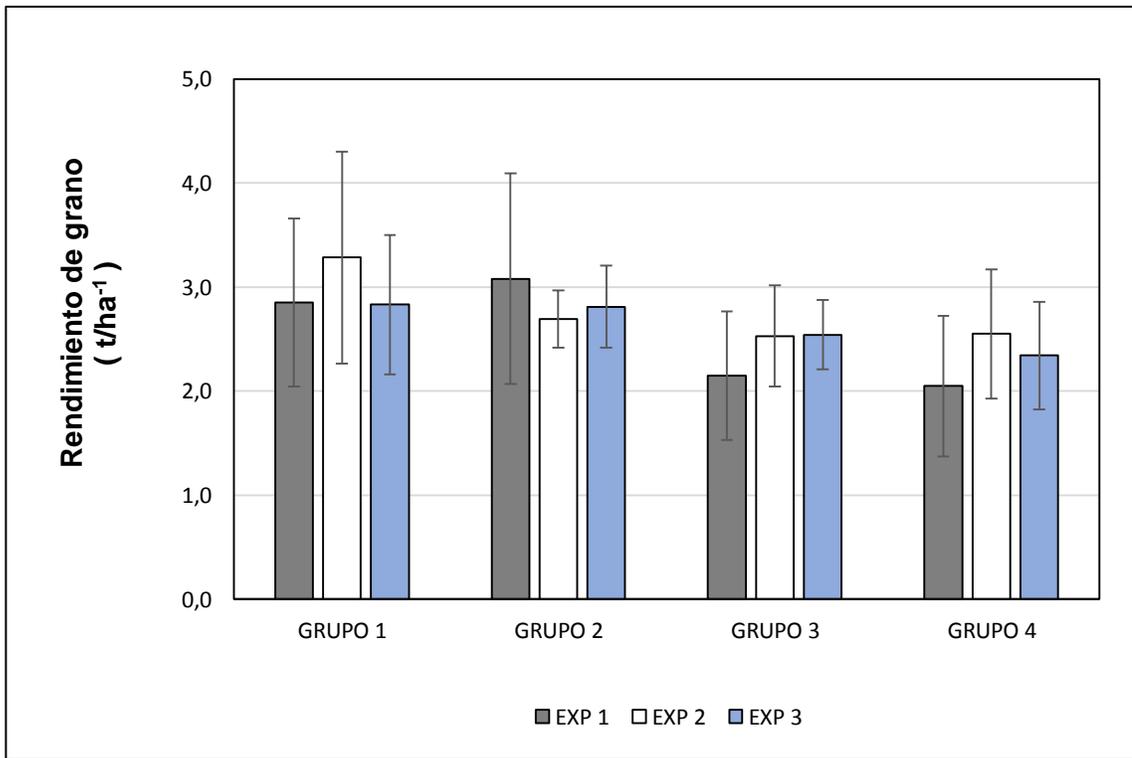


Figura 4. Representación gráfica del rendimiento de grano (grupos por experimento).

CONCLUSIONES

- Los genotipos de hábito primaveral registraron un mayor rendimiento de grano bajo condiciones de estrés de humedad en comparación con el resto de los tratamientos, debido posiblemente a que escaparon de los efectos de la sequía terminal
- En general, los genotipos con aplicación de fertilización registraron un mayor rendimiento de grano bajo cualquiera de los regímenes de humedad, en comparación con los no fertilizados.
- Los experimentos documentaron eficientemente la respuesta en el rendimiento de grano de los diferentes hábitos de crecimiento a los regímenes de humedad y la fertilización, proporcionando información útil en la producción de semilla de los diferentes materiales forrajeros evaluados en este estudio.

LITERATURA CITADA

- Amani, I., Fischer, R.A., Reynolds, M.P., 1996. Canopy temperature depression association with yield of irrigated spring wheat cultivars in a hot climate. *J. Agron. Crop Sci.* 176: 119-129.
- Araus JL, Bort J, Brown RH, Bassett CL, Cortadellas N. 1993. Immunocytochemical localization of phosphoenolpyruvate carboxylase and photosynthetic gas-exchange characteristics in ears of *Triticum durum* Desf. *Planta.* 191(4):507-514.
- Baret, F., and G. Guyot. 1986. Monitoring the ripening period of wheat canopies using visible and near infra red radiometry. *Agronomie* 6:509-516.
- Blum,A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. *Plant Growth Regul.* 20:135-148.
- Boyer, J., 1971. Recovery of photosynthesis in sunflower after a period of low leaf water potential. *Plant Physiol.* 47, 816-820.
- Bruckner, L. P., and R. C. Froberg. 1987. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Crop Sci.*27: 31-36.
- Byrne, P.F., Bolaños, J., Edmeades, G.O., Eaton, D.L. 1995. Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. *Crop Sci.* 35: 63-69.
- Cabeza, C., A. Kin and J.F. Ledent. 1993. Effect of water shortage on main shoot development and tillering of common and spelt wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 170 (4):243-250.
- 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.
- Ceccarelli, S. 1987. Yield potential and drought tolerance of segregating populations of barley in contrasting environments. *Euphytica* 40: 197-205.
- 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.

- Ehdaie, B., M.R. Shakiba. 1996. Relationship of internode-specific weight and water-soluble carbohydrates in wheat. *Euphytica*, 99: 127-136.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. In: Kuo C.G. (Ed), *Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress*. Publication, Tainan, Taiwan.
- Grzesiak, M.T., A. Rzepka, T. Hura, K. Hura and A. Skoczowski. 2007. Changes in response to drought stress of triticale and maize genotypes differing in drought tolerance. 2007. *Photosynthetica* 45(2):280-287.
- 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.
- Hochman, Z. 1982. Effect of water stress with phasic development on yield of wheat grown in a semi-arid environment. *Field Crops Res.* 5: 55-67.
- 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.
- Lelley, T. 2006. Triticale: A low-input cereal with untapped potential. In: Singh, R. J. Jauhar, P.P (eds.) *Genetic Resources Chromosome Engineering and Crop Improvement*. Vol.2: Cereals. Boca Raton (FL): CRC Press, Taylor Francis Group, FL. Pp. 395-430.
- Lobell, D.B., Burke, M.B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., and Naylor, R.L. 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Nature* 319: 607-610.
- 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. Midmore, D.J., Cartwright, P.M., Fischer, R.A., 1984. Wheat in tropical environments. II. Growth and grain yield. Field Crops Res. 8: 207-227.
- 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.
- Morgan, J.M. 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 35: 299-319.
- 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.
- Nasir Ud-Din, Carver, B.F., Clutte, A.C. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. Euphytica 62: 89-96.
- 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.
- Royo, C., Soler, C., Romagosa, I. 1995. Agronomical and morphological differentiation among winter and spring triticales. Plant Breeding 114: 413-416.
- Purcell, L.C., y Currey, A. 2003. Gaining acceptance of water use efficiency framework, terms and definitions. Land Water Australia, Canberra.

- 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.
- Slatyer, R.O. 1973. The effect of internal water status on plant growth, development and yield. *In*: Slatyer, R.O.(Ed.), UNESCO Proceedings of the Uppsala Symposium. Plant response to climatic factors, Paris, France, pp. 177-188.
- Trapani, N., Gentinetta, E. 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance tests. *Maydica* 29:89-100.
- 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.
- The World Bank. 2007. World Development Report 2008. Agriculture For Development. Washington.
- Van Ginkel, M., Calhoun, D.S., Gebeyehu, G., Miranda, A., Tian-you, C., Pargas Lara, R., Trethowan, R. M., Sayre, K., Crossa, L., Rajaram, S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica* 100: 109-121.