

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



Estimación de Biomasa por Reflectancia Espectral en Triticales de Hábito
Primaveral e Intermedio

Por:

ALDO RAMÓN GUTIÉRREZ JUÁREZ.

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre de 2018.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL

Estimación de Biomasa por Reflectancia Espectral en Triticales de Hábito
Primaveral e Intermedio

Por:

ALDO RAMÓN GUTIÉRREZ JUÁREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ZOOTECNISTA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. José Eduardo García Martínez
Asesor Principal

Dr. Roberto García Elizondo
Coasesor

Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos
Coasesor

Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre de 2018

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos. Gracias por creer en mí y porque me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, gracias a ustedes hoy puedo ver alcanzado mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera, y por el orgullo que sienten por mí.

A MIS HERMANOS (AS):

Quienes han sido parte fundamental para concluir mis metas, ellos siempre me han apoyado en las buenas y en las malas, han sabido darme su confianza, para demostrarles que siempre se puede uno levantar.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS Todopoderoso por darme todas las bendiciones día a día durante mis estudios, por ser mi fortaleza en los momentos buenos y difíciles, que gracias a ti, Señor, se pueden realizar los sueños que uno se propone a realizar para nuestras vidas y no abandonarme en ningún momento, siempre estar firme y tener fe en lo que nos proponemos.

A mi **“ALMA TERRA MATER”** por permitir terminar mis estudios en esta gran casa de estudios que orgullosamente llevo recuerdos en mi corazón. Gracias por formarme profesionalmente durante estos 4 años y medio, por cobijarme entre tus aulas y tus tierras agrícolas.

Al **Dr. José Eduardo García Martínez**, por ser la base fundamental en este trabajo, por su colaboración en aprendizaje y siempre apoyarnos con su amistad y toda su confianza brindada hacia mí.

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

Al **D. Roberto García Elizondo** por su amistad, enseñanza y consejos.

Al **Dr. Eloy Alejandro Lozano Cavazos** por su amistad y consejos gracias.

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

INDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice de contenido.....	iii
Índice de cuadros.....	v
Índice de figuras.....	vii
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
Objetivos generales.....	3
3. Hipótesis.....	3
4. Revisión de literatura.....	4
Generalidades.....	4
Tipos de triticale.....	5
Efectos de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos.....	6
NDVI.....	9
Acumulación de biomasa.....	11
5. Materiales y métodos.....	13
Localización del sitio experimental.....	13
Desarrollo del experimento.....	13
Material genético utilizado.....	13
Preparación del terreno.....	14
Fecha de siembra.....	14
Tamaño de parcela experimental.....	15
Fertilización.....	15
Riegos.....	15
Control de plagas, enfermedades y malezas.....	15
Muestreo.....	16
Diseño experimental utilizado en campo.....	16

Variables registradas.....	17
Análisis estadísticos.....	17
Modelo estadístico de los análisis de varianza por muestreo para la variable en estudio.....	17
Pruebas de comparación de medias.....	18
6. Resultados.....	19
Peso seco de hoja.....	19
Biomasa total.....	21
Area foliar.....	23
NDVI.....	25
7. Discusión.....	28
8. Conclusiones.....	37
9. Literatura citada.....	38
10. Resumen.....	42

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro No		Pág.
1	Lista de genotipos y sorteo utilizados en el Experimento. Navidad, N.L. Ciclo 2014–2015.....	14
2	Resultados de los análisis de varianza para peso seco de hoja por muestreo. Navidad 2015.....	19
3	Resultados de la prueba de comparación de medias de peso seco de hoja entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.	20
4	Resultados de la prueba de comparación de medias de peso seco de hojas entre grupos de triticale por muestreo. Navidad 2015	20
5	Resultados de los análisis de varianza para biomasa seca total por muestreo. Navidad 2015.....	21
6	Resultados de la prueba de comparación de medias de biomasa seca total entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.....	22
7	Resultados de la prueba de comparación de medias de biomasa seca total entre grupos de triticale por muestreo. Navidad 2015..	22
8	Resultados de los análisis de varianza para área foliar por muestreo. Navidad 2015.....	23
9	Resultados de la prueba de comparación de medias de área foliar entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015....	24
10	Resultados de la prueba de comparación de medias de área foliar entre grupos de triticale por muestreo. Navidad 2015.....	25
11	Resultados de los análisis de varianza para NDVI por muestreo. Navidad 2015.....	26

12	Resultados de la prueba de comparación de medias para NDVI entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.....	26
13	Resultados de la prueba de comparación de medias para NDVI entre grupos de triticales por muestreo. Navidad 2015.....	27

INDICE DE FIGURAS

Figuras		Pág.
1.	Patrón de acumulación de peso seco de hojas de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.....	29
2.	Patrón de acumulación de área foliar de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.....	30
3.	Relación entre el peso seco de hojas y el área foliar. Navidad 2015.....	30
4.	Patrón de acumulación de biomasa seca total de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.....	31
5.	Lecturas de NDVI de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.....	32
6.	Relación entre lecturas de NDVI y área foliar. Navidad 2015.....	33
7.	Relación entre lecturas de NDVI y peso seco de hojas. Navidad 2015.....	34
8.	Relación entre lecturas de NDVI y peso seco total. Navidad 2015.....	34
9.	Relación entre lecturas de NDVI y peso seco total. Navidad 2015.....	35
10.	Relación entre peso seco de hojas y peso seco total. Navidad 2015.....	36

INTRODUCCIÓN

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

Es precisamente la producción de forrajes el rubro donde hay más posibilidad de reducir costos, mediante el uso de especies más productivas y de mayor calidad (Orona *et al.*, 2003). Esta es la razón por la cual se requiere fomentar el desarrollo de cultivos alternativos que se adapten a las condiciones del medio natural y con mejoras tecnológicas relativas a estrategias de riego y fertilización para lograr un mejor aprovechamiento de los recursos (Reta *et al.*, 2010). Se requiere así de alternativas de producción que incluyan nuevas especies forrajeras principalmente de producción invernal, así como el conocimiento de sus tecnologías de producción, que lleven a una mayor disponibilidad de forraje de alta calidad, entre los cuales está el triticale, debido a su tolerancia a bajas temperaturas, suelos pobres, suelos ácidos, alcalinos y salinos, además de su

resistencia a plagas y enfermedades, alto potencial de producción de biomasa y valor nutritivo superior al de los cultivos tradicionales, y particularmente a su mayor eficiencia en el uso del agua en la producción de biomasa (Ye *et al.*, 2001).

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

las estimaciones del patrón de senescencia y la detección del estrés biótico y abiótico.

OBJETIVOS

Objetivos Generales

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

➤ Documentar la relación entre un índice de reflectancia espectral y la producción de biomasa foliar y total con el objetivo de validar su eficacia en la estimación de biomasa sin utilizar métodos destructivos en los dos diferentes tipos de triticales.

HIPÓTESIS

a) No existe diferencia en la producción de biomasa entre ambas dosis de fertilización.

b) No existe diferencia para la producción de biomasa entre los tipos evaluados.

c) No existe relación positiva entre los valores del índice de reflectancia y la producción de biomasa en los diferentes tipos de triticales.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades

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

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

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

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

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

Tipos de triticale

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

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

Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los cultivos

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

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

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

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

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

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

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

NDVI

Varios rasgos morfofisiológicos, particularmente los relacionados con los procesos de cultivo, las características de rendimiento, y los mecanismos de tolerancia a la sequía como el estado hídrico de las plantas, la eficiencia fotosintética, la conductancia estomática, la temperatura del dosel, la acumulación de materia seca, el índice de estrés y la eficiencia en el uso del agua son usualmente eficaces como criterios de selección complementarios útiles para la selección de germoplasma en diferentes condiciones ambientales. Sin embargo, las mediciones directas de esos rasgos por métodos tradicionales son destructivas y requieren mucho tiempo y algunas de ellas son difíciles de hacer cuando un gran número de genotipos necesitan ser evaluados en diferentes ambientes. Además, se han desarrollado varios índices optimizados para estimar mejor diversos parámetros agronómicos como la biomasa vegetal, el vigor de las plantas, el reparto de la biomasa entre las partes vegetativas y el rendimiento de grano. El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) es ampliamente utilizado a nivel del suelo, y desde altitudes bajas, altas y satélites para medir el verdor vegetativo y el tamaño fotosintético del dosel. El sensor NDVI portátil de campo proporciona una medición rápida del nivel del

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

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

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

Acumulación de biomasa

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

Una tasa más alta de crecimiento resulta en un incremento final de biomasa, pero la tasa de crecimiento y fenología puede ser afectada por la sequía y el estrés dependiendo de la etapa de desarrollo del cultivo, de su

duración e intensidad. Usualmente, el estrés de humedad combinado con altas temperaturas reduce la acumulación de materia seca (Shpiler y Blum, 1986).

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

MATERIALES Y METODOS

Localización del Sitio Experimental

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

Desarrollo del Experimento

Material genético utilizado

En el Cuadro 1 se presenta la lista de los 12 genotipos utilizados en los experimentos, de los cuales 4 fueron líneas experimentales de triticale con hábito de crecimiento primaveral, 2 del tipo intermedio, 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.

Para esta investigación, fueron utilizados los datos de producción de biomasa, área foliar y lecturas de NDVI sólo de los genotipos de tipo primaveral e intermedio, los cuales fueron agrupados por su hábito de crecimiento (Variedades 1-6, Grupos 1 y 2, Cuadro 1).

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

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

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 12 surcos de 5 m de largo por 30 cm entre hileras (18.0 m²).

Fertilización

A la siembra, en cada unidad experimental (12 surcos), se aplicó a la mitad de la parcela (6 surcos) una dosis de fertilización de 80-00-00, utilizando como fuente urea (46% N). A los seis surcos restantes no se les aplicó fertilizante.

Riegos

Al experimento se le aplicó el riego inmediatamente después de la siembra con un sistema de aspersion; posteriormente, se aplicaron 4 riegos adicionales en las etapas de amacollamiento, encañe, floración y llenado de grano, dando un total de 50 cm de lámina.

Control de plagas, enfermedades y malezas.

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

Muestreos

Se realizaron 4 muestreos destructivos secuenciales de biomasa durante la fase vegetativa de los materiales: Las fechas de muestreo fueron las siguientes:

M1: 25/03/2015: (69 días después de la siembra)

M2: 03/04/2015: (78 días después de la siembra)

M3: 15/04/2015: (90 días después de la siembra)

M4: 24/04/2015: (99 días después de la siembra)

Los muestreos se realizaron manualmente, con rozadera, cortando el forraje en 50 cm lineales de un surco con competencia completa, tanto en la subparcela fertilizada como en la no fertilizada, aproximadamente a 2 cm sobre la superficie del suelo. Posteriormente en laboratorio se separaron hojas y tallos de cada parcela y tratamiento, se secaron en estufa a 60° por 72 h y se registró el peso seco de cada componente.

Diseño experimental utilizado en campo

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar con tres repeticiones por tratamiento.

Variables registradas

- En cada muestreo y unidad experimental, se evaluó el peso seco de hoja y la biomasa seca total. La biomasa seca total se determinó al sumar los pesos de hojas y tallos. Antes de cada muestreo de biomasa, se tomaron lecturas del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) mediante un sensor óptico marca GreenSeeker. Además, se evaluó el área foliar de cada muestra de forraje mediante un integrador marca LICOR 3000.

Análisis estadísticos

Se efectuaron análisis de varianza por muestreo. En cada muestreo, los datos fueron analizados agrupando los genotipos por su hábito de crecimiento (2), dentro de cada dosis de fertilización (2).

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

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

Donde:

Y_{ijk} = Variable observada.

μ : = Efecto de la media general.

R_i = Efecto de la i -ésima fertilización

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

G_k = Efecto del k -ésimo grupo.

MiG_k = Efecto de la interacción del k -ésimo grupo en la i -ésima fertilización.

E_{ijk} = Error experimental.

Pruebas de comparación de medias

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

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

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

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 el paquete estadístico SAS 8.1. Las gráficas se realizaron con el paquete estadístico STATISTICA 7.0

RESULTADOS

Peso seco de hoja

Los resultados de los análisis de varianza (Cuadro 2), reportaron diferencias altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos excepto en el primero; entre los grupos de triticales no se reportaron diferencias estadísticas en ninguno de los muestreos ni en la interacción DF*Grupos. Los coeficientes de variación variaron entre 18.0 y 54.5%, dependiendo del muestreo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Resultados de los análisis de varianza para peso seco de hoja por muestreo. Navidad 2015.

		Peso seco de hoja			
FV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		M1	M2	M3	M4
DF	1	0.0142 ns	0.714 **	32.13 **	11.730 **
REP (DF)	4	0.0528 *	0.025 ns	0.012 ns	0.124 ns
GRUPOS	1	0.0670 ns	0.125 ns	0.042 ns	0.712 ns
DF*GRUPOS	1	0.0616 ns	0.022 ns	0.029 ns	0.035 ns
ERROR	28	0.0172	0.027	1.261	0.446
TOTAL	35				
X GENERAL		0.691	0.916	2.059	1.834
CV %		18.9	18.0	54.5	36.4

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

El Cuadro 3 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización. El experimento con fertilización nitrogenada produjo en forma general cantidades significativamente mayores de biomasa foliar que el experimento sin fertilización en todos los muestreos,

excepto en el primero (> 5.9, 36.3, 169.6 y 90.4%, en los muestreos 1, 2, 3 y 4, respectivamente).

Cuadro 3. Resultados de la prueba de comparación de medias de peso seco de hoja entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.

Peso seco de hoja				
DF	M1	M2	M3	M4
1	0.711 a	1.057 a	3.004 a	2.405 a
2	0.671 a	0.775 b	1.114 b	1.263 b
DMS α 0.05	0.212	0.147	0.101	0.326

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

El Cuadro 4 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales para peso seco de hoja. En este Cuadro se observa que sólo en el segundo muestreo se registró diferencia estadística entre los grupos para el peso de biomasa foliar, aunque con diferencias biológicas en los dos primeros muestreos para el grupo 1 (hábito primaveral); esta diferencia biológica fue mayor para el grupo 2 (hábito intermedio) en los muestreos 3 y 4.

Cuadro 4. Resultados de la prueba de comparación de medias de peso seco de hojas entre grupos de triticales por muestreo. Navidad 2015.

Peso seco de hoja				
Grupo	M1	M2	M3	M4
1	0.734 a	0.975 a	2.025 a	1.693 a
2	0.648 a	0.857 b	2.093 a	1.975 a
DMS α 0.05	0.089	0.129	0.766	0.456

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

Biomasa seca total

En el Cuadro 5 se presentan los resultados de los análisis de varianza para esta variable, donde se registraron diferencias estadísticas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, excepto en el primero, indicando la importancia que tiene la fertilización nitrogenada en la acumulación de materia seca, independientemente del hábito de crecimiento de los materiales. Con respecto a los grupos de genotipos, no se registraron diferencias estadísticas entre estos en ninguno de los muestreos; asimismo, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación entre muestreos para esta característica oscilaron entre 14.4 y 19.9 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 5. Resultados de los análisis de varianza para biomasa seca total por muestreo. Navidad 2015.

		Biomasa seca total			
FV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		M1	M2	M3	M4
DF	1	102186.777 ns	966944.444 **	8832784.000 **	9117380.250 **
REP (DF)	4	7764.444 ns	57866.861 ns	317408.083 ns	898932.306 ns
GRUPOS	1	43960.111 ns	207936.000 ns	494209.000 ns	326993.361 ns
DF*GRUPOS	1	56011.111 ns	108460.444 ns	203701.778 ns	163081.361 ns
ERROR	28	25692.658	69894.496	186851.42	270098.72
TOTAL	35				
X GENERAL		950.777	1328.222	2707.1	3600.139
CV %		16.8	19.9	15.9	14.4

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

El Cuadro 6 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización. El experimento con fertilización

nitrogenada produjo en forma general cantidades significativamente mayores de biomasa seca total que el experimento sin fertilización en todos los muestreos, (> 11.9, 28.1, 44.8 y 32.5%, en los muestreos 1, 2, 3 y 4, respectivamente).

Cuadro 6. Resultados de la prueba de comparación de medias de biomasa seca total entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.

Biomasa seca total				
DF	M1	M2	M3	M4
1	1004.06 a	1492.11 a	3202.5 a	4103.4 a
2	897.50 b	1164.33 b	2211.8 b	3096.9 b
DMS α 0.05	81.5	222.63	521.41	3.926

El Cuadro 7 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales para biomasa seca total. En este Cuadro se observa que en ninguno de los muestreos se registró diferencia estadística entre los grupos de genotipos, aunque con ventaja biológica en todos los muestreos para el grupo 1 (hábito primaveral).

Cuadro 7. Resultados de la prueba de comparación de medias de biomasa seca total entre grupos de triticales por muestreo. Navidad 2015.

Biomasa seca total				
Grupo	M1	M2	M3	M4
1	985.72 a	1404.22 a	2824.3 a	3695.4 a
2	915.83 a	1252.22 a	2590.0 a	3504.8 a
DMS α 0.05	109.45	180.52	295.15	354.86

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

Area foliar

En el Cuadro 8 se presentan los resultados de los análisis de varianza para esta variable, donde se registraron diferencias estadísticas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, indicando la importancia que tiene la fertilización nitrogenada en la expansión del área foliar, independientemente del hábito de crecimiento de los materiales. Con respecto a los grupos de genotipos, se registraron diferencias estadísticas entre estos en los muestreos 3 y 4; por otra parte, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación entre muestreos para esta característica oscilaron entre 10.1 y 16.5 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 8. Resultados de los análisis de varianza para área foliar por muestreo. Navidad 2015.

		Área foliar			
FV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		M1	M2	M3	M4
DF	1	33409.746 **	59381.566 **	141589.146 **	109649.284 **
REP (DF)	4	233.101 ns	993.978 ns	468.974 ns	496.937 ns
GRUPOS	1	984.913 ns	43.780 ns	12660.000 **	16120.534 **
DF*GRUPOS	1	941.466 ns	383.506	31.922 ns	421.617 ns
ERROR	28	283.796	253.379	598.726	811.125
TOTAL	35				
X GENERAL		123.947	156.741	194.169	172.316
CV %		13.5	10.1	12.6	16.5

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

El Cuadro 9 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización para área foliar. El experimento con

fertilización nitrogenada registró en forma general valores significativamente mayores de área foliar que el experimento sin fertilización en todos los muestreos, (> 65.5, 69.8, 95.4 y 94.0 %, en los muestreos 1, 2, 3 y 4, respectivamente), resaltando la importancia del nitrógeno en el desarrollo del área foliar de las plantas.

Cuadro 9. Resultados de la prueba de comparación de medias de área foliar entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.

Área foliar				
DF	M1	M2	M3	M4
1	154.411 a	197.36 a	256.883 a	227.506 a
2	93.483 b	116.13 b	131.456 b	117.128 b
DMS α 0.05	14.1	29.1	20.0	20.6

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

El Cuadro 10 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales para área foliar. En este Cuadro se observa que en los dos primeros muestreos no se registró diferencia estadística entre los grupos de genotipos; sin embargo, en los muestreos 3 y 4, el grupo 2 (intermedios), registró significativamente mayor área foliar que los triticales de hábito más precoz (primaverales).

Cuadro 10. Resultados de la prueba de comparación de medias de área foliar entre grupos de triticales por muestreo. Navidad 2015.

Área foliar				
Grupo	M1	M2	M3	M4
1	129.178 a	157.844 a	175.417 b	151.156 b
2	118.717 a	155.639 a	212.922 a	193.478 a
DMS α 0.05	11.5	10.8	16.7	19.4

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

NDVI

En el Cuadro 11 se presentan los resultados de los análisis de varianza para esta variable, donde se registraron diferencias estadísticas altamente significativas entre las dosis de fertilización en todos los muestreos, independientemente del hábito de crecimiento de los materiales. Con respecto a los grupos de genotipos, no se registraron diferencias estadísticas entre estos en los dos primeros muestreos; en los muestreos tercero y cuarto se registraron diferencias estadísticas altamente significativas entre los dos tipos de triticales. Por otra parte, no se registró significancia en la interacción DF*GRUPOS. Los coeficientes de variación entre muestreos para esta característica oscilaron entre 5.1 y 10.1 %, dependiendo del muestreo.

Cuadro 11. Resultados de los análisis de varianza para NDVI por muestreo. Navidad 2015.

		NDVI			
FV	GL	CUADRADOS MEDIOS			
		M1	M2	M3	M4
DF	1	0.232 **	0.311 **	0.455 **	0.235 **
REP (DF)	4	0.002 ns	0.001 ns	0.0005 ns	0.001 ns
GRUPOS	1	0.0008 ns	0.0002 ns	0.019 **	0.014 **
DF*GRUPOS	1	0.0001 ns	0.0001 ns	0.0008 ns	0.000 ns
ERROR	28	0.002	0.001	0.0008	0.001
TOTAL	35				
X GENERAL		0.452	0.502	0.573	0.480
CV %		10.1	6.4	5.1	8.6

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

El Cuadro 12 muestra los resultados y tendencias de la prueba de comparación de medias entre dosis de fertilización para NDVI. El experimento con fertilización nitrogenada registró en forma general valores significativamente mayores de NDVI que el experimento sin fertilización en todos los muestreos, (> 43.0, 45.4, 48.9 y 40.2 %, en los muestreos 1, 2, 3 y 4, respectivamente).

Cuadro 12. Resultados de la prueba de comparación de medias para NDVI entre dosis de fertilización por muestreo. Navidad 2015.

NDVI				
DF	M1	M2	M3	M4
1	0.532 a	0.595 a	0.685 a	0.561 a
2	0.372 b	0.409 b	0.460 b	0.400 b
DMS α 0.05	0.045	0.03	0.02	0.03

El Cuadro 13 muestra los resultados de la prueba de comparación de medias entre grupos de triticales para valores de NDVI. En este Cuadro se observa que en los primeros dos muestreos no se registró diferencia estadística entre los grupos de genotipos; sin embargo, en los muestreos 3 y 4, el grupo 2 (intermedios), registró significativamente mayores valores de NDVI que los triticales de hábito más precoz (primaverales).

Cuadro 13. Resultados de la prueba de comparación de medias para NDVI entre grupos de triticales por muestreo. Navidad 2015.

NDVI				
Grupo	M1	M2	M3	M4
1	0.447 a	0.500 a	0.550 b	0.461 b
2	0.457 a	0.505 a	0.596 a	0.500 a
DMS α 0.05	0.031	0.02	0.02	0.02

DISCUSIÓN

De manera general, los resultados de los análisis de varianza para todas las características evaluadas demostraron que la aplicación de nitrógeno es muy importante, ya que los valores promedio más altos en todas las variables se registraron cuando se aplicó fertilizante nitrogenado (DF1 vs DF2, Figuras 1-2). En la Figura 1, se muestra el patrón de acumulación promedio de peso seco de hojas para cada grupo a través de los muestreos en cada dosis de fertilización. De manera general, se observa que en ambos grupos la fertilización estimuló la acumulación de biomasa foliar, particularmente en los dos primeros muestreos en los tipos más precoces (Grupo 1); a partir del tercer muestreo, los tipos intermedios (Grupo 2), acumularon mayor biomasa foliar en comparación con el Grupo 1. Paralelamente, la mayor acumulación de biomasa foliar se debió a un mayor desarrollo del área foliar, particularmente en los tratamientos con fertilización nitrogenada (Figura 2), corroborado por la estrecha relación entre ambas características ($R^2= 0.68$, Figura 3). Concordado con lo antes mencionado (Kichey *et al.*, 2007) menciona que el nitrógeno (N), es el principal factor limitante en la producción agrícola y al igual que en otros cereales, es también uno de los factores de impacto más importantes en el crecimiento y desarrollo del triticale.

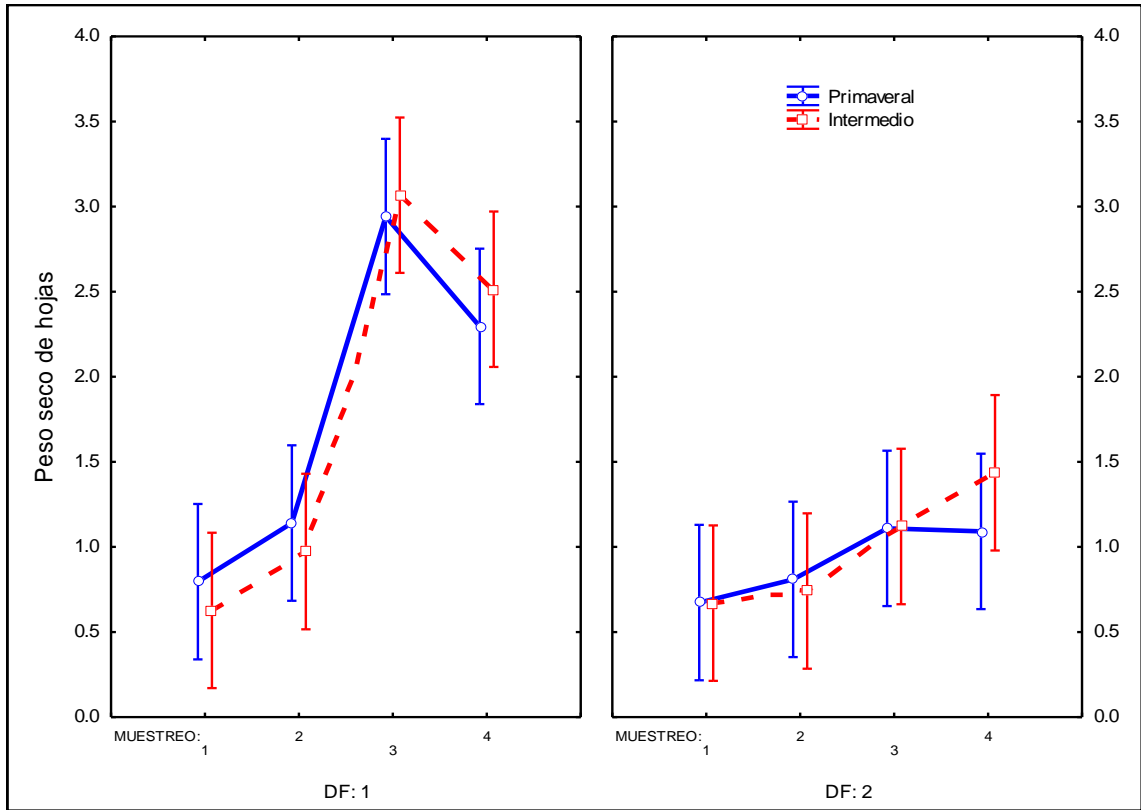


Figura 1. Patrón de acumulación de peso seco de hojas de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.

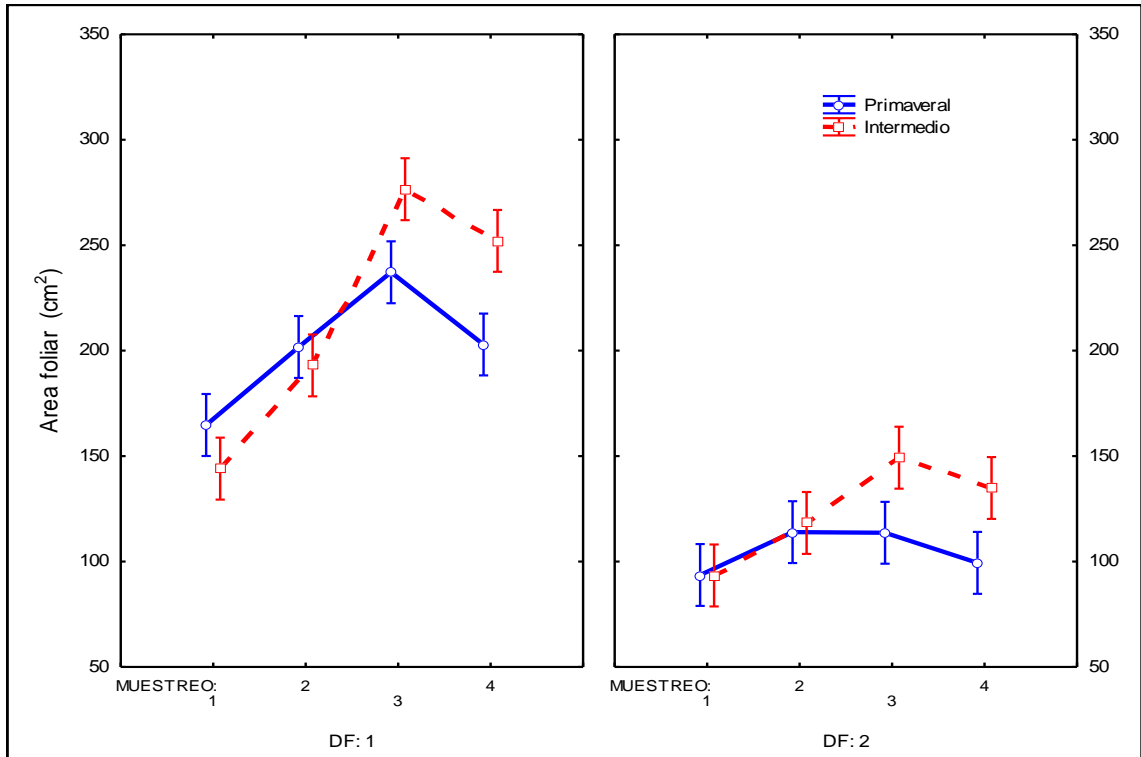


Figura 2. Patrón de acumulación de área foliar de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.

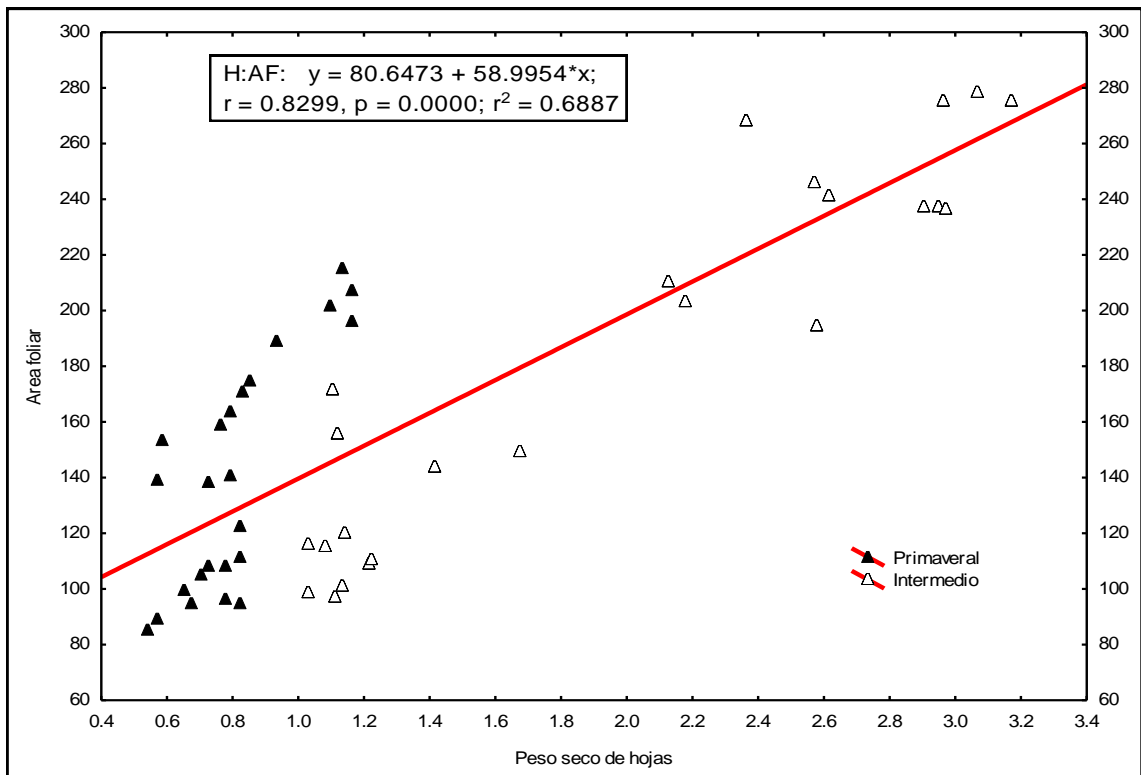


Figura 3. Relación entre el peso seco de hojas y el área foliar. Navidad 2015.

Con respecto a la acumulación de biomasa seca total a través de los muestreos (Figura 4), se observa que en ambos grupos de triticales la fertilización provocó una respuesta favorable y significativa para la acumulación de biomasa. En el caso de los hábitos de crecimiento, los tipos primaverales (Grupo 1), acumularon de un 5.4 hasta un 12.1% más biomasa seca total en comparación con los intermedios (G2), dependiendo del muestreo, lo que claramente demuestra la eficiencia en la aplicación de nitrógeno, debido a su tasa más alta de crecimiento, por su mayor precocidad.

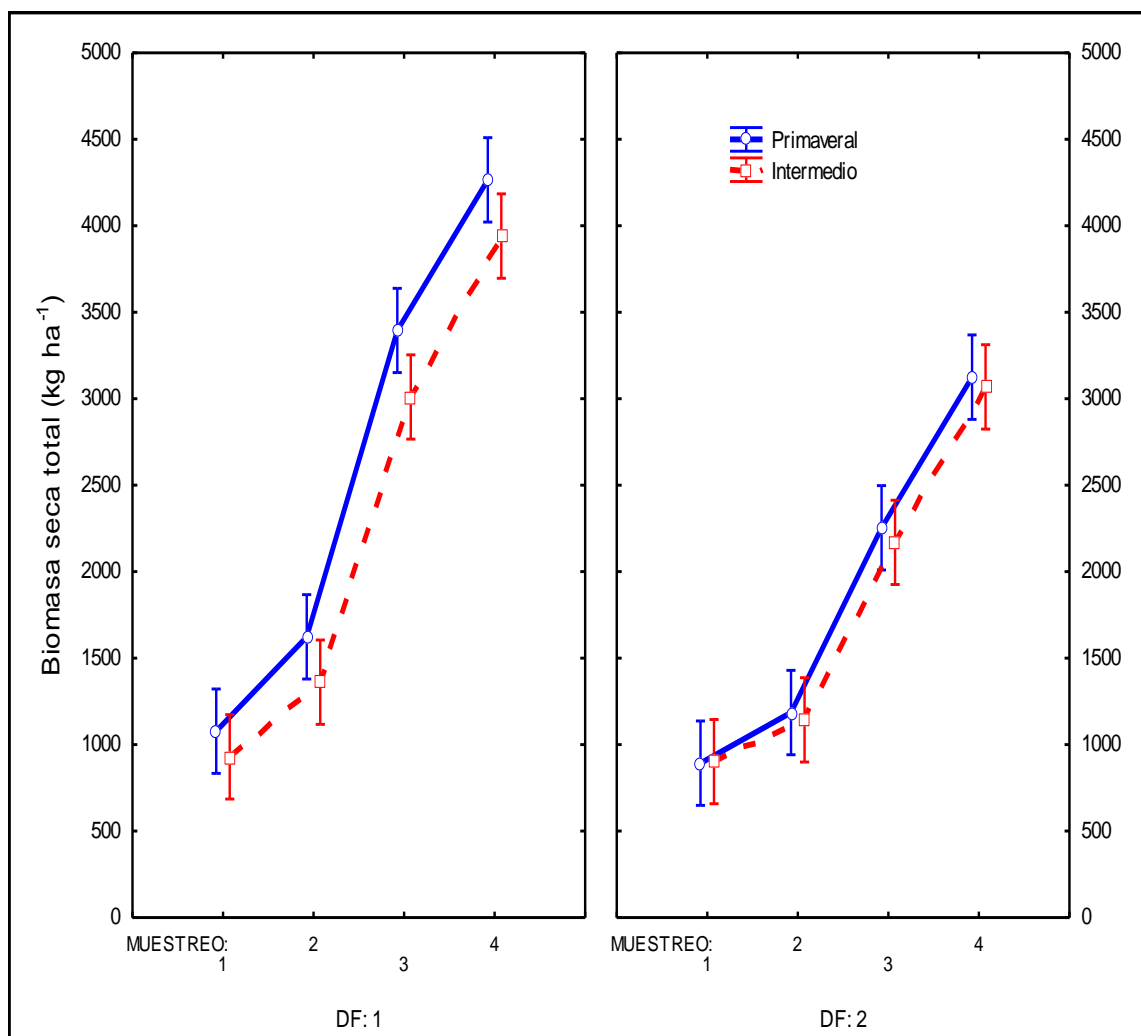


Figura 4. Patrón de acumulación de biomasa seca total de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.

Para la variable NDVI, de manera general, los grupos exhibieron una mayor área foliar con la aplicación de nitrógeno, lo cual se tradujo en mayores valores de NDVI (Figura 5). Ambos tipos de triticales exhibieron un patrón similar de valores de NDVI a través de los muestreos, sin embargo, los tipos intermedios (Grupo 2), mostraron valores mayores a los primaverales a partir del tercer muestreo. Estos resultados coinciden con lo reportado por Salas, (2003) que menciona que la disponibilidad de nitrógeno (N) para la planta es indispensable por ser un componente básico de todas las moléculas orgánicas involucradas en el crecimiento y desarrollo vegetal, particularmente del área foliar, la cual en este estudio, estuvo directamente correlacionada con los valores de NDVI, ($R^2=0.86$, Figura 6).

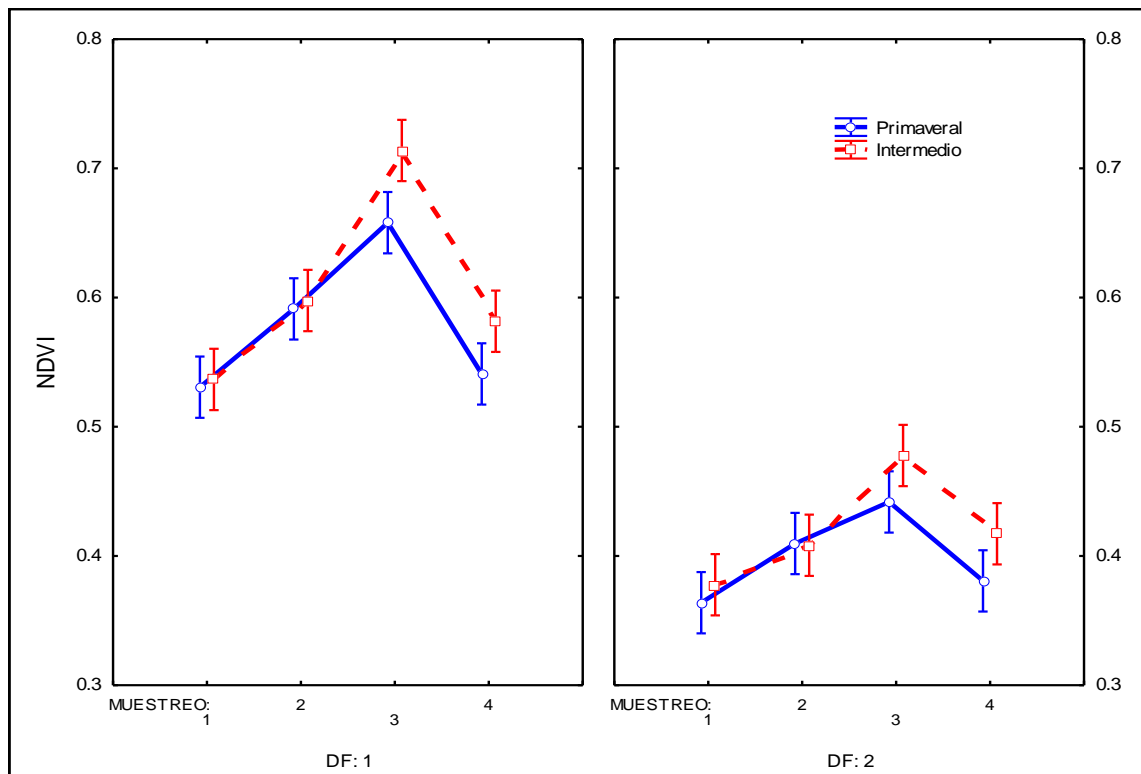


Figura 5. Lecturas de NDVI de los dos tipos de triticales a través de los 4 muestreos. Navidad 2015.

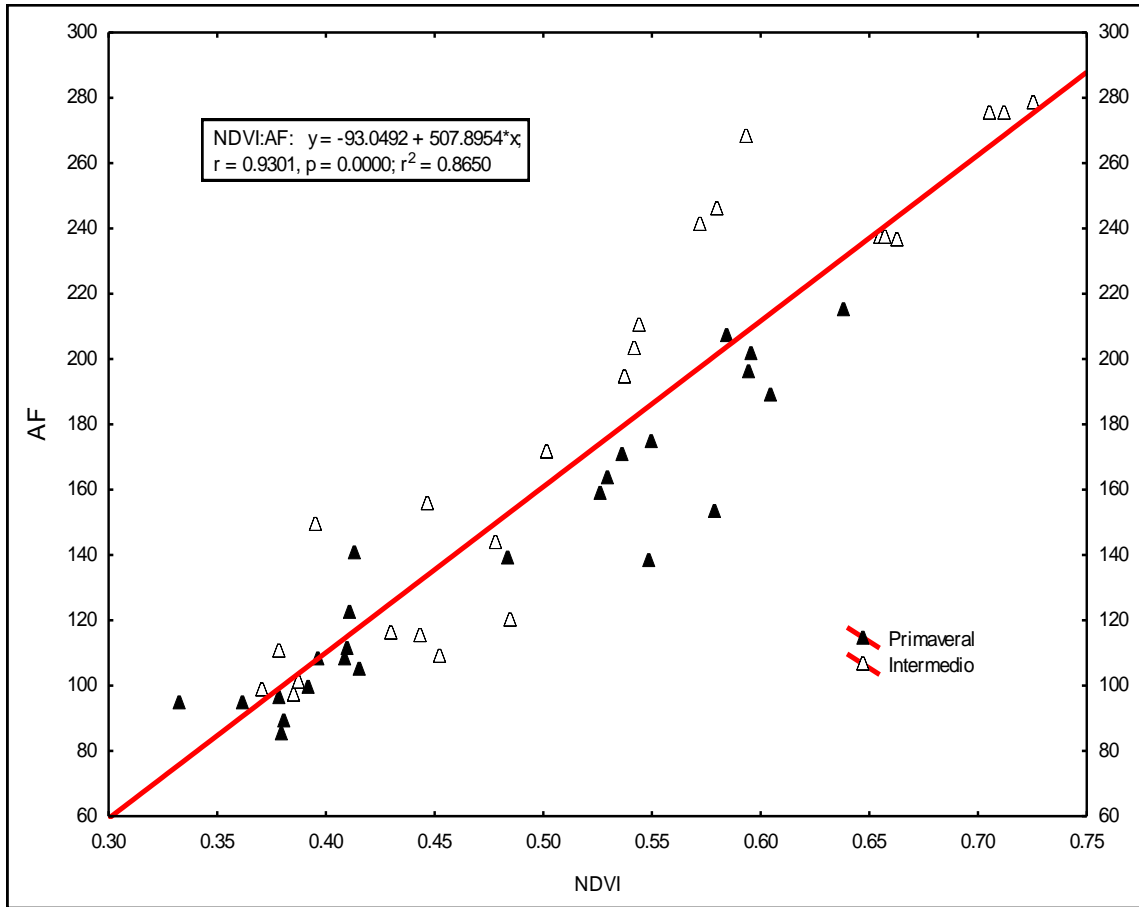


Figura 6. Relación entre lecturas de NDVI y área foliar. Navidad 2015.

Asimismo, con una relación menos predictiva, los valores de NDVI estuvieron positivamente correlacionados con el peso seco de hojas ($R^2 = 0.49$, Figura 7), y el peso seco total ($R^2 = 0.14$, Figura 8). También se registraron relaciones positivas y significativas, aunque de menor magnitud, entre el área foliar y el peso seco total ($R^2 = 0.30$, Figura 9), y entre los valores de NDVI y el peso seco total ($R^2 = 0.14$, Figura 10). Los resultados anteriores confirman al NDVI como una herramienta eficaz en la selección indirecta de biomasa, principalmente foliar, de germoplasma de triticale, particularmente cuando el objetivo principal es la explotación en etapa vegetativa del cultivo, por ejemplo, pastoreo directo, verdeo y henificado en etapa máxima de embuche.

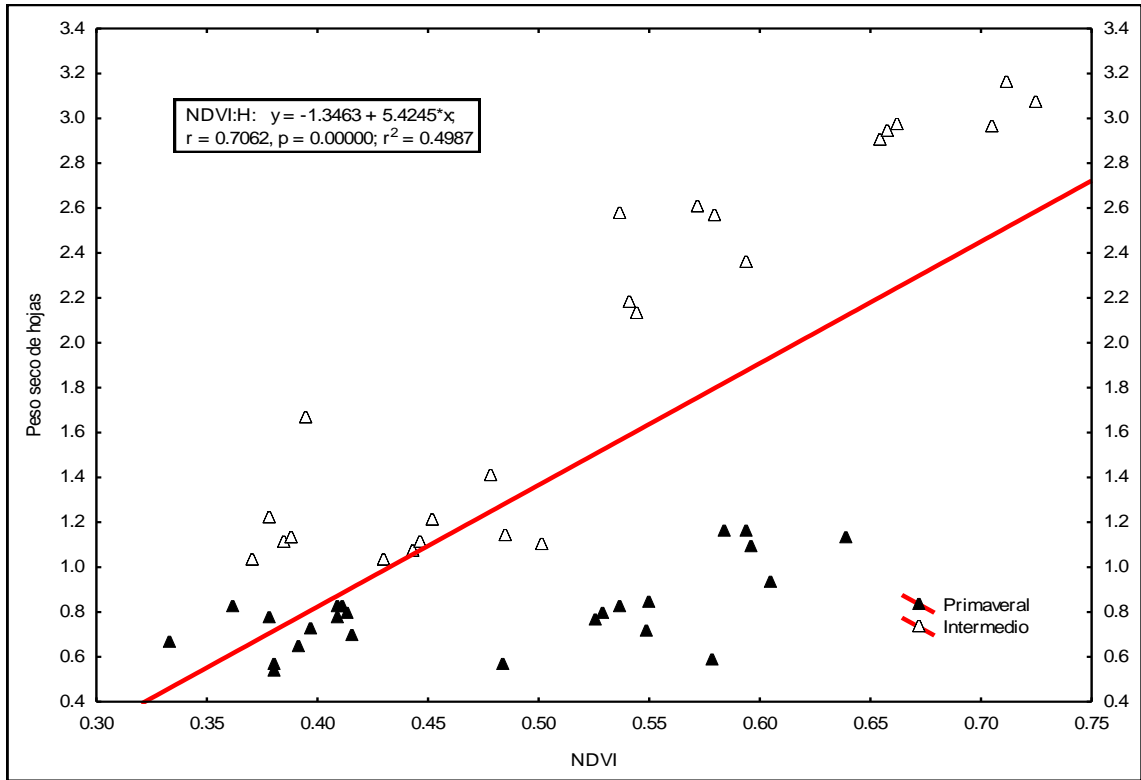


Figura 7. Relación entre lecturas de NDVI y peso seco de hojas. Navidad 2015.

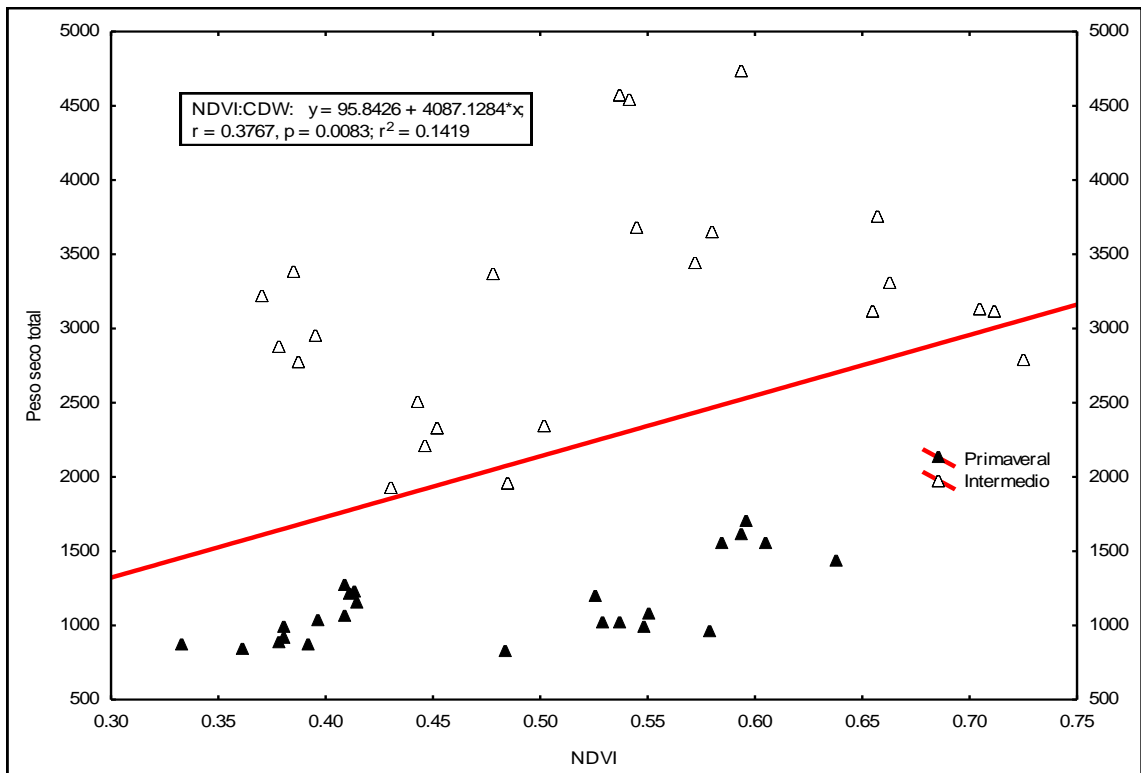


Figura 8. Relación entre lecturas de NDVI y peso seco total. Navidad 2015.

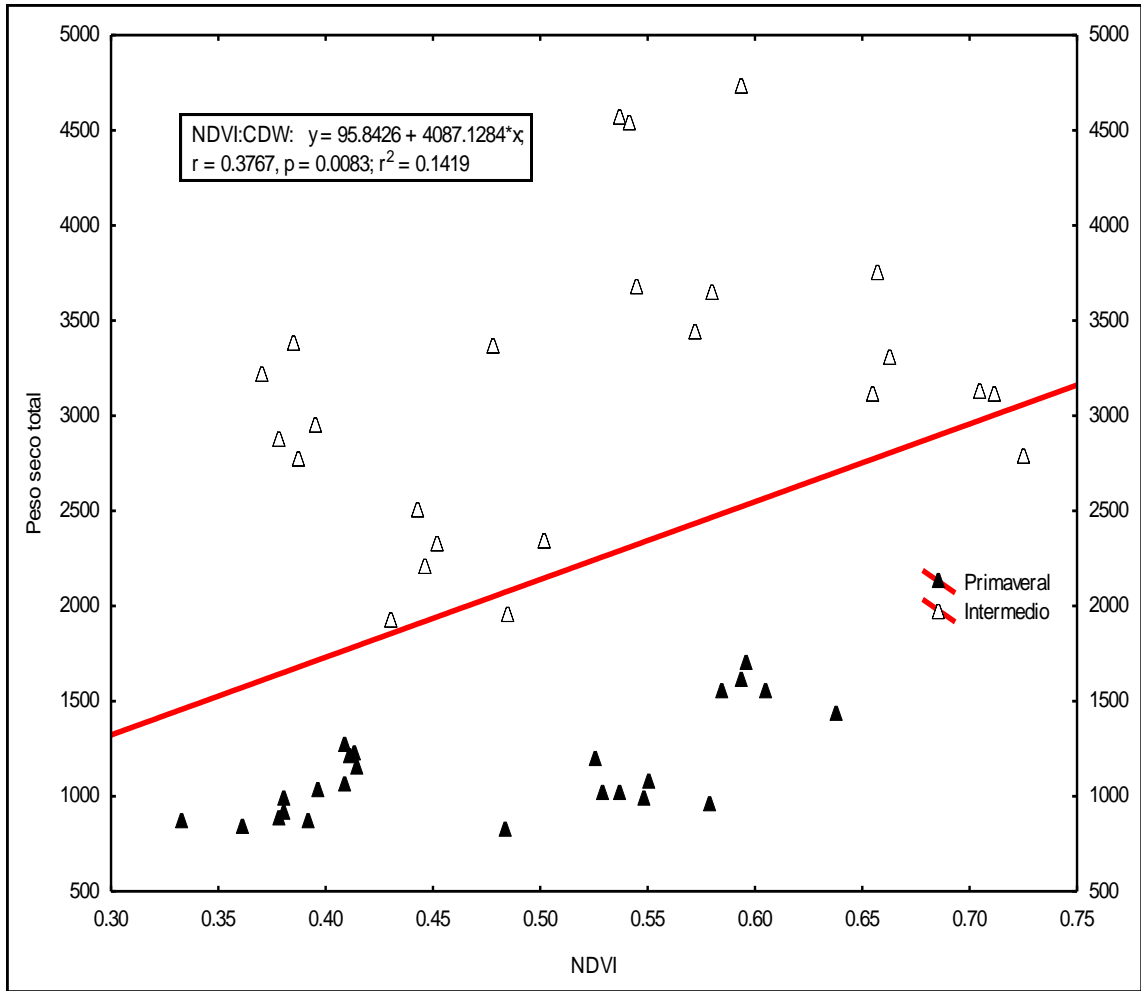


Figura 9. Relación entre lecturas de NDVI y peso seco total. Navidad 2015.

Finalmente, la relación entre el peso seco de hojas (follaje) y el peso seco total ($R^2=0.64$, Figura 10), fue positiva y significativa, por lo que el peso seco de hojas puede ser una buena herramienta en la selección de materiales más rendidores de biomasa total, particularmente durante la etapa vegetativa, aspecto muy importante en el norte y centro de México, ya que la mayoría de los tipos de explotación del triticale en estas regiones, excepto el ensilaje en la etapa de grano lechoso-masoso, se realiza durante etapas tempranas del cultivo.

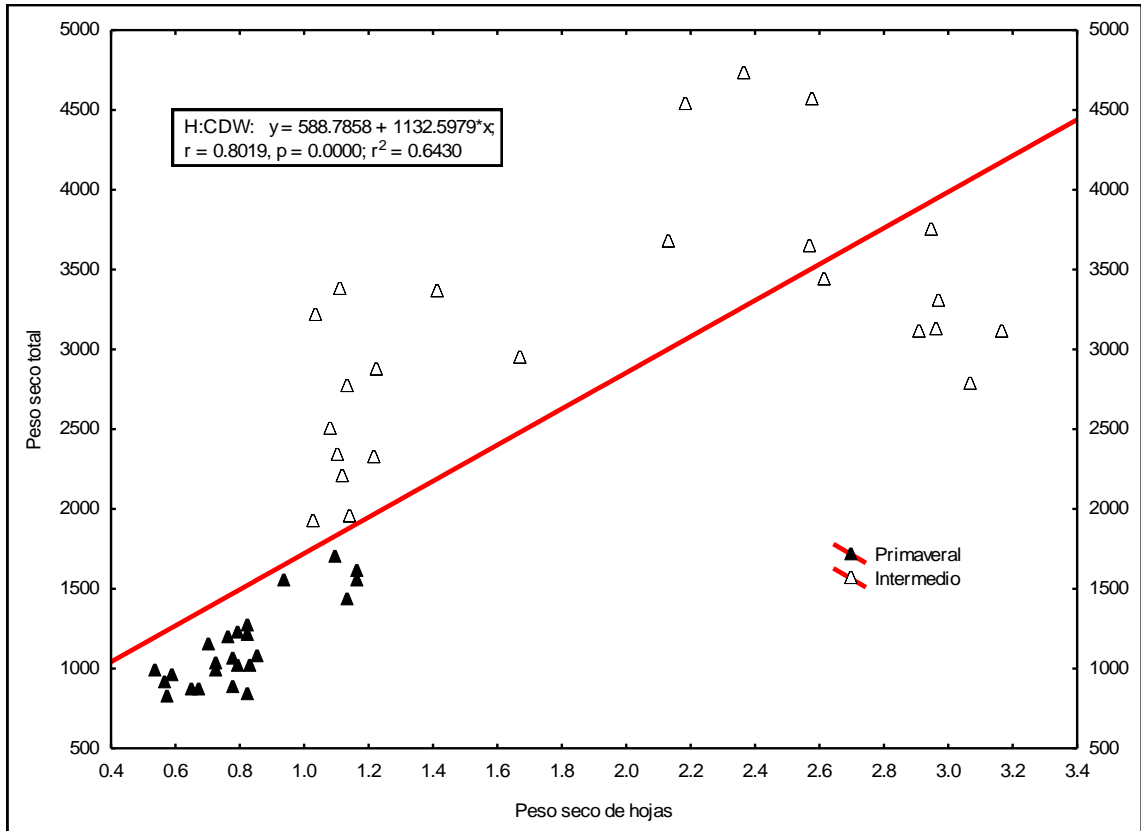


Figura 10. Relación entre peso seco de hojas y peso seco total. Navidad 2015.

CONCLUSIONES

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

- Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas en la producción de biomasa, área foliar y NDVI de los tipos de triticales cuando se cultivaron bajo dosis de fertilización contrastantes.
- De manera general la aplicación de fertilizante registró un incremento de los valores en todas las variables estudiadas, en comparación con los tratamientos no fertilizados.
- Los genotipos de hábito primaveral registraron mayores valores de biomasa seca total que los genotipos de hábito intermedio, debido a su precocidad, aunque no fueron estadísticamente superiores.
- En forma general, los valores de NDVI a través de los muestreos mostraron una correlación positiva, particularmente con la biomasa foliar y el área foliar, lo que los convierte en una eficaz herramienta para seleccionar de manera indirecta genotipos con mayor productividad de biomasa sin utilizar métodos destructivos.

LITERATURA CITADA

- Austin, R.B., Bingham, J., Blackwell, R.D., Evans, L.T., Ford, M.A., Morgan, C.L. and Taylor, M. 1980. Genetic improvements in winter wheat yield since 1890 and associated physiological changes. *J. Agric. Sci.* 94:675-689.
- Ayala-Silva, T and Beyl, C.A. (2005). Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency. *Advances in Space Research*, 35:305-317.
- Calvao T., Palmeirim J.M. (2004). Mapping Mediterranean scrub with satellite imagery: biomass estimation and spectral behaviour. *International Journal of Remote Sensing* 25, 3113–3126.
- Campillo, R. R.; Jobet, F. C. y Undurraga, D. P. 2007. Optimización de la fertilización nitrogenada para trigo de alto potencial de rendimiento en andisoles de la región de la Araucanía, Chile. *Chile. Agric. Téc.* 67(3):281-291.
- Collar, C., and Aksland, G. 2001. Harvest effects on yield and quality of winter forage. *Proc. 31st California Alfalfa and Forage Symposium*. Ca. U.C. Cooperative Extensión. University of California, Davis. Calif: 133-142.
- Gooding, M.J., Kettlwell, P.S., Davies, W.P. & Hocking, T.J. 1986. Effects of spring nitrogen-fertilizer on the Hagberg falling number of grain from breadmaking varieties of winter-wheat. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 107: 475–477.
- Kalen, D.L. and Camp, C.R. 1982. N, P and K accumulation by high-yielding irrigated maize grown on a typical Paleudult in the Southeastern U.S. Ed. *Proc. 9th Intl, Plant Nutr. Colloq.* Vol. 1. Warwick University, UK.Pp. 262-267.
- Kichey, T.; Hirel, B.; Heumez, E.; Dubois, F. and Le Gouis, J. 2007. In winter wheat (*Triticum aestivum* L.), post-anthesis nitrogen uptake and remobilisation to the grain correlates with agronomic traits and nitrogen physiological markers. *Field Crops Res.* 102:22-32.

- Lozano del Río, A, J. 2002. Triticales forrajeros para la Región Lagunera. *Revista Agropecuaria Laguna*. 29(6):4-5.
- Lozano-del Río, A. J., Zamora-Villa, V. M., Ibarra-Jiménez, L., Rodríguez-Herrera. S. A., de la Cruz-Lázaro, E., y de la Rosa-Ibarra, M. 2009. Análisis de la interacción genotipo-ambiente mediante el modelo AMMI y potencial de producción de triticales forrajeros (*X Triticosecale wittm.*). *Universidad y Ciencia*. 25(31):81-92.
- Malhi, S.S., Johnston, A.M., Schoenau, J.J., Wang, Z.H., and Vera, C.L. 2006. Seasonal biomass accumulation and nutrient uptake of wheat, barley and oat on a Black Chernozem soil in Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 86:1005-1014.
- Moore, E. L. 2005. Alternative forage crops when irrigation water is limited. *Drought Management Factsheet*. British Columbia, Canadá. 6:1-6.
- Moreno, A., Moreno, M. M.; Ribas, F. and Cabello, M. J. 2003. Influence of nitrogen fertilizer on grain yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) under irrigated conditions. *Spanish J. Agric. Res.* 1:91-100.
- Musick, J.T. and D.A. Dusek. 1980. Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. *Agron. J.* 72:45-52.
- Neal, J.S., Fulkerson, W.J., and Campbell, L.C. 2010. Differences in yield among annual forages used by the dairy industry under optimal and deficit irrigation. *Crop and Pasture Sci.* 61:625-638.
- Newbould, P. 1989. The use of nitrogen fertilizer in agriculture. Where do we go practically an ecologically? *Ecology of arable land* (Eds.). Clarholm, M. and Bergström, L. Kluwer, Dordrecht. 281-295 pp.
- National Research Council. 1989. Triticale: A promising addition to the world's cereal grains. National Academy Press, Washington, D.C. 105 pp.
- Orona, C.I., Flores, H. A., Rivera, G. M., Martínez, G., y Espinoza, A.J. 2003. Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*. 21(2):195-201.

- Ozkan, H., Genv, T., Yagnasanlar, T., and Toklu, F. 1999. Stress tolerance in hexaploid spring triticale under Mediterranean environment. *Plant Breeding*. 118:365-367.
- Parodi, P. 2003. Mayor eficiencia en el uso del nitrógeno puede aumentar la rentabilidad del trigo y hacerlo más amigable hacia el ambiente. *In*: Kohli, M. M.; Díaz, M. y Castro, M. (Eds.). *In*: Seminario Internacional Estrategias y Metodologías Utilizadas en el Mejoramiento de Trigo, La Estanzuela, Uruguay. 8-11 de octubre de 2001. CIMMYT-INIA, Colonia, Uruguay. 275-283 pp.
- 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.
- Reta, S. D., Figueroa, V.U., Faz, C.R., Núñez, H. G., Gaytán, M. A., Serrato, C. S., y Payán G.J. 2010. Sistemas de producción de forraje para incrementar la productividad del agua. *Rev. Fitotec. Mex.* 33(4):83-87.
- Rouse JW, Haas RH, Schell JA, Deering DW (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proc Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symp*, December 10–15 1974, Greenbelt, MD, 3:301–317, NASA, Washington, D.C.
- Royo, C. and Parés, D. 1995. Yield and quality of winter and spring triticales for forage and grain. *Grass and Forage Science*. 51:449-455.
- Salas, C. 2003. Nutrición mineral de plantas y el uso de fertilizantes. *In*: Meléndez, G. y Molina, E. (Eds.). *Fertilizantes: características y manejo*. Centro de Investigaciones Agronómicas, UCR, San José. 1-19 pp.
- SAS Institute Inc. 1999. *User's Guide. Statistics, Version 8.1. Sixth edition*. SAS Inc. Cary, North Carolina, USA.
- Statistica. 2001. By Statsoft Inc. U.S. A. Versión 6.1.

- Shpiler, L., and Blum, A. 1986. Differential reaction of wheat *Triticum aestivum* cultivars to hot environments. *Euphytica* 35:483-492.
- Wallace J.F., Caccetta P.A., Kiiveri H.T. (2004). Recent developments in analysis of spatial and temporal data for landscape qualities and monitoring. *Australian Ecology* 29, 100– 107.
- Ye, C.W., Díaz, S.H., Lozano-del Río, A.J., Zamora-Villa, V.M., Ayala, O.M. 2001. Agrupamiento de germoplasma de triticales por rendimiento, ahijamiento y gustosidad. *Téc. Pecu.* 39(1):15-29.
- Zamora-Villa, V.M., Lozano-del Río, A.J., López, B. A., Reyes, V. M., Díaz, S.H., Martínez, R.J., y Fuentes, R.J. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Téc. Pecu.* 40(3):229-242.

RESUMEN

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

Palabras claves: triticale, biomasa, dosis de fertilización, NDVI.