

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Producción de Biomasa de Genotipos de Triticale bajo Condiciones de
Humedad Óptima y Restringida en la Región Lagunera

Por:

JOSE LUIS LÓPEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción de Biomasa de Genotipos de Triticale Bajo Condiciones de
Humedad Óptima y Restringida en la Región Lagunera

Por

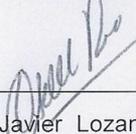
JOSÉ LUIS LÓPEZ LÓPEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



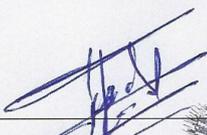
Dr. Alejandro Javier Lozano del Río
Asesor Principal



Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos
Coasesor



M.C. Modesto Colín Rico
Coasesor



Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México.
Diciembre de 2015

DEDICATORIA

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

A mis padres: Rafael López Juárez y Esther López Aparicio, por creer en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega. En gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis familiares, hermanos, tíos, primos, abuelos, amigos, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la honorable y muy respetada **ALMA MATER**, por haberme albergado durante cuatro años y medio, y porque en sus aulas recibí las más gratas enseñanzas que nunca olvidare. Por haberme formado como Ingeniero Agrónomo.

Al Dr. Alejandro Javier Lozano del Río. Por su asesoría, sus consejos y su amistad brindada durante el tiempo que se tomó para dicha investigación. Por haberme permitido trabajar en su área de trabajo y dejarme realizar y formar parte de esta investigación

Al Dr. Carlos Javier Lozano Cavazos. Por apoyarnos a la realización de esta investigación por sus consejos y su amistad, y por haber aceptado ser parte del jurado calificador.

Al MC. Modesto Colín Rico. Por ofrecerme su amistad, por haber aceptado ser parte del jurado calificador.

A todas aquellas personas que de una u otra manera me han dejado conocimiento, gracias por darme una luz de pensamiento y enseñarme, a no cometer los mismos errores, a corregir el cambio y a contribuir en mi desarrollo como un buen profesionalista.

A mis compañeros y amigos con quienes compartí alegrías y tristezas y por su comprensión y apoyo cuando más lo necesitaba.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción	2
2. Objetivos	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3. Hipótesis.....	5
4. Revisión de literatura.....	6
4.1 Generalidades.....	6
4.2 El triticale como opción forrajera.....	7
4.3 Tipos de triticale.....	8
4.4 Uso eficiente del agua.....	9
4.5 Efecto del déficit de humedad sobre los cultivos.....	10
4.6 Efecto del déficit de humedad a nivel planta y nivel cultivo.....	11
4.7 Efectos visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad.....	12
4.8 Efectos no visibles en las plantas en respuesta a déficits de humedad...	12
4.9 Acumulación de biomasa.....	13
5. Materiales y métodos.....	15
5.1 Localización de los sitios experimentales.....	15
5.1.1 Rancho El Campanario.....	15
5.1.2 Clima.....	15
5.1.3 Características del suelo.....	16
5.2 Desarrollo del experimento.....	16

5.2.1 Material genético utilizado.....	16
5.2.2 Preparación del terreno.....	17
5.2.3 Fechas de siembra.....	17
5.2.4 Fertilización.....	18
5.2.5 Riegos.....	18
5.2.6 Control de plagas, enfermedades y malezas.....	18
5.2.7 Muestreos.....	18
5.2.8 Tamaño de parcela experimental.....	19
5.2.9 Obtención de muestras de suelo.....	19
5.2.10 Tasa de acumulación de materia seca.....	20
5.2.11 Eficiencia en el uso del agua.....	20
5.2.12 Variables registradas.....	20
5.2.13 Análisis estadísticos.....	21
5.2.14 Modelo estadístico por muestreo para las variables en estudio.....	21
5.2.15 Pruebas de comparación de medias.....	23
6. Resultados.....	24
6.1 Evaluación a través de muestreos sucesivos: El Campanario.....	24
6.2 Muestreos.....	24
6.3 Tasa de asimilación y eficiencia en el uso del agua.....	29
6.4 Muestreos.....	29
7. Discusión.....	34
8. Conclusiones.....	52
9. Literatura citada.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

1. Lista de genotipos utilizados en Rancho El Campanario.....	16
2. Resultados de los análisis de varianza por muestreo.....	26
3. Resultados de la prueba de comparación de medias entre regímenes de las variedades evaluadas en los cuatro muestreos.....	27
4. Resultados de la prueba de comparación de medias entre los grupos de las variedades evaluadas en los cuatro muestreos.....	28
5. Resultados de los análisis de varianza de la tasa de acumulación de materia seca y la eficiencia en el uso del agua. El Campanario.....	31
6. Resultados de la prueba de comparación de medias entre regímenes para TFSS, TFST, EUAFSS y EUAFST. El Campanario.....	32
7. Resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos para TFSS, TFST, EUAFSS y EUAFST. El Campanario.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Contenido de humedad del suelo (%) por régimen de riego en cada uno de los muestreos de biomasa. El Campanario 2013-2014.....	35
2. Altura promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario...	36
3. Etapa promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario...	38
4. Producción de forraje verde promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario.....	39
5. Producción de forraje seco foliar promedio de los grupos en los dos regímenes.....	39
6. Producción de forraje seco total promedio de los grupos en los dos regímenes.....	40
7. Forraje seco foliar acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen uno.....	41
8. Forraje seco foliar acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen dos.....	42
9. Forraje seco total acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen uno.....	43
10. Forraje seco total acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen dos.....	44
11. Forraje seco final observado entre regímenes de riego y grupos en El Campanario.....	45
12. Tasa de acumulación de material seca entre regímenes de riego y grupos en El Campanario.....	46

13. Eficiencia del uso del agua para forraje seco foliar.....	48
14. Eficiencia en el uso del agua entre regímenes de riego y grupos....	48
15. Patrones estimados de cambio en el peso seco del cultivo de riego óptimo.....	50
16. Patrones estimados de cambio en el peso seco del cultivo de riego sub-óptimo.	51
Correo electrónico; Jose Luis Lopez Lopez, luix7.ex@hotmail.com	

RESUMEN

Palabras clave: Triticale forrajero, niveles de irrigación, patrones de producción, producción de biomasa.

La escasez de agua (de riego y lluvia) en el norte de México se ha convertido en el principal factor limitante para la producción de forraje en la industria láctea, ya que los agricultores están obligados a producir más forraje con menos agua para mantener la demanda de la producción y la viabilidad financiera. La adecuada selección de especies, cultivares o hábitos de crecimiento de forrajes anuales mejor adaptadas a las condiciones ambientales imperantes debería llevar a una mayor eficiencia de los recursos hídricos. Este estudio se realizó para analizar el patrón de acumulación de biomasa y eficiencia en el uso del agua en variedades de triticale, avena y trigo, bajo regímenes de irrigación óptimo (100%) y sub-óptimo (83%), Matamoros, Coahuila, durante el ciclo otoño-invierno 2013-2014. Los genotipos se agruparon por su hábito de crecimiento. Se realizaron cuatro muestreos destructivos a través del ciclo. En cada evento, se registró el peso seco del cultivo (CDW), la tasa de acumulación de materia seca, y la eficiencia en el uso del agua (EUA). El ANOVA para CDW no demostró diferencias entre los regímenes de riego; sin embargo, los efectos de grupo fueron significativos en los dos experimentos ($P < 0,01$).

1. INTRODUCCIÓN

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). Es necesario generar estrategias a corto y a largo plazo para conservar el recurso hidráulico y además propiciar la recarga acuífera, tales como la utilización de cultivos que maximicen su producción con menores niveles hídricos (Magaña *et al.*, 2004).

La ganadería en México, ocupa el 58% de la superficie del país, donde se siembran más de 556 mil hectáreas con forrajes de riego, siendo la alfalfa en 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, tal es el caso de la Comarca Lagunera. Esta zona constituye la principal cuenca lechera del país, por lo que existe una alta demanda de forraje de calidad. Es precisamente la producción de forrajes el rubro donde hay más posibilidad de reducir costos, mediante el uso de especies más productivas y de mayor calidad (Orona *et al.*, 2003). Esta

es la razón por la cual se requiere fomentar el desarrollo de cultivos alternativos que se adapten a las condiciones del medio natural además de desarrollar nuevas estrategias de riego para lograr un mejor aprovechamiento del recurso escaso: agua (Reta *et al.*, 2010).

Un aspecto importante documentado en la Comarca Lagunera es el hecho de que los volúmenes de agua aplicados a los cultivos exceden a sus requerimientos. Entre los cultivos de más baja eficiencia de uso del agua destaca la alfalfa, ya que el volumen anual de agua aplicado al cultivo es de 2919 mm, cuando sólo se necesitan 1850 mm para completar un ciclo anual de producción. Esta situación también se presenta en nogal, en el cual el uso de agua excede a los requerimientos en 33% (Levine *et al.*, 1998; Fortis-Hernández *et al.*, 2002).

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).

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Determinar el efecto de la disminución de la lámina total de riego sobre la producción de biomasa de triticales de diferente hábito de crecimiento, además de avena y trigo.
- 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.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Conocer el efecto del régimen de humedad en los diferentes hábitos de crecimiento de triticales a través de muestreos sucesivos a través del ciclo además de su evaluación bajo cortes sucesivos bajo las condiciones arriba mencionadas.
- b) Documentar el comportamiento de los tipos de triticales en comparación de los testigos avena y trigo.
- c) Estimar la tasa de acumulación de materia seca de cada tipo de triticales.

d) Estimar la eficiencia en el uso del agua (EUA) de los diferentes hábitos de crecimiento y sus testigos avena y trigo.

3. HIPÓTESIS

a) No existe diferencia en la producción entre ambos regímenes de humedad.

b) No existe diferencia en la producción entre los seis diferentes grupos.

c) No existe diferencia en la tasa de acumulación de materia seca entre los tipos evaluados.

d) No existen diferencias en la eficiencia en el uso del agua entre los tipos evaluados.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Generalidades

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 (Nealet *et al.*, 2010; Rodrigo *et al.*, 2010).

Para que las granjas lecheras sigan siendo viables, es necesario crear estrategias para mejorar la eficiencia del uso del agua del riego y de lluvia (Nealet *et al.*, 2010). El criterio de uso eficiente del agua en los forrajes está comenzando a ser muy importante 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, costo y riesgos de producción (Neal *et al.*, 2010). 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 (Santiveriet *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 (Nealet *al.*, 2010).

4.2 El triticale como opción forrajera

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

El triticale es un nuevo cultivo resultado de la cruce del centeno y el trigo; el objetivo en el mejoramiento de este nuevo cereal fue combinar las características deseables de las dos especies; alta productividad, adecuada resistencia a enfermedades y plagas, tolerancia al estrés, alta capacidad de absorción de nutrientes, tolerancia a déficits de humedad, 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; Ozkanet *al.*, 1999; Ye *et al.*, 2001). De esta forma, el triticale es uno de los cultivos que por sus características antes

mencionadas adquiere gran importancia como una alternativa para ayudar a solucionar el déficit de alimentos (NRC, 1989).

Es un cultivo relativamente nuevo en México, del cual se estima que se cultivan alrededor de 8,000 hectáreas, en su mayoría para producción de grano, principalmente en los estados de Michoacán, Nuevo León, Puebla, Jalisco, México, Tlaxcala y Sonora, y más recientemente, y para uso forrajero, en los estados de Chihuahua, Coahuila y la Región Lagunera, donde se reportan superficies mayores a las 5000 has sólo en esta última región, ya que ha demostrado ser una especie que compite efectivamente con la avena, ballico, trigo, centeno y cebada en la producción de forraje durante la época invernal (Ye *et al.*, 2001).

4.3 Tipos de triticale

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

Existen varios hábitos de crecimiento en este cultivo, generalmente agrupados en primaverales, invernales y facultativos (Lozano del Río, 2002), Anónimo, 1989). Los triticales de hábito primaveral se caracterizan por su

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

4.4 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 (Nealet *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 (Nealet *et al.*, 2010).

4.5 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 (Arauset *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; Arauset *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).

4.6 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.

4.7 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).

4.8 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).

4.9 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).

5. MATERIALES Y METODOS

5.1 Localización del Sitio Experimental

La presente investigación se realizó en el Rancho El Campanario, ubicado en el municipio de Matamoros en la Comarca Lagunera. Se sembraron dos juegos del experimento, con el objetivo de someter uno de los experimentos bajo condiciones de riego normal (60 cm de lámina total) y el segundo juego bajo condiciones de riego restringido (48 cm de lámina total).

5.1.1 Rancho El Campanario

Esta localidad está ubicada en el Municipio de Matamoros, que se localiza al suroeste del Estado de Coahuila, entre las coordenadas 103° 13' 41"O y 25° 31' 40" N, a una altura de 1100 m.

5.1.2 Clima

El tipo de clima es BWhW (e') que es de los subtipos desértico-semicálidos, la temperatura media anual oscila entre los 22-24°C; la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 200 a 300 mm, con regímenes de lluvias en los meses de mayo, junio, julio, noviembre, diciembre y enero.

5.1.3 Características del suelo

Este es de tipo xerosol, suelo de color claro y pobre en materia orgánica y el subsuelo es rico en arcilla o carbonatos, es calcárico. Los terrenos son planos, ligeramente ondulados, con pendientes menores al 8%, de textura media.

5.2 Desarrollo del Experimento

5.2.1 Material genético utilizado

En el Cuadro 1 se presenta la lista de los 53 genotipos utilizados en los experimentos, de los cuales 14 fueron líneas experimentales de triticale con hábito de crecimiento primaveral, 24 del tipo facultativo, 7 del tipo intermedio-invernal y 6 de hábito invernal, que fueron proporcionados por el Proyecto Triticale del Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, además de la variedad de avena “Cuauhtemoc”, de hábito primaveral y la variedad de trigo “Coahuila”, de hábito facultativo, utilizados como testigos.

Cuadro 1. Lista de genotipos utilizados en Rancho El Campanario.

Tratamiento	Variiedad	Grupo	Origen
1	AN-7-2010	Primaverales	Elite
2	AN-11-2010	Primaverales	Elite
3	AN-48-2010	Primaverales	Elite
4	AN-67-2010	Primaverales	Elite
5	AN-70-2010	Primaverales	Elite
6	AN-103-2010	Primaverales	Elite
7	AN-123	Primaverales	TCL1
8	AN-125	Primaverales	TCL1
9	AN-137	Primaverales	TCL1
10	Eronga 83	Primaverales	TCL1
11	AN-8-2010	Primaverales	TCL1
12	AN-49-2010	Primaverales	TCL1
13	AN-61-2010	Primaverales	TCL1
14	AN-107-2010	Primaverales	TCL1
15	AN-2-2010	Facultativos	TCL1
16	AN-3-2010	Facultativos	TCL1

17	AN-12-2010	Facultativos	TCL1
18	AN-13-2010	Facultativos	TCL1
19	AN-24-210	Facultativos	TCL1
20	AN-28-2010	Facultativos	TCL1
21	AN-31-2010	Facultativos	TCL1
22	AN-33-2010	Facultativos	TCL1
23	AN-34-2010	Facultativos	TCL1
24	AN-39-2010	Facultativos	TCL1
25	AN-42-2010	Facultativos	TCL1
26	AN-50-2010	Facultativos	TCL1
27	AN-55-2010	Facultativos	TCL1
28	AN-60-2010	Facultativos	TCL1
29	AN-65-2010	Facultativos	TCL1
30	AN-80-2010	Facultativos	TCL1
31	AN-82-2010	Facultativos	TCL1
32	AN-83-2010	Facultativos	TCL1
33	AN-90-2010	Facultativos	TCL1
34	AN-101-2010	Facultativos	TCL1
35	AN-102-2010	Facultativos	TCL1
36	AN-123-2010	Facultativos	TCL1
37	AN-38	Facultativos	TCL1
38	AN-105	Facultativos	TCL1
39	TCLF-65-05	Intermedios-Invernales	Elite
40	TCLF-66-05	Intermedios-Invernales	Elite
41	TCLF-184-05	Intermedios-Invernales	Elite
42	TCLF-185-05	Intermedios-Invernales	Elite
43	TCLF-203-05	Intermedios-Invernales	Elite
44	TCLF-204-05	Intermedios-Invernales	Elite
45	TCLF-70-05	Intermedios-Invernales	Elite
46	TCLF-24-05	Invernales	Elite
47	AN-31P	Invernales	Elite
48	AN-34	Invernales	Elite
49	AN-31	Invernales	Elite
50	AN-45-2010	Invernales	Elite
51	ABT	Invernales	Elite
52	AVENA	Avena	Elite
53	Trigo Coahuila	Trigo	TCL1

5.2.2 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.

5.2.3 Fechas de siembra

La siembra se realizó en seco el 09 de octubre de 2013, durante el ciclo otoño-invierno 2013-2014. La siembra se realizó manualmente, a chorrillo, depositando la semilla en el fondo del surco y tapando posteriormente con el pie.

5.2.4 Fertilización

Fueron aplicados 300 kg de sulfato de amonio (SA) a la siembra; se aplicaron además 100 kg de SA ultrasoluble después del segundo y tercer muestreo.

5.2.5 Riegos

Se aplicó el riego inmediatamente después de la siembra, posteriormente, en el caso del experimento con riego normal, se aplicaron dos riegos de auxilio, antes del primer muestreo. Se aplicaron dos riegos después del segundo y tercer muestreo de forraje, dando un total de 5 riegos aplicados al régimen normal. En el caso del régimen de riego restringido, se aplicó sólo un riego de auxilio después del riego de siembra, dando un total de 4 riegos al experimento con riego restringido. El riego se aplicó por gravedad, con una lámina de 12 cm por riego.

5.2.6 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.

5.2.7 Muestreos

El primer muestreo se realizó el día 23 de diciembre de 2013 a los 67 días después de la siembra (dds); el segundo muestreo se realizó el 18 de enero de 2014 a los 93 dds, el tercer muestreo se llevó a cabo el día 21 de febrero 2014 a los 127 dds y finalmente el cuarto muestreo fue realizado el 8 de marzo de 2014 a los 142 dds. En esta localidad, el experimento tuvo una duración total de 142 días. Los muestreos se realizaron manualmente, con rozadera, cortando el forraje en 50 cm lineales de un surco con competencia completa, aproximadamente a 2 cm sobre la superficie del suelo

5.2.8 Tamaño de parcela experimental

El tamaño total de la unidad experimental fue de 5 surcos, cada uno con longitud de 5 m con una separación entre surcos de 0.30 m, dando una superficie total de 7.5 m².

5.2.9 Obtención de muestras de suelo

Previo a cada corte o muestreo, en cada régimen de riego de cada localidad, se tomaron cinco muestras de suelo de 40 cm de profundidad con una barrena, en zigzag. Se pesaron en campo las muestras de suelo húmedo, posteriormente se secaron en estufa de aire forzado a 100°C durante 24 horas, después se volvió a pesar la muestra del suelo ya seco y en base a la siguiente fórmula se obtuvo el contenido de humedad del suelo:

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{Suelo humedo} - \text{Suelo seco}}{\text{Suelo seco}} \times 100$$

2.5.10 Tasa de acumulación de materia seca

En ambos regímenes de humedad, se estimó la tasa de acumulación de materia seca por día (promedio de cada hábito de crecimiento o tipo) en cada período (0-67, 68-93, 94-127 y 128-142), dividiendo el rendimiento de materia seca foliar y total medido al final de cada período, entre el número de días del mismo, y se calculó en kg de MS (foliar o total) por hectárea por día.

2.5.11 Eficiencia en el Uso del Agua (EUA)

Este parámetro fue estimado tomando en cuenta el rendimiento final de forraje seco (foliar o total) dividido entre los m³ totales de agua aplicados en cada régimen de riego más la precipitación registrada.

5.2.12 Variables registradas

- Altura de planta (ALT): se midió en cm, en cada unidad experimental por cada muestreo o corte.
- Etapa fenológica (ETAPA): se registró en cada unidad en cada muestreo o corte, utilizando la escala de Zadokset *al.*, (1974).

- Producción de forraje verde (FV): se determinó en cada unidad experimental y en cada muestreo o corte en la parcela útil, en g/parcela, el valor obtenido se transformó posteriormente a t ha⁻¹.
- Producción de forraje seco foliar (FSF): se determinó en cada unidad experimental y en cada muestreo o corte en la parcela útil, separando las hojas de cada muestra, secándolas y pesándolas en g/parcela, el valor obtenido se transformó posteriormente a t ha⁻¹.
- Producción de forraje seco total (FST) se determinó al sumar los pesos de hojas, tallos y en su caso, espigas de cada muestreo o corte de forraje; posteriormente se transformó a forraje seco total t ha⁻¹.

5.2.13 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos efectuados fueron: análisis de varianza por muestreo.

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

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

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada.

μ := Efecto de la media general.

R_i = Efecto del i -ésimo régimen

$r_j (R)$ = Efecto de la j -ésima repetición dentro del i -ésimo régimen.

G_k = Efecto del k -ésimo grupo.

MiG_k = Efecto de la interacción del k -ésimo grupo en el i -ésimo régimen.

E_{ijk} = Error experimental.

Adicionalmente, se realizó la comparación de los patrones de acumulación de biomasa observados en cada uno de los diferentes grupos ajustando los datos a la curva logística propuesta por Darroch and Baker (1990), utilizando el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS/STAT (SAS Institute Inc., 1987). La curva logística fue calculada por:

$Y = W / (1 + e^{B-Cx})$, donde Y es la biomasa final estimada, x es el tiempo desde emergencia calculado en grados-día acumulados (GDA), W es el máximo peso seco del cultivo y B y C son coeficientes empíricos derivados del ajuste. El peso final del cultivo (W) fue expresado como kg ha^{-1} . Los grados-día acumulados (GDA) fueron calculados como: $\text{GDA} = \sum [(T_{\max} + T_{\min}) / 2] - T_b$, donde T_{\max} y T_{\min} son las temperaturas diarias máximas y mínimas, respectivamente, y T_b es la temperatura base. Se utilizó una temperatura base 0°C (Gallagher, 1979). Los límites superior e inferior de las temperaturas máximas y mínimas fueron 37°C y T_b , respectivamente.

5.2.15 Pruebas de comparación de medias

Se realizaron pruebas de comparación de medias para cada una de las variables estudiadas, 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 cada una de las variables estudiadas, esto con la finalidad de verificar el grado de precisión con la que se realizó el experimento utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

CMEE = Cuadrado medio del error experimental.

\bar{X} = Media general del carácter.

Tanto los análisis de varianza como las pruebas de comparación de medias se realizaron con los paquetes estadísticos SAS 8.1.

6. RESULTADOS

6.1 Evaluación a través de muestreos sucesivos: El Campanario

6.2 Muestreos

Los resultados de los análisis de varianza correspondientes al primer muestreo en El Campanario (Cuadro 2) indicaron que la fuente de variación Régimen presentó diferencias significativas en las variables ETAPA y FSF, (Cuadro 3). Sin embargo para las variables Altura, Forraje Verde (FV), y Forraje Seco Total (FST), no se encontró diferencia estadísticamente significativa. Para la fuente Grupo (Cuadro 4) se encontró diferencia altamente significativa para todas las variables estudiadas exceptuando el FST donde solo hubo diferencia significativa. En la interacción Régimen*Grupo se encontró diferencia altamente significativa para Etapa, FSF y FST; por el contrario no se encontró diferencia estadísticamente significativa entre Altura y FV.

Con respecto al segundo muestreo en El Campanario (Cuadro 2), los análisis de varianza mostraron que para la fuente de variación Régimen (Cuadro 3), no se encontró diferencia significativa entre las variables. Con respecto a los grupos (Cuadro 4), se encontró diferencia altamente significativa en todas las variables excepto FSF, donde no se registró diferencia significativa. En la interacción Régimen* Grupo se encontró diferencia altamente significativa

en FST; diferencia significativa en la variable FSF; finalmente, no se encontró diferencia estadística en ALT, ETAPA y FV. Para el tercer muestreo en El Campanario (Cuadro 2), los resultados del análisis de varianza mostraron que para la fuente de variación Régimen (Cuadro 3), no existió diferencia significativa en ETAP, FSF y FST; por el contrario, para ALT y FV se encontró diferencia altamente significativa. La fuente Grupo (Cuadro 4), mostró diferencias altamente significativas en todas las variables registradas. En la interacción Régimen*Grupo, se encontró diferencia altamente significativa en las variables ALT y FV; diferencia significativa en ETAPA.

Los resultados del análisis de varianza correspondientes al cuarto muestreo (Cuadro 2) registraron que la fuente de variación Régimen (Cuadro 3), presentó diferencias altamente significativas en las variables ALT, ETAPA y FV; por el contrario, FSF y FST no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Para la fuente de variación Grupo (Cuadro 4), todas las variables registradas presentaron diferencias altamente significativas. En la interacción Régimen*Grupo de igual manera se encontró diferencia altamente significativa entre todas las variables evaluadas con excepción de FST, donde no se encontró diferencia estadística significativa.

Cuadro 2. Resultados de los análisis de varianza por muestreo.

Muestreo 1						
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		ALT	ETAPA	FV	FSF	FST
Régimen	1	141.272 NS	0.921 *	36.398 NS	2.626 *	3.442 *
Rep(Régimen)	4	70.624	0.123	52.777	0.436	1.192
Grupo	5	3797.28 **	0.239 **	503.59 **	1.054 **	5.814 *
Régimen*Grupo	5	108.75 NS	3.836 **	30.699 NS	1.594 **	1.867 **
Error	302	59.941	0.417	31.231	0.325	0.715
CV (%)		13.2	6.7	17.7	15.8	15.7
Media		58.3	4.1	31.4	3.6	5.3
Muestreo 2						
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		ALT	ETAPA	FV	FSF	FST
Régimen	1	6.396 NS	0.032 NS	12.306 NS	0.559 NS	0.128 NS
Rep(Régimen)	4	163.664	0.211	40.887	0.639	2.099
Grupo	5	10684 **	22.733 **	1022.758 **	0.716 NS	45.515 **
Régimen*Grupo	5	121.43 NS	0.324 NS	34.610 NS	0.944 *	5.052 **
Error	302	133.608	0.242	28.365	0.373	1.543
CV (%)		15.3	10.4	15.8	15	17.4
Media		75.5	4.7	33.6	4.0	7.1
Muestreo 3						
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		ALT	ETAPA	FV	FSF	FST
Régimen	1	10218 **	0.960 NS	2146.845 **	5.327 *	8.604 NS
Rep(Régimen)	4	333.202	0.338	169.318	1.715	7.616
Grupo	5	2502.413 **	14.368 **	1015.833 **	9.479 **	87.223 **
Régimen*Grupo	5	843.001 **	0.701 *	369.718 **	2.550 NS	6.208 NS
Error	302	105.527	0.281	90.106	1.177	3.755
CV (%)		8.6	8.6	18.4	22.3	15.2
Media		119.3	6.1	51.4	4.8	12.6
Muestreo 4						
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios				
		ALT	ETAPA	FV	FSF	FST
Régimen	1	15840 **	4.917 **	11375 **	0.197 *	10.162 *
Rep(Régimen)	4	123.36	0.254	46.641	0.685	5.565
Grupo	5	2015.371 **	12.335 **	458.393 **	4.167 **	204.674 **
Régimen*Grupo	5	739.814 **	0.941 **	376.802 **	2.287 **	11.693 NS
Error	302	67.702	0.183	35.961	0.631	5.523
CV (%)		6.5	6	14.6	19.5	16.6
Media		125.5	7.12	40.9	4.0	14.1

NS, *, **: no significativo y significativo al 5 y 1% de probabilidad respectivamente.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de comparación de medias entre regímenes de las variedades evaluadas en los cuatro muestreos. El Campanario.

Muestreo 1					
Régimen	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	58.29 a	4.20 a	31.08 a	3.86 a	5.07 b
2	58.46 a	4.05 a	31.79 a	3.34 b	5.65 a
DMS	3.08	0.15	3.23	0.26	0.48
Muestreo 2					
Régimen	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	73.64 a	4.70 a	33.34 a	3.93 a	6.89 a
2	77.38 a	4.76 a	34.01 a	4.20 a	7.34 a
DMS	4.83	0.11	2.66	0.35	0.58
Muestreo 3					
Régimen	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	129.81 a	6.23 a	54.68 a	4.52 b	12.24 a
2	108.89 b	6.06 a	48.17 b	5.20 a	13.08 a
DMS	9.43	0.21	6.01	0.54	1.3
Muestreo 4					
Régimen	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	136.46 a	6.95 b	49.84 a	3.87 b	13.66 b
2	114.55 b	7.29 a	32.08 b	4.26 a	14.58 a
DMS	5.08	0.2	2.67	0.28	0.74

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

Cuadro 4. Resultados de la prueba de comparación de medias entre los grupos de las variedades evaluadas en los cuatro muestreos.

Muestreo 1					
Grupo	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	67.09 b	4.40 a	34.39 b	3.40 a	5.62 b
2	56.57 c	4.16 ab	31.35 bc	3.71 a	5.39 b
3	50.97 c	3.74 c	28.70 bc	3.56 a	4.99 b
4	48.83 c	3.72 c	27.25 c	3.62 a	4.91 b
5	91.33 a	4.40 a	41.88 a	3.70 a	6.66 a
6	55.83 c	3.98 b c	25.90 c	3.61 a	5.21 b
DMS	8.14	0.29	5.88	0.6	0.89
Muestreo 2					
Grupo	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	91.66 b	5.63 a	36.84 b	4.02 a	8.32 a
2	75.05 c	4.62 b	31.93 bcd	4.01 a	6.97 b
3	56.90 d	3.96 c	33.65 bc	4.24 a	6.14 b
4	57.77 d	4.03 c	30.59 cd	4.25 a	5.94 b
5	105.00 a	4.58 b	56.75 a	3.98 a	8.39 a
6	67.50 cd	4.36 bc	26.70 d	3.81 a	6.44 b
DMS	12.16	0.51	5.6	0.64	1.3
Muestreo 3					
Grupo	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	124.22 b	6.56 a	51.31 b	4.33 b	13.43 a
2	120.93 b	6.34 a	51.36 b	4.85 ab	13.22 ab
3	114.16 bc	5.22 b	55.31 b	5.45 ab	11.21 bc
4	109.02 c	5.54 b	47.08 b	5.25 ab	10.25 c
5	95.00 d	5.50 b	70.16 a	5.63 a	14.88 a
6	135.83 a	6.25 a	34.81 c	4.99 ab	11.10 c
DMS	10.8	0.55	9.98	1.14	2.03
Muestreo 4					
Grupo	ALT (cm)	ETAPA (Zadoks)	FV (t ha ⁻¹)	FSF (t ha ⁻¹)	FST (t ha ⁻¹)
1	125.35 c	7.56 b	41.05 b	3.76 b	15.70 a
2	123.24 c	7.16 b	39.86 b	4.02 ab	14.79 ab
3	134.16 b	6.64 c	44.58 b	4.47 ab	11.63 c
4	124.16 c	6.26 c	40.14 b	4.32 ab	10.59 c
5	150.00 a	8.33 a	54.91 a	4.73 a	15.96 a
6	105.00 d	7.30 b	31.74 c	4.45 ab	12.47 bc
DMS	8.65	0.45	6.3	0.83	2.47

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

6.3 Tasa de Asimilación y Eficiencia en el Uso del Agua

6.4 Muestreos

Los resultados del análisis de varianza de la tasa de asimilación de materia seca de forraje foliar (TFSF) y forraje seco total (TFST) en El Campanario correspondiente al muestreo 1 (Cuadro 5) muestran que para TFSF existió diferencia significativa mientras que para TFST no se registró diferencia entre los regímenes de humedad (Cuadro 6). Para ambas variables se registraron diferencias altamente significativas entre los seis grupos (Cuadro 7). Finalmente en la interacción régimen * grupo, la TFSF registró diferencia altamente significativa mientras que TFST únicamente registró diferencia significativa. Los resultados del análisis de varianza que corresponden a la eficiencia en el uso del agua (EUA) en El Campanario correspondiente al muestreo (Cuadro 5) mostraron que para los EUAFSF y EUAFST existió diferencia altamente significativa entre los regímenes de humedad, los grupos y la interacción régimen * grupo.

El análisis de varianza de la tasa de asimilación de materia seca de forraje foliar y forraje total (TFSF y TFST) para la localidad de El Campanario en el muestreo 2 (Cuadro 5) indicó que no hubo diferencia entre los regímenes de humedad (Cuadro 6) para estas variables. Entre los grupos solamente se registró diferencia altamente significativa en la TFST (Cuadro 7). Para la interacción entre régimen * grupo, se encontró diferencia significativa en la TFSF y altamente significativa en la TFST.

El análisis de varianza de la tasa de asimilación de materia seca de forraje foliar (TFSF) y forraje seco total (TFST) para la localidad El Campanario del muestreo 3 (Cuadro 5) muestra que no hubo diferencia significativa para ninguna variable entre ambos regímenes de humedad (Cuadro 6). Sin embargo, en ambas variables se registró diferencia altamente significativa entre los grupos (Cuadro 7). Finalmente en la interacción régimen * grupo, no se registró diferencia significativa en ninguna de las dos variables. Los resultados del análisis de varianza que corresponden a la eficiencia en el uso del agua (EUA) en el rancho El Campanario correspondiente al muestreo 3 (Cuadro 5) mostraron que entre ambos regímenes de humedad hubo diferencia estadística altamente significativa para las dos variables (EUAFSF y EUAFST). Entre los grupos (Cuadro 7) y la interacción régimen * grupo, no se registró diferencia para estas dos variables.

El análisis de varianza de la tasa de asimilación de materia seca de forraje foliar y forraje total (TFSF y TFST) para la localidad de El Campanario en el muestreo 4 (Cuadro 5) indicó que no hubo diferencia significativa entre los dos regímenes de humedad para estas variables (Cuadro 6). Sin embargo, se registró diferencia altamente significativa entre los grupos para ambas variables (Cuadro 7). Finalmente, para la interacción régimen * grupo, únicamente se presentó diferencia altamente significativa en la TFSF pues en la TFST no hubo diferencia. Los resultados del análisis de varianza que corresponden a la eficiencia en el uso del agua (EUA) en el rancho El Campanario correspondiente al muestro 4 (Cuadro 5) mostraron que para ambas variables

existió diferencia altamente significativa entre los regímenes de humedad y los grupos (Cuadros 6 y 7) y únicamente para EUAFSF se presentó diferencia altamente significativa en la interacción régimen * grupo.

Cuadro 5. Resultados de los análisis de varianza de la tasa de acumulación de materia seca y la eficiencia en el uso del agua. El Campanario.

Muestreo 1					
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios			
		TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
Régimen	1	595.855 *	778.471 NS	3.262 **	6.657 **
Rep(Régimen)	4	98.002	261.604	0.027	0.071
Grupo	5	236.821 **	1278.777 **	0.087 **	0.434 **
Régimen*Grupo	5	358.190 **	413.014 *	0.123 **	0.1680 **
Error	302	73.261	157.281	0.023	0.05
CV (%)		15.83	15.59	16.07	15.81
Media		54.05	80.4	0.95	1.42
Muestreo 2					
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios			
		TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
Régimen	1	837.755 NS	189.834 NS	2.268 **	5.688 **
Rep(Régimen)	4	947.858	3104.909	0.0306	0.111
Grupo	5	1053.361 NS	67338 **	0.035 NS	2.698 **
Régimen*Grupo	5	1401.685 *	7517.681 **	0.048 NS	0.365 **
Error	302	551.657	2283.853	0.021	0.091
CV (%)		14.99	17.44	14.87	17.4
Media		156.59	273.95	0.99	1.73
Muestreo 3					
Fuentes de Variación	Grados Libertad	Cuadrados Medios			
		TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
Régimen	1	4662.759 NS	7434.165 NS	1.977 **	8.511 **
Rep(Régimen)	4	1482.355	6578.157	0.06	0.251
Grupo	5	8146.449 **	75459 **	0.345 **	2.892 **
Régimen*Grupo	5	2201.513 NS	5379.692 NS	0.110 *	0.145 NS
Error	302	1019.664	3247.333	0.04	0.128
CV (%)		22.32	15.29	22.2	15..18
Media		143.01	372.66	0.9	2.35
Muestreo 4					
Fuentes de	Grados	Cuadrados Medios			

Variación	Libertad	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFAST
Régimen	1	903.716 NS	45154 NS	0.384 **	4.944 **
Rep(Régimen)	4	3041.083	24716	0.015	0.123
Grupo	4	18500 **	908876 **	0.089 **	4.599 **
Régimen*Grupo	5	10167 **	51934 NS	0.047 **	0.222 NS
Error	302	2805.144	24540	0.015	0.122
CV (%)		19.53	16.63	19.95	16.29
Media		271.13	941.6	0.61	2.14

NS, *, **: no significativo y significativo al 5 y 1% de probabilidad respectivamente.

Cuadro 6. Resultados de la prueba de comparación de medias entre regímenes para TFSF, TFST, EUAFSF y EUAFAST. El Campanario.

Muestreo 1				
Régimen	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFAST
1	50.925 b	76.075 b	0.744 b	1.129 b
2	57.925 a	84.742 a	1.172 a	1.717 a
DMS	3.95	7.16	0.06	0.1
Muestreo 2				
Régimen	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFAST
1	151.484 a	265.277 a	0.819 b	1.434 b
2	161.704 a	282.629 a	1.165 a	2.036 a
DMS	13.803	22.481	0.08	0.12
Muestreo 3				
Régimen	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFAST
1	133.063 b	360.29 a	0.746 b	2.020 b
2	152.969 a	385.04 a	1.069 a	2.692 a
DMS	16.09	38.299	0.1	0.23
Muestreo 4				
Régimen	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFAST
1	258.189 b	910.92 b	0.746 b	2.020 b
2	284.088 a	972.28 a	1.069 a	2.692 a
DMS	18.804	49.4	0.1	0.23

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

Cuadro 7. Resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos para TFSF, TFST, EUAFSF y EUAFST. El Campanario.

Muestreo 1				
Grupo	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
1	51.131 a	84.131 b	0.906 a	1.493 b
2	55.785 a	80.868 b	0.994 a	1.435 b
3	53.405 a	74.833 b	0.935 a	1.310 b
4	54.417 a	73.583 b	0.960 a	1.300 b
5	55.500 a	99.500 a	0.966 a	1.751 a
6	54.167 a	78.167 b	0.969 a	1.385 b
DMS	9	13.19	0.162	0.24
Muestreo 2				
Grupo	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
1	154.631 a	320.31 a	0.981 a	2.026 a
2	154.563 a	268.23 b	0.981 a	1.706 bc
3	163.357 a	236.52 b	1.025 a	1.480 c
4	163.611 a	228.56 b	1.038 a	1.450 c
5	153.333 a	322.83 a	0.960 a	2.009 ab
6	146.667 a	247.83 b	0.933 a	1.578 c
DMS	24.71	50.28	0.15	0.31
Muestreo 3				
Grupo	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
1	127.62 b	395.18 a	0.805 b	2.493 a
2	142.90 ab	388.93 ab	0.910 ab	2.458 ab
3	160.43 ab	330.02 bc	1.021 a	2.100 bc
4	154.64 ab	301.56 c	0.978 ab	1.913 c
5	165.83 a	438.00 a	1.048 a	2.765 a
6	147.00 ab	326.83 c	0.927 ab	2.044 c
DMS	33.59	59.961	0.21	0.37
Muestreo 4				
Grupo	TFSF	TFST	EUAFSF	EUAFST
1	250.77 b	1047.31 a	0.805 b	2.493 a
2	268.05 ab	986.64 ab	0.910 ab	2.458 ab
3	297.95 ab	775.55 c	1.021 a	2.100 bc
4	288.03 ab	706.33 c	0.978 ab	1.913 c
5	315.50 a	1064.50 a	1.048 a	2.765 a
6	297.00 ab	831.83 bc	0.927 ab	2.044 c
DMS	55.72	164.83	0.21	0.37

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

7. DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de los análisis de varianza de las diferentes variables de estudio registraron diferencias altamente significativas entre los diferentes grupos a lo largo de los cuatro muestreos, sin embargo, las diferencias estadísticas entre los dos regímenes de humedad comenzaron a ser más notorias a partir del tercer muestreo; esto a pesar de que las diferencias de irrigación se realizaron en las primeras etapas de desarrollo. Por esta razón se rechazan ambas hipótesis planteadas para esta investigación.

Existió una diferencia importante en el contenido de humedad del suelo, en la Figura 1 se puede observar que para ambos regímenes el contenido de humedad fue decreciendo a lo largo del ciclo. Sin embargo, en el régimen uno la humedad fue mayor que en el dos a lo largo de todo el ciclo. En el periodo previo al primer muestreo se registró una cantidad importante de precipitación de aproximadamente 97 mm y para el segundo muestreo alrededor de 30 mm de lluvia.

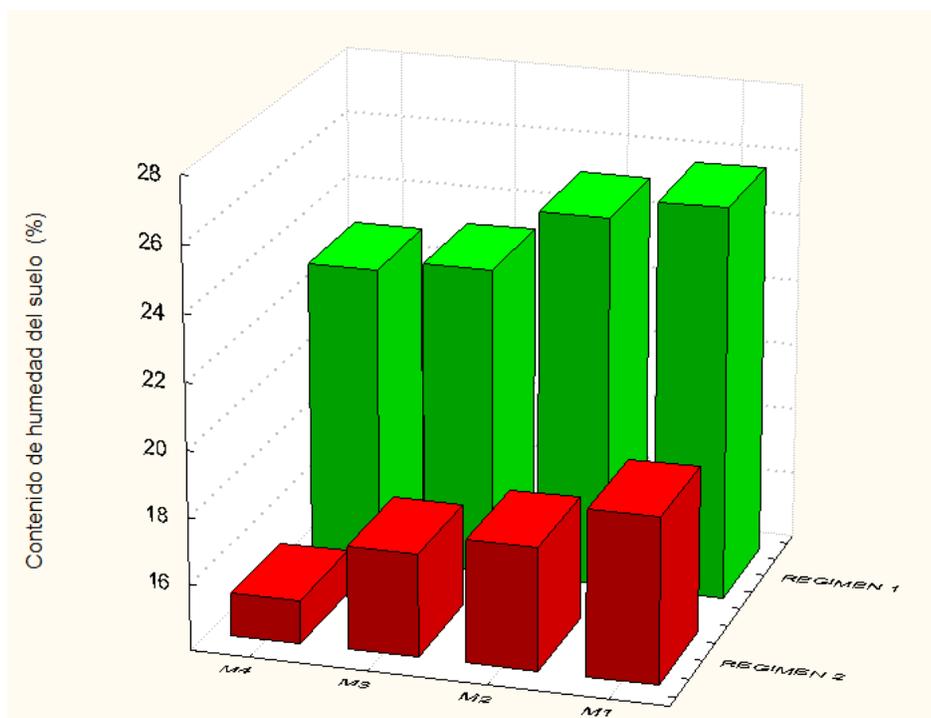


Figura 1. Contenido de humedad del suelo (%) por régimen de riego en cada uno de los muestreos de biomasa. El Campanario 2013-2014.

En la Figura 2, se puede observar el comportamiento de la altura promedio de los grupos a través de los cuatro muestreos. De manera general, la tendencia fue la misma en el primer muestreo, en el segundo la tendencia sigue siendo similar sin embargo, hay un incremento visible del régimen dos en la altura de los genotipos primaverales y facultativos. En el tercer muestreo el trigo presenta la menor altura en ambos regímenes pero esta disminución fue mayor en el restringido; en el régimen uno los cuatro hábitos de crecimiento de triticale tuvieron la misma altura, por el contrario en el régimen dos, el habito primaveral fue superior seguido por los facultativos, intermedios-invernales e invernales. Finalmente en el cuarto muestreo, el grupo cuatro fue el mayor de los genotipos

de triticale para el régimen uno con alrededor de 150 cm, mientras que en el régimen dos todos los grupos excepto la avena se mantuvieron por debajo de los 120 cm.

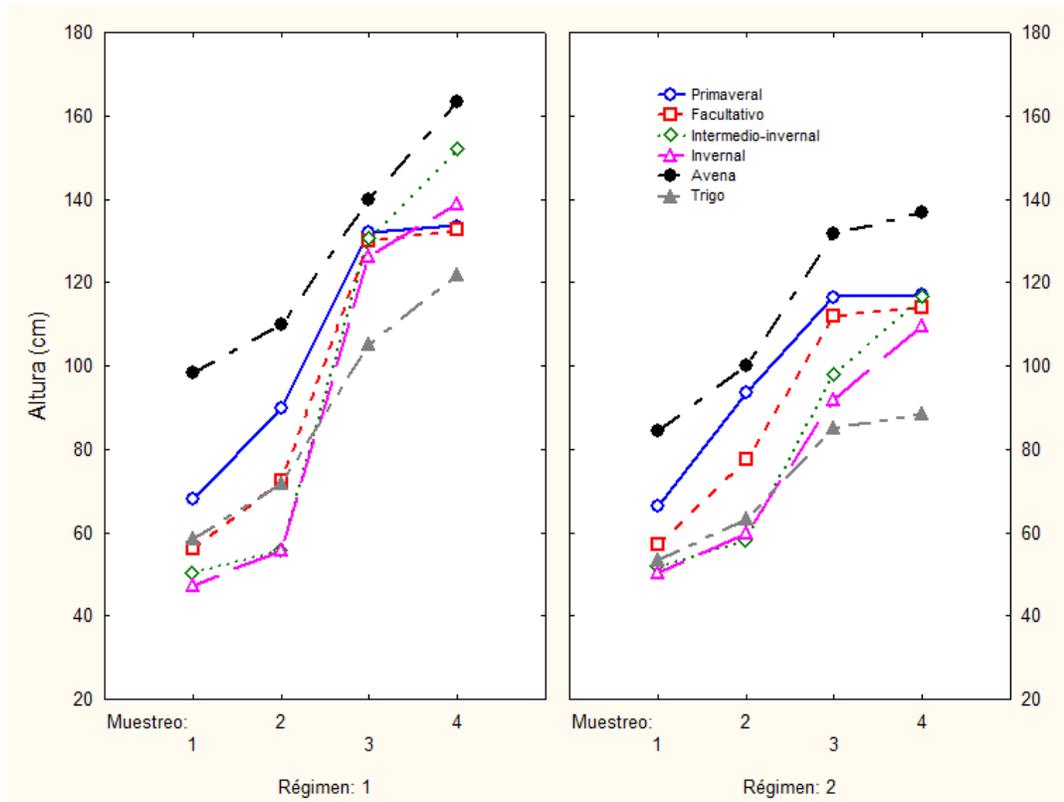


Figura 2. Altura promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario

En cuanto a la etapa fenológica (Figura 3), en ambos regímenes se presentó una tendencia similar. Sin embargo, únicamente en el régimen dos se alcanzó la madurez fisiológica de alguno de los grupos. En el muestreo uno se tuvo el mismo comportamiento en los dos regímenes, los genotipos con mayor precocidad fueron los triticales primaverales y las avenas, seguido por los facultativos, trigo y al final los triticales intermedios-invernales e invernales. En el muestreo dos en ambos regímenes los genotipos primaverales alcanzaron el espigamiento, al contrario del muestreo uno, los triticales de tipo facultativo

superaron la etapa de la avena alcanzando primero el principio del espigamiento. En el tercer muestreo, para el régimen normal los genotipos primaverales alcanzaron la floración seguidos por el trigo y los genotipos facultativos, los invernales llegaron al principio de la floración dejando atrás a la avena y los intermedios-invernales que apenas lograron el principio del espigamiento. Por el contrario, en el régimen dos los genotipos primaverales y facultativos se comportaron igual que en el uno aunque el trigo alcanzó una menor etapa pero sobre todo los genotipos invernales e intermedios-invernales que apenas lograron el principio de la floración. Finalmente, en el muestreo cuatro la tendencia en ambos regímenes fue similar no obstante, en el régimen dos la madurez fisiológica fue mayor, la avena alcanzó la madurez, los genotipos primaverales llegaron a grano masoso mientras que el trigo y los facultativos comenzaron el llenado de grano, finalmente los intermedios-invernales e invernales concluyeron la floración. En el régimen uno los genotipos fueron de floración a grano acuoso.

Otra variable de interés productivo es el forraje verde (Figura 4) que de forma general se puede observar que la mayor producción de forraje verde la presentó el régimen uno. Esto causado por la pérdida de turgencia de la planta en respuesta al déficit de humedad. En el primer muestreo, la avena presentó una producción más alta en ambos regímenes sin embargo, en el dos fue donde se obtuvo más t de forraje verde. A partir del segundo muestreo las diferencias comienzan a ser más evidentes tal es el caso de la avena que en el dos alcanzó las 60 t de forraje verde mientras que en el dos apenas superó las

55 t. La diferencia está más marcada en el cuarto muestreo donde la producción decae drásticamente en el régimen dos mientras que en el uno la reducción es menor.

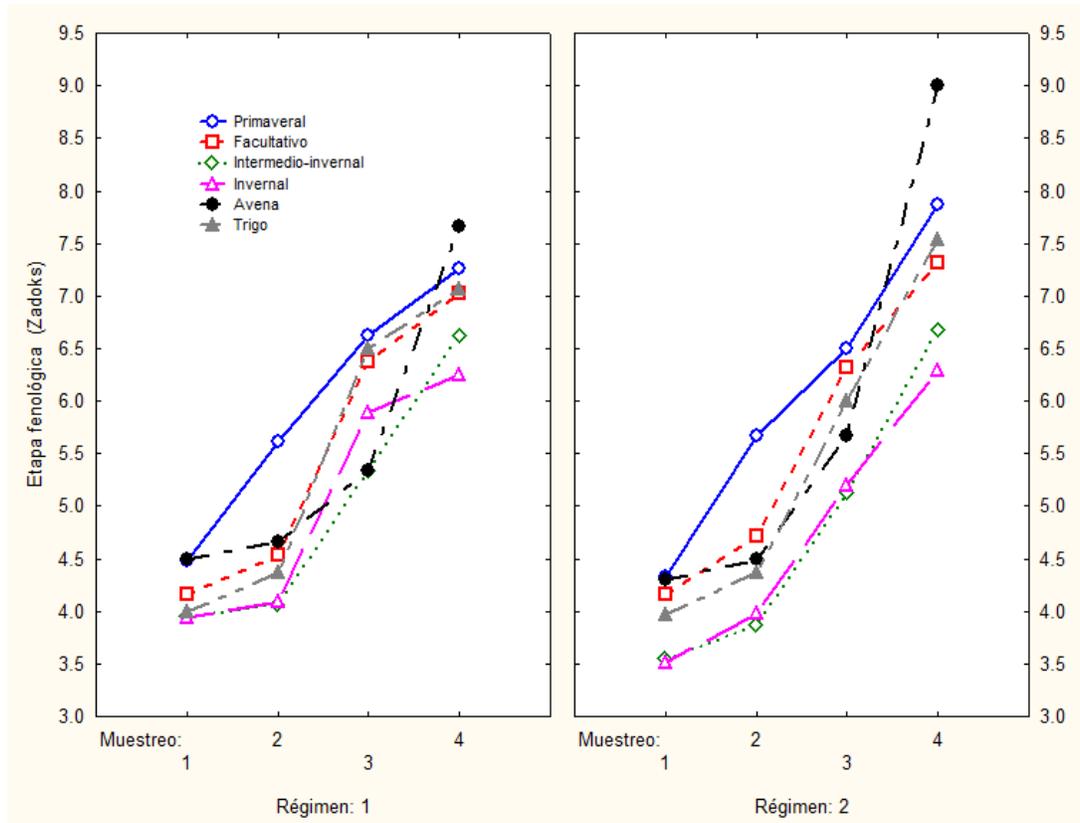


Figura 3. Etapa promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario.

La producción de forraje seco foliar (Figura 5) es una variable de interés productivo muy importante pues para granjas lecheras tecnificadas es un determinante en el momento de elegir la especie a cultivar ya que entre mayor cantidad de hojas, significa mejor calidad nutritiva del forraje. De manera general, la mayor cantidad de forraje seco foliar se presentó en el régimen dos, con un máximo en el tercer muestreo, lo cual se contrapone a lo dicho por Musick y Dusek (1980).

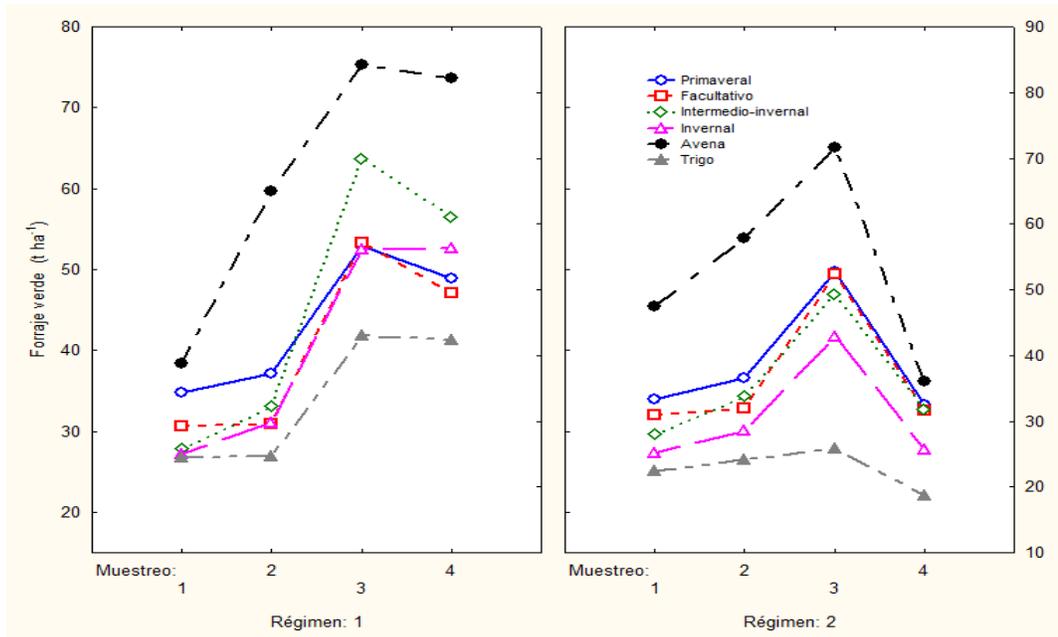


Figura 4. Producción de forraje verde promedio de los grupos en los dos regímenes. El Campanario.

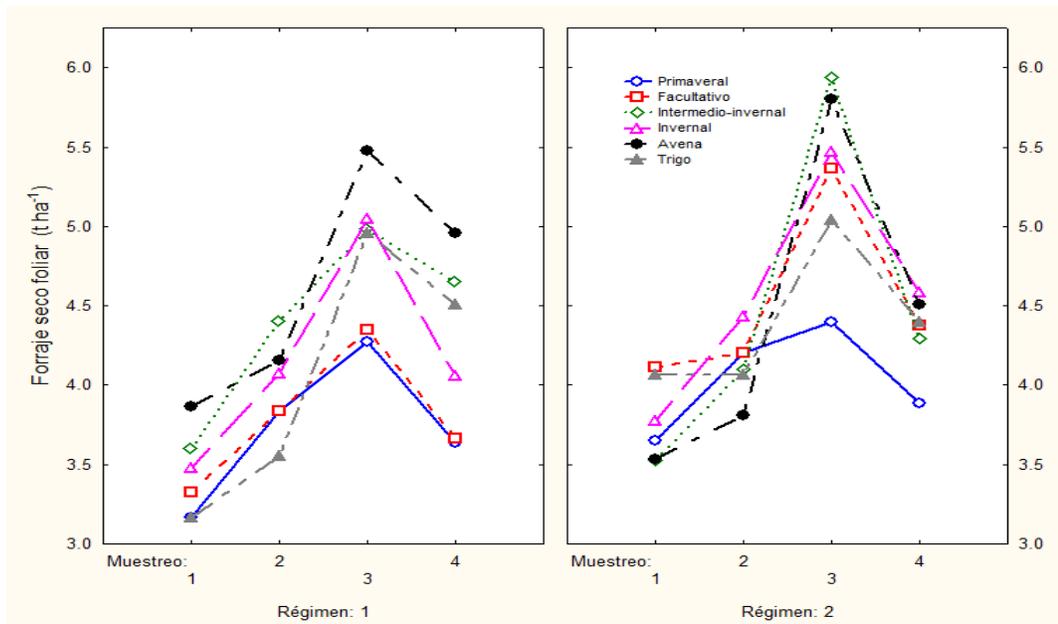


Figura 5. Producción de forraje seco foliar promedio de los grupos en los dos regímenes.

Al igual que la producción de forraje seco foliar, el Forraje Seco Total (Figura 6) fue superior en el régimen dos a pesar de que en ambos siguió la

misma tendencia. Desde el muestreo uno se puede observar que la producción de forraje es superior en el régimen dos, exceptuando a la avena que en ambos regímenes tuvo mayor producción y este patrón se mantiene a lo largo del ciclo. Este resultado apoya lo mencionado por Nealet *al.* (2010), Trethowan *al.* (2002) y Arauset *al.* (2002) quienes afirman que disminuir el agua aplicada es una importante estrategia de producción pues maximiza el comportamiento productivo de los forrajes.

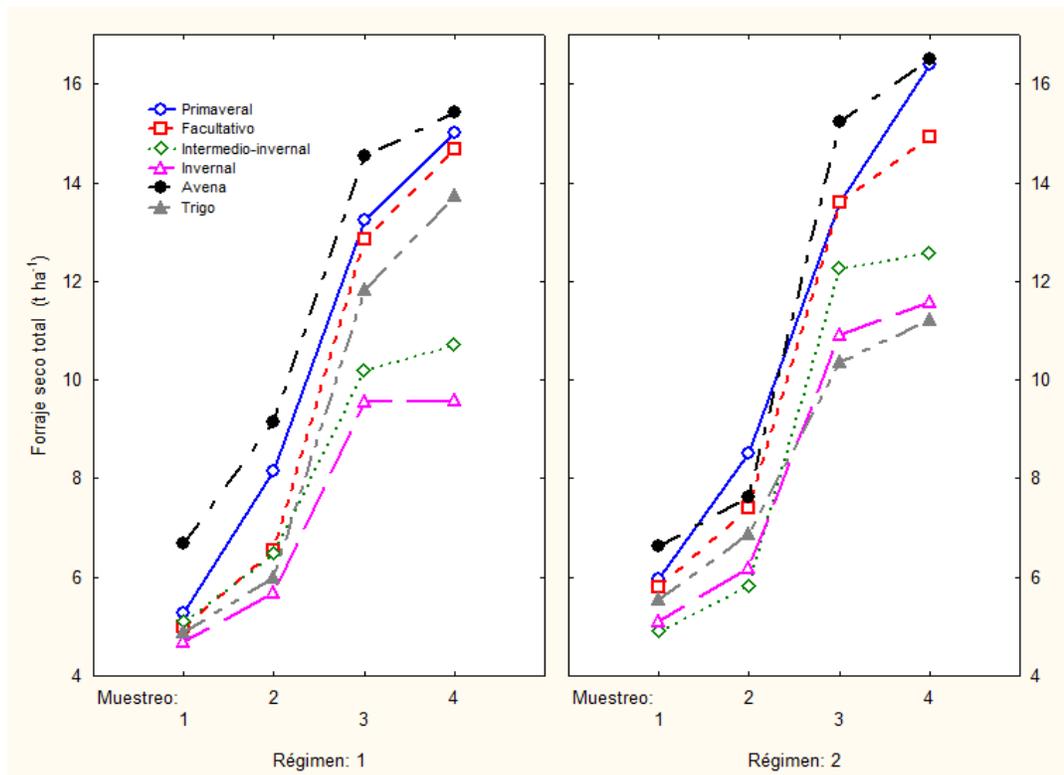


Figura 6. Producción de forraje seco total promedio de los grupos en los dos regímenes.

Para la acumulación de MS foliar en el régimen uno (Figura 7) se puede observar cómo la tendencia se incrementa con el paso del ciclo, a lo largo de los

cuatro muestreos la avena se mantuvo como el genotipo con más acumulación seguido por los intermedios-invernales, el trigo y el triticale invernal finalmente por los genotipos facultativos y primaverales que tuvieron la misma acumulación a lo largo del ciclo.

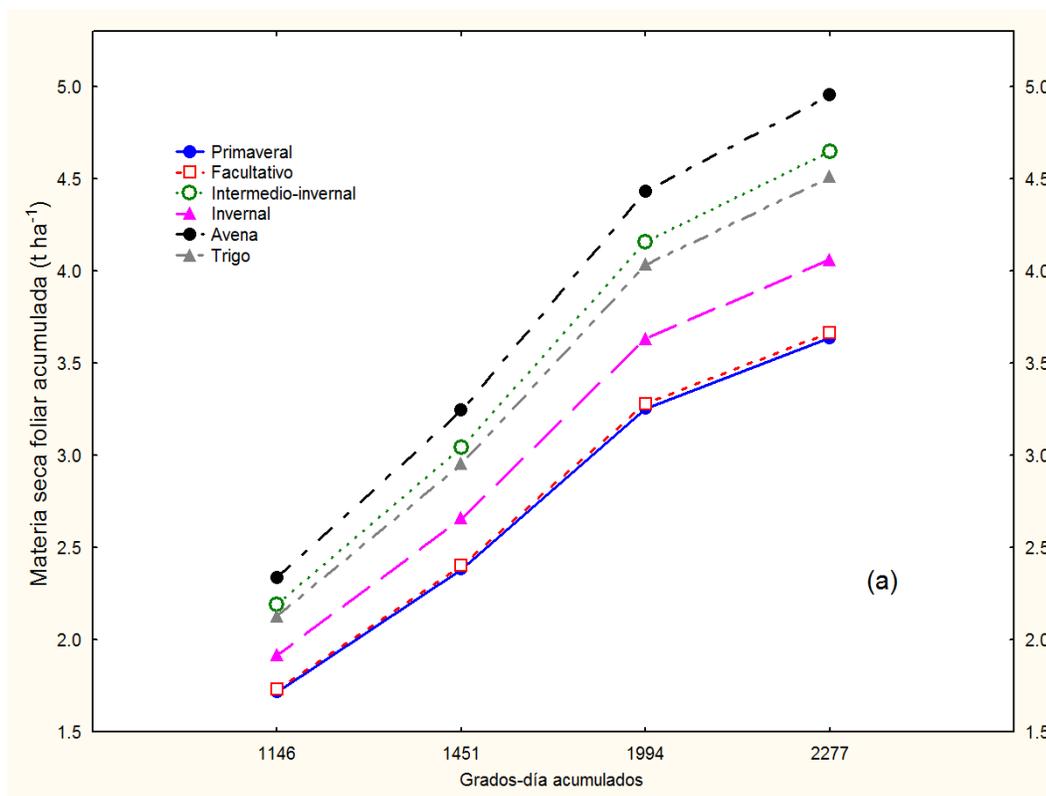


Figura 7. Forraje seco foliar acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen uno.

El comportamiento de los grupos fue distinto para el régimen dos (Figura 8) donde se encontró una acumulación similar para el primer muestro de todos los genotipos excepto los triticales primaverales, en el segundo muestreo los genotipos invernales tienen un incremento ligeramente superior al resto de los

grupos seguido por la avena, los triticales facultativos, el trigo y finalmente los primaverales y esto se mantiene hasta el último muestreo.

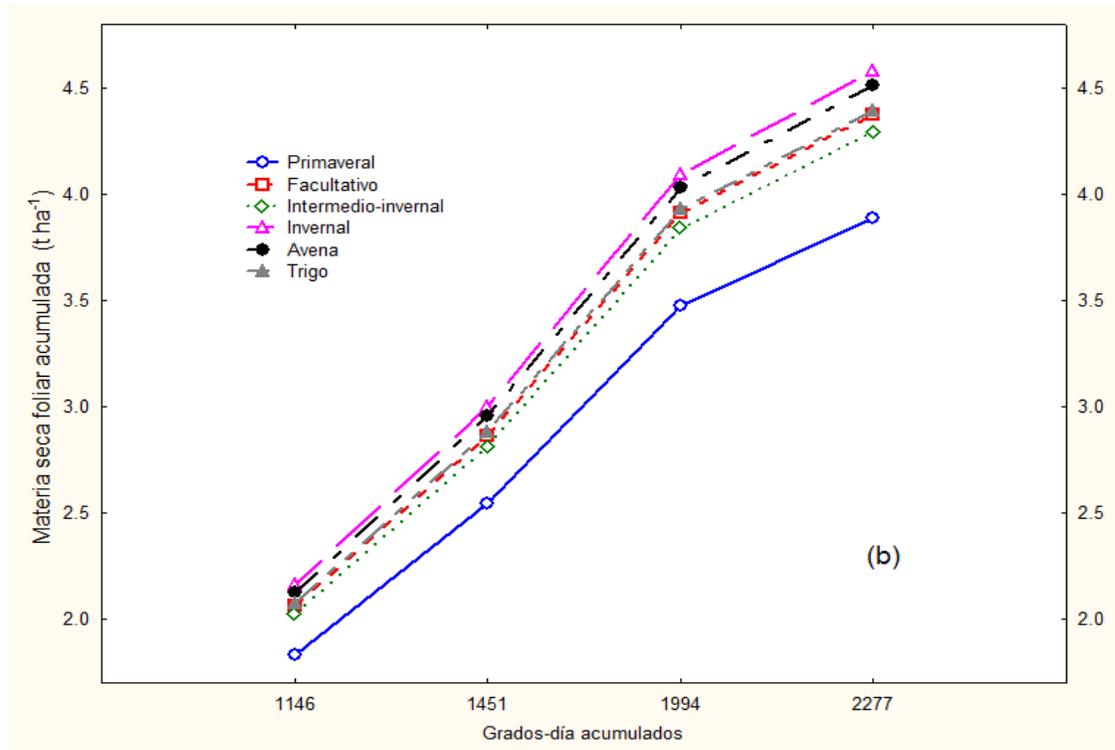


Figura 8. Forraje seco foliar acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen dos.

En la Figura 9 se puede observar la acumulación de materia seca total en el régimen uno dónde al igual que en la acumulación de forraje foliar, la avena fue superior; seguido por los triticales de hábito primaverales, facultativos, el trigo, los intermedios-invernales y finalmente los de hábito invernal. Esta tendencia se mantuvo a lo largo de los cuatro muestreos.

Para el régimen dos (Figura 10) durante los cuatro muestreos la mayor acumulación fue presentada por los triticales primaverales y la avena, en seguida los facultativos, intermedios-invernales, invernales y finalmente, el trigo.

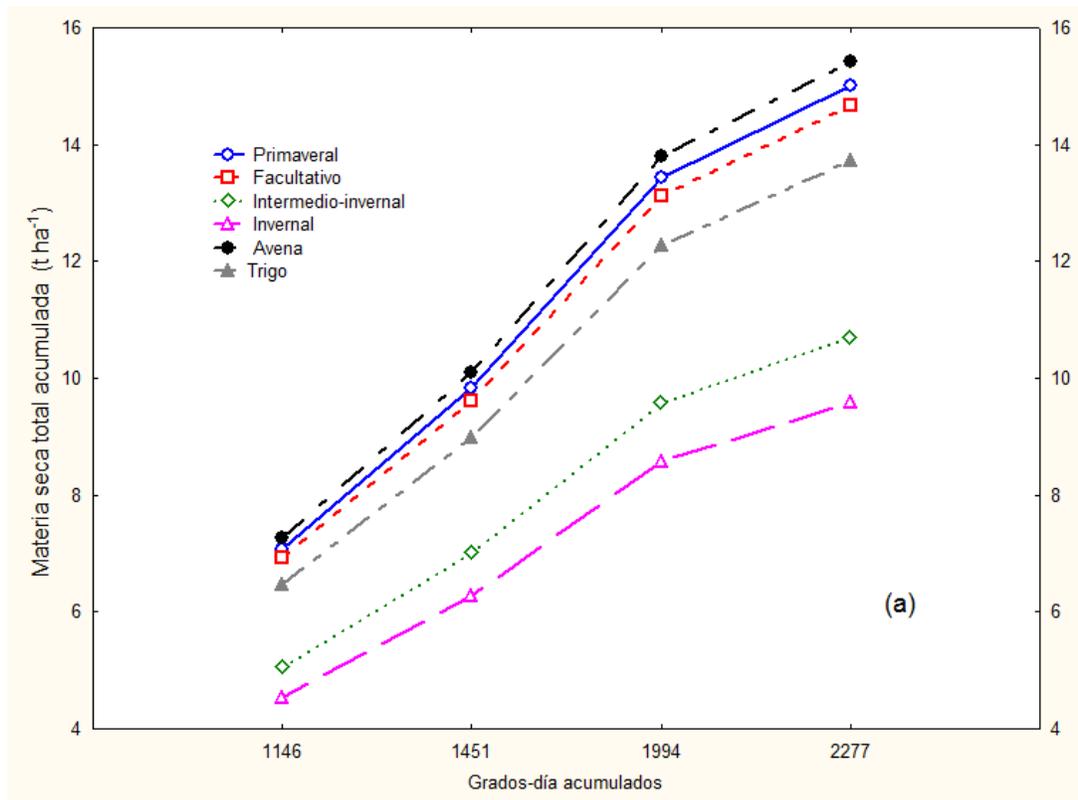


Figura 9. Forraje seco total acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen uno.

Para la tasa de acumulación de materia seca foliar y total (Cuadro 8, Figura 12) se puede observar que de manera general, el régimen dos tuvo una mayor tasa de acumulación de materia seca foliar destacando los triticales de hábito invernal, intermedio- invernal, avena y trigo. De igual manera, para la tasa de acumulación de materia seca total el régimen dos presentó valores superiores al uno; en este caso los genotipos más sobresalientes fueron los triticales de hábito primaveral, facultativos y avena.

Es importante destacar que esta mayor tasa de acumulación se logró con la aplicación del 80% del riego que tradicionalmente se brinda a este cultivo lo que

lleva a considerar que además del importante ahorro de agua, también se incrementan los niveles de producción (Figura 11).

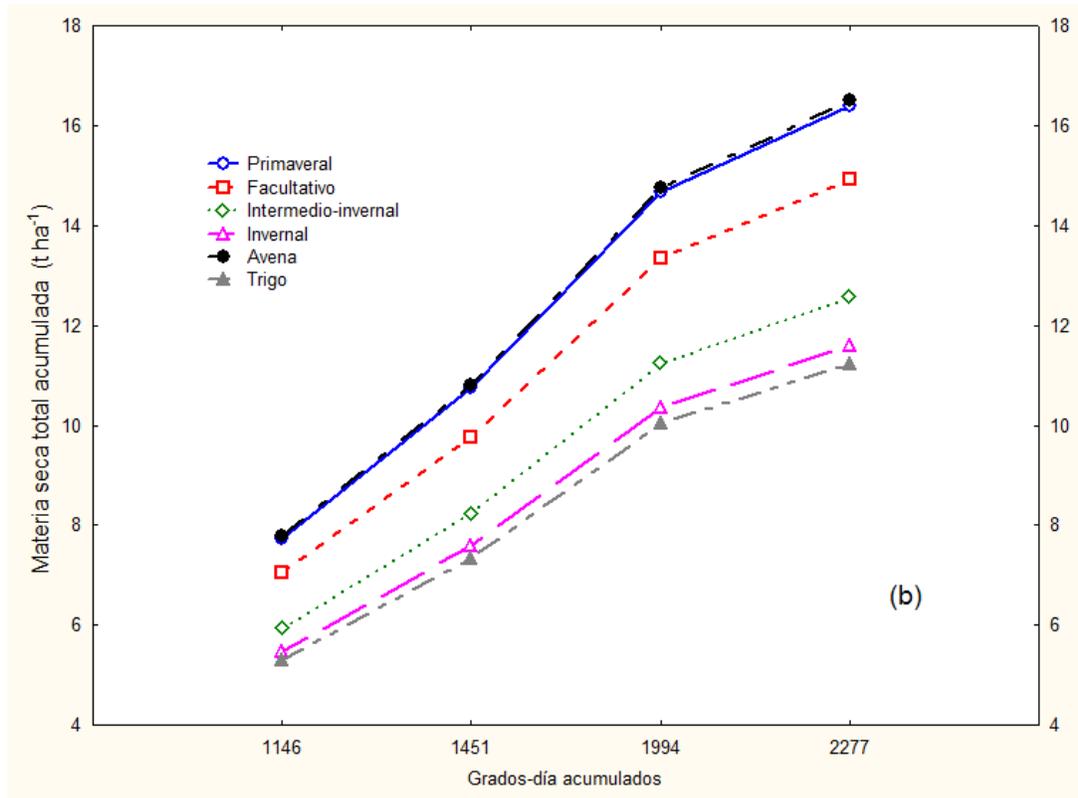


Figura 10. Forraje seco total acumulado por grupo en cada muestreo en el régimen dos.

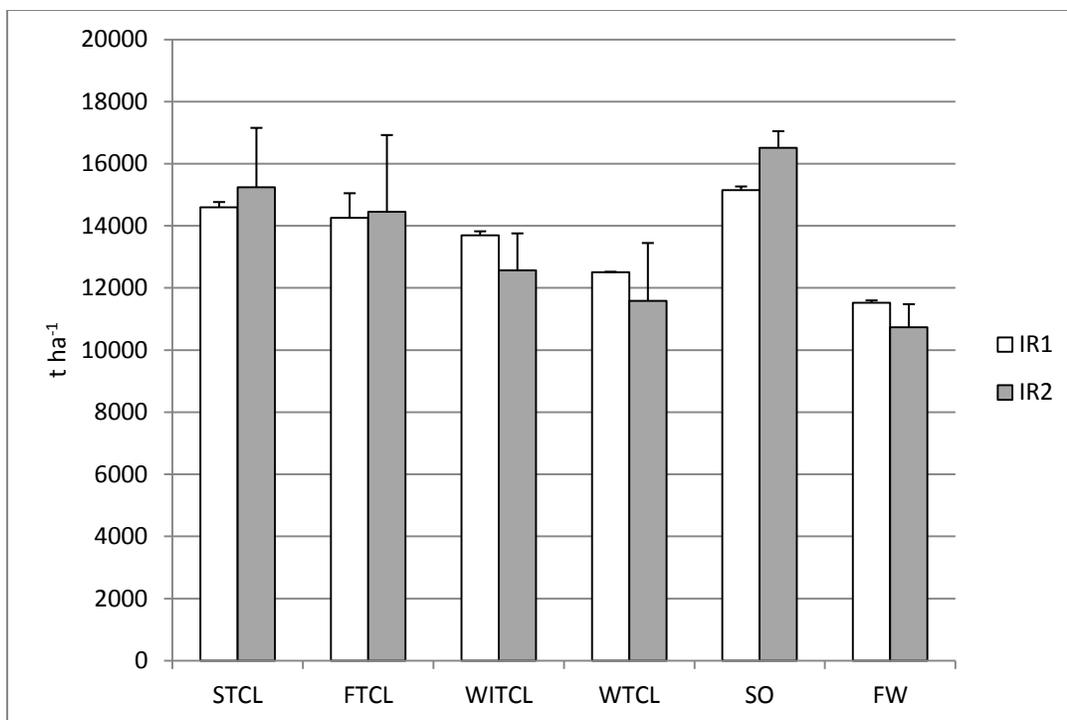


Figura 11. Forraje seco final observado entre regímenes de riego y grupos en El Campanario.

Cuadro 8. Tasa de acumulación diaria de materia seca foliar y total por hábito de crecimiento en cada uno de los regímenes de riego estudiados.

Período (dds)*	Primaveral	Facultativo	Intermedio-invernal	Invernal	Avena	Trigo
Tasa de acumulación de materia seca foliar (kg MSF ha ⁻¹ día ⁻¹)						
Régimen de riego 1 (100%)						
0-67	47.2	49.6	53.7	51.9	57.7	47.2
68-93	147.6	147.5	169.2	156.6	159.8	136.7
94-127	125.7	127.8	146.4	148.4	161.1	145.7
128-142	242.5	244.8	309.7	270.7	330.3	300.7
Tasa de acumulación de materia seca foliar (kg MSF ha ⁻¹ día ⁻¹)						
Régimen de riego 2 (80%)						
0-67	54.4	61.3	52.6	65.3	52.7	60.6
68-93	161.6	161.6	157.5	170.5	146.5	158.4
94-127	129.4	157.9	174.6	160.8	170.5	148.2
128-142	259.0	291.6	286.2	305.4	300.7	293.1
Tasa de acumulación de materia seca total (kg MST ha ⁻¹ día ⁻¹)						

Régimen de riego 1 (100%)						
0-67	78.6	74.5	76.0	70.2	99.6	72.7
68-93	313.2	251.4	248.8	218.9	352.1	230.7
94-127	389.8	377.9	299.8	281.6	427.6	348.3
128-142	1001.1	978.5	713.3	640.0	1028.3	915.5
Tasa de acumulación de materia seca total (kg MST ha ⁻¹ día ⁻¹)						
Régimen de riego 1 (80%)						
0-67	89.1	86.5	73.0	76.3	99.1	82.9
68-93	327.3	285.9	224.0	238.1	293.4	264.9
94-127	400.3	399.8	360.1	321.3	448.0	305.0
128-142	1093.5	994.7	837.7	772.5	1100.4	747.9

*Días después de la siembra

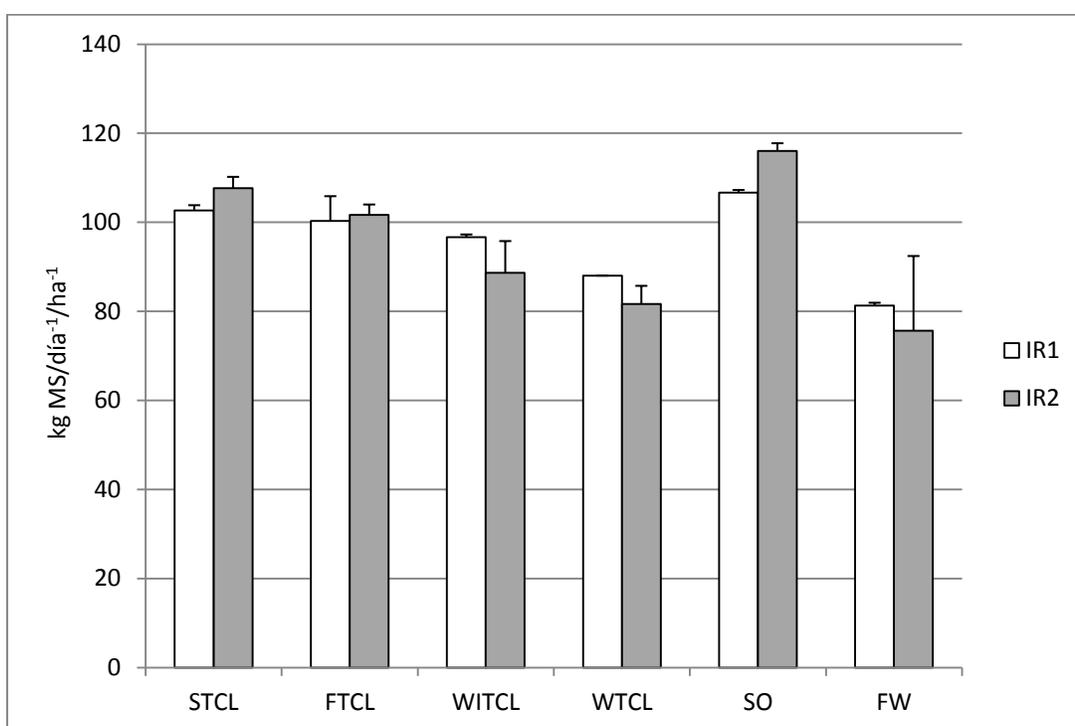


Figura 12. Tasa de acumulación de material seco entre regímenes de riego y grupos en El Campanario.

La Eficiencia del Uso del Agua es un parámetro importante pues estima la cantidad de materia seca producida por m³totales de agua aplicada; de esta forma identifica los genotipos que son fisiológicamente más eficientes en

transformar el agua en forraje seco. En la Figuras 13 y 14 se puede observar claramente cómo el régimen dos tiene una eficiencia en el uso del agua mayor a pesar de disminuir en 20% el agua total aplicada. Para el forraje seco foliar, la respuesta fue superior en todos los grupos pero sobresalen los triticales de tipo invernal, el trigo y la avena. En el forraje seco total la diferencia no fue tan marcada, sin embargo sigue siendo superior el régimen restringido sobre todo en la avena y los triticales primaverales.

Los resultados de esta investigación concuerdan con lo declarado por Levine *et al.* (1998) y Fortis-Hernández *et al.* (2002) quienes afirman que de manera general, se está aplicando más agua de la requerida por los cultivos, tal es el caso de la alfalfa y el nogal donde se excede alrededor del 33% del agua. Al igual que lo dicho por Orón *et al.* (2003), si se reduce al menos un riego se amplía la posibilidad de no solo reducir los costos de producción, si no que inclusive la productividad se ve incrementada por la respuesta dada por el cultivo logrando de esta manera una mayor rentabilidad de los sistemas de producción pecuaria.

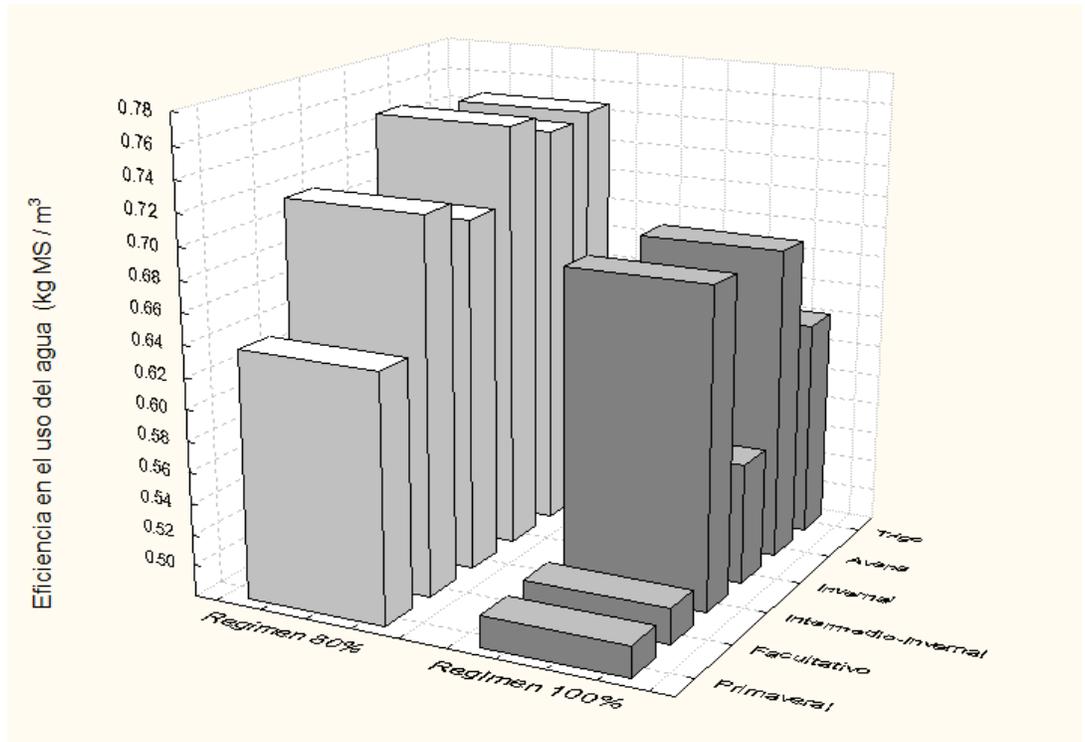


Figura 13. Eficiencia del uso del agua para forraje seco foliar.

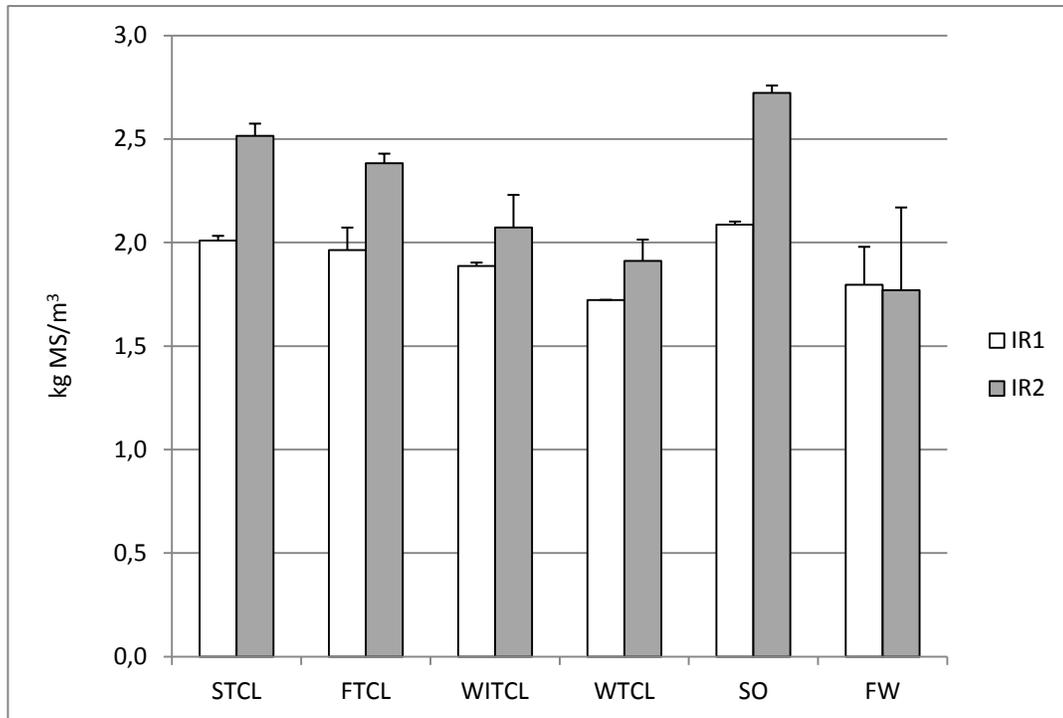


Figura 14. Eficiencia en el uso del agua (EUA) entre regímenes de riego y grupos para forraje seco total.

La curva logística asimétrica utilizada en este estudio fue empleada primero por Royo y Tribó, 1997 y Royo y Blanco, 1999 para ajustar datos de crecimiento en triticales primaverales e invernales. En esta investigación la curva se ajustó adecuadamente al patrón de acumulación de material seca observada entre los diferentes grupos de genotipos en los contrastantes ambientes (óptimo y sub-óptimo, Figuras 15 y 16). En este estudio, se encontró que la variación en las curvas de crecimiento debida a las diferencias genotípicas entre los grupos fué mayor que la variación ambiental causada por los efectos de la irrigación;

consecuentemente, la tasa promedio de crecimiento bajo el régimen sub-óptimo fue ligeramente más alta que en el régimen óptimo, principalmente en los tipos primaverales y facultativos. Por otra parte, la longitud del ciclo de crecimiento fue mayor en los tipos invernales en comparación con los primaverales, concordando con lo mencionado por Ramos et al. (1985), que señala que la acumulación de material seco depende fuertemente del hábito de crecimiento además de la disponibilidad de agua, temperatura y radiación. La variabilidad mostrada por los diferentes grupos en la acumulación de biomasa fue debida a la longitud de su ciclo desde la siembra hasta la máxima acumulación del peso seco de las plantas. El adecuado ajuste de las curvas estimadas sugiere que es una útil herramienta para analizar en forma más precisa el crecimiento de los diferentes tipos de genotipos en regiones áridas y semiáridas como las de este estudio.

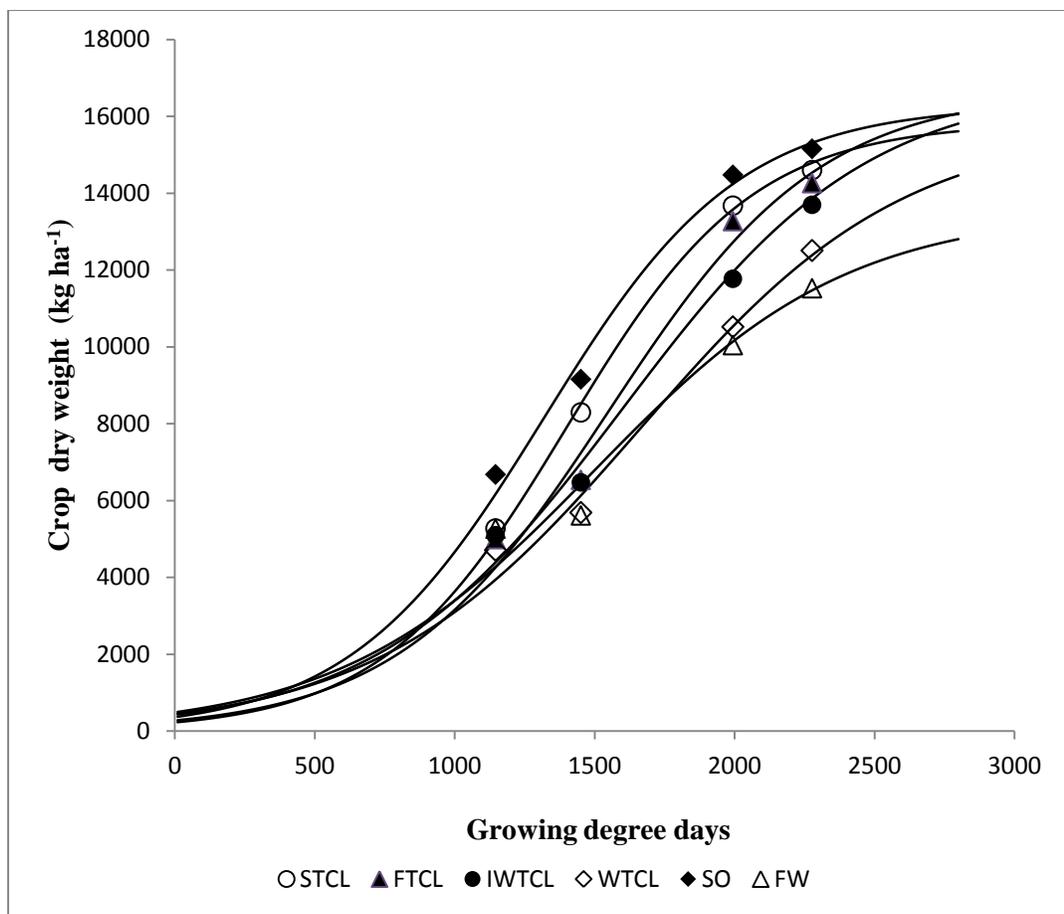


Figura 15. Patrones estimados de cambio en el peso seco del cultivo desde emergencia hasta madurez de cada uno de los seis grupos de genotipos evaluados en El Campanario en el régimen de riego óptimo. Las líneas representan las curvas logísticas asimétricas ajustadas a los valores observados.

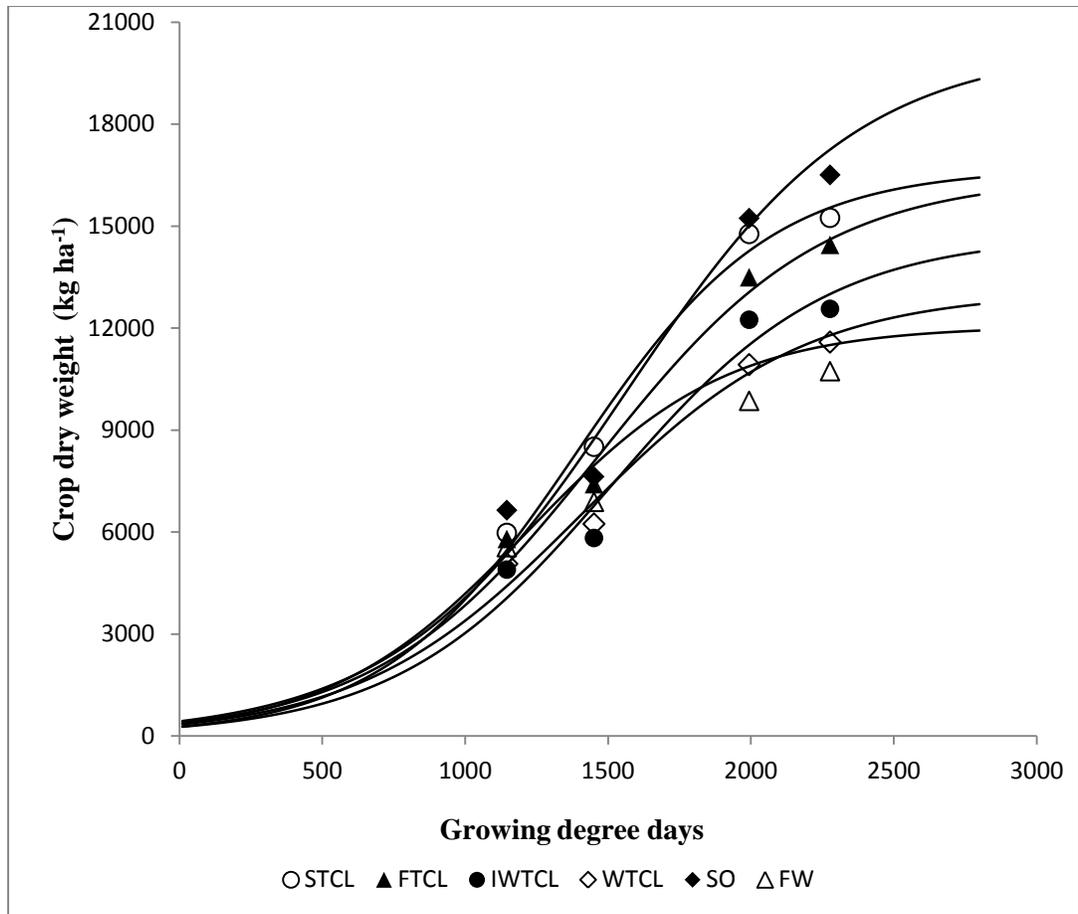


Figura 16. Patrones estimados de cambio en el peso seco del cultivo desde emergencia hasta madurez de cada uno de los seis grupos de genotipos evaluados en El Campanario en el régimen de riego sub-óptimo. Las líneas representan las curvas logísticas asimétricas ajustadas a los valores observados.

8. CONCLUSIONES

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

- El régimen de irrigación sub-óptimo no tuvo efectos negativos y significativos sobre los rendimientos de biomasa (foliar y total) de los diferentes grupos de genotipos estudiados, bajo el sistema de muestreos sucesivos.
- Los triticales de hábito primaveral y facultativo y la avena registraron los mayores rendimientos de forraje seco total, tasa de acumulación de materia seca y eficiencia en el uso del agua, por lo que resultan los tipos más adecuados cuando el objetivo es la mayor acumulación de biomasa en el menor tiempo posible (henificado y ensilaje).
- Además de la selección de especies y/o hábitos de crecimiento, el déficit de irrigación, definido como la aplicación de agua en un nivel menor al del pleno requerimiento del cultivo (riego sub-óptimo=80%), puede ser una buena oportunidad para incrementar la eficiencia en el uso del agua (EUA) de los forrajes anuales en la cuenca lechera de la Comarca Lagunera.
- La curva logística utilizada en este estudio ha probado ser una herramienta útil en la evaluación de los efectos genotípicos y ambientales sobre la producción de biomasa en triticales. La curva integra el crecimiento de las plantas a través de todo el ciclo del cultivo y hace posible cuantificar la influencia de diferentes factores sobre las características de crecimiento

en cualquier etapa fenológica. Los resultados en este estudio mostraron que las diferencias en las curvas de crecimiento se debieron principalmente a efectos genotípicos (hábitos de crecimiento).

9. LITERATURA CITADA

National Research Council. 1998. Triticale: A promising addition to the world's cereal grains. National Academy Press, Washington, D.C. 105 pp.

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.

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science* 218:443-448.

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.

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.

CONAGUA. 2010. Estadísticas agrícolas de los distritos de riego Año agrícola 2008-2009. Comisión Nacional del Agua. www.conagua.gob.mx

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.

Darroch, B.A., and R.J. Baker. 1990. Grain filling in three spring wheat genotypes: statistical analysis. *CropScience* 30:525-529.

Dávila, V.R., and Estrella, M.M. 1984. Producción de semilla de zacate ballico anual (*Lolium multiflorum*). Reporte interno de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Avances de investigación 1981-1983. Saltillo, Coahuila, México.

Day, T.A. and Vogelmann, T.C. 1995. Alterations in photosynthesis and pigment distributions in pea leaves following UV-B exposure. *Physiol. Plant.* 94:433-440.

Fortis-Hernández, M., Ahlers, R., Leos-Rodríguez, J.A., y Salazar-Sosa, E. 2002. El mercado de los derechos de agua en la Comarca Lagunera. *Políticas Agrícolas* 12:103-122.

Gallagher, J. N. 1979. Field studies of cereal leaf growth: Initiation and expansion in relation to temperature and ontogeny. *Journal of Experimental Botany* 117:625-636.

García del Moral, L.F. 1992. Leaf area, grain yield and yield components following forage removal in triticale. *Journal of Agronomy and Crop Science.* 168:100-107.

García-Salazar, J., Guzmán-Soria, E., y Fortis, H. M. 2006. Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia.* 40(2):269-276.

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.

Grzesiak, S., Grzesiak, M.T., Filek, W., Stabryła, J. 2003. Evaluation of physiological screening tests for breeding drought resistant triticale (*X Triticosecale wittmack*). *Acta Physiol. Plant.* 25:29-37.

Guzmán-Soria, E., García-Salazar, J., Mora-Flores, J., Fortis, H.M., Valdivia-Alcalá, R. y Portillo-Vázquez, M. 2006. La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia* 40:739-804.

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.

Holguín, E., Cerra, C. M., y Primitivo, G. J. 2003. Cada vez es menos: La extracción anual de agua supera las recarga. Artículo. *El Siglo de Torreón.* 12 de marzo de 2003.

Hsiao, T.C. and E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficits, water-use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.* 14:59-84.

INEGI-BIE (Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática-Banco de Información Económica). 2005. Producto Interno Bruto: Nacional y por Entidad Federativa. Marzo. <http://www.inegi.gob.mx>.

ITEPSA. 1999. Lineamientos estratégicos para el desarrollo hidráulico de la Región Administrativa VII "Cuencas Centrales del Norte". Capítulo1. Marco de Referencia. Instituto Técnico de Estudios Profesionales y de Servicios. Torreón, Coahuila, México.

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. *CropSci.* 21:11-15.

Levine, G., Cruz-Galván, A., García, D., Garcés-Restrepo, C., y Johnson, S. 1998. Performance of two transferred modules in the Lagunera Region: water relations. Research Report 23.International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka.

Lowe, K. F., and Bowdler, T. M. 1995. Growth, persistence, and rust sensitive of irrigated, perennial temperate grasses in the Queensland subtropics. *AustralianJournal of Experimental Agriculture.* 35:517-578.

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 Triticosecalewittm.*). *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 BlanckChernozem soil in Saskatchewan. *Can. J. PlantSci.* 86:1005-1014.

Montemayor, T. J., Aguirre, A.H., Olague, R.J., López, J.R., Rivera, G. M., Preciado, R.P., Montemayor, T. I., Segura, C.M., Orozco, V.J., y Yescas, C. P. 2010. Uso del agua en la alfalfa (*Medicago sativa*) con riego por goteo subsuperficial. *Rev. Mex. Cienc. Pecu.* 1(2):145-156.

Magaña, V., Pérez, J., Vázquez, J., Carrisoza, E., y Pérez, J. 2004. Impactos del Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Autónoma de México. Secretaría de Gobernación. 39-42 p.

Monterroso, R.A. y J.D., Gómez. 2009. Caracterización del índice de aridez en México usando dos alternativas de estimación de la evapotranspiración potencial y escenarios de cambio climático. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. 105- 108 p.

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.

Neal, J.S., Fulkerson, W.J., and Hacker, R.B. 2010. Differences in water use efficiency among annual forages used by the dairy industry under optimum and deficit irrigation. *Agricultural Water Management.* 98:759-774.

NRC. 1989. Triticale: a promising addition o the world's cereal grains. National Research Council. Washington, DC, USA: NationalAcademyPress.

Núñez, H.G., Contreras, F.E., Quiroga, M.H., y Faz, R. 1997. Cultivos forrajeros de invierno. En: Tercer ciclo de conferencias internacionales sobre nutrición y manejo. Grupo LALA. México.

Orona, C.I., Flores, H. A., Rivera, G. M., Martínez, G., y Espinoza, A.J. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana.* 21(2):195-201.

Ozkan, H., Genv, T., Yagnasanlar, T., and Toklu, F. 1999. Stress tolerance in hexaploid spring triticale under Mediterranean environment. *Plant Breeding.* 118:365-367.

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 deffinitions. LandWater Australia, Canberra.

Reta, S. D., Figueroa, V.U., Faz, C.R., Núñez, H. G., Gaytán, M. A., Serrato, C. S., y Payán G.J. 2010. Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):83-87.

Royo, C. and Parés, D. 1996. Yield and quality of winter and spring triticales for forage and grain. *Grass and Forage Science.* 51:449-455.

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.

Sharrow, S.H. 1990. Defoliation effects on biomass yield components of winter wheat. *Canadian Journal of Plant Science*. 70:1191-1194.

Shpiler, L., and Blum, A. 1986. Differential reaction of wheat *Triticumaestivum* cultivars to hot environments. *Euphytica* 35:483-492.

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.

Wang, H.X., Liu, C.M., and Zhang, L. 2002. Water-saving agriculture in China: an overview. *Advances in Agronomy* 75:135–171.

Ye, C.W., Díaz, S.H., Lozano-del Río, A.J., Zamora-Villa, V.M., Ayala, O.M. 2001. Agrupamiento de germoplasma de triticale por rendimiento, ahijamiento y gustosidad. *Téc. Pecu.* 39(1):15-29.

Zamora-Villa, V.M., Lozano-del Río, A.J., López, B. A., Reyes, V. M., Díaz, S.H., Martínez, R.J., y Fuentes, R.J. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu.* 40(3):229-242.