



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y  
SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD DE LAS PLANTAS  
DE SEIS CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO

TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

Presenta:

**FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ REYES**

Bajo la supervisión de: **JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ, Dr.**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Junio 2016

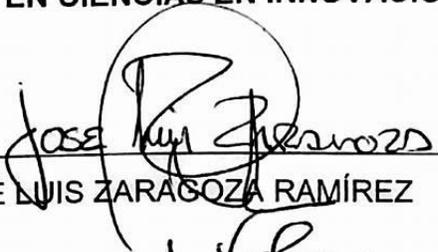
Chapingo, Estado de México

**ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD DE LAS PLANTAS  
DE SEIS CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO**

Tesis realizada por **FRANCISCO JAVIER GONZÁLEZ REYES** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA**

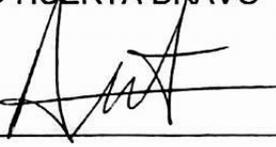
DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Ph. D. MAXIMINO HUERTA BRAVO

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Ph. D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

## CONTENIDO

1. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD DE LAS PLANTAS DE SEIS CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO .....	11
2. OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivos particulares .....	13
3. HIPÓTESIS.....	13
4. REVISIÓN DE LITERATURA .....	14
4.1 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN CULTIVOS FORRAJEROS .....	14
4.1.1 Índices de crecimiento.....	14
4.1.2 Análisis de crecimiento vegetal con modelos de regresión .....	15
4.2 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO .....	15
4.3 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA.....	17
4.4 LITERATURA CITADA .....	19
5. ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN PLANTAS DE SIES CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO .....	26
5.1 Introducción .....	26
5.2 Metodología .....	28
5.3 Resultados y Discusión.....	29
5.4 Conclusión .....	39
5.5 Literatura citada .....	40
6. DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA DE LAS PLANTAS DE SEIS CEREALES DE GRANO PEQUEÑO USADOS COMO FORRAJE .....	42
6.1 Introducción .....	42
6.2 Metodología .....	43
6.3 Resultados.....	47
6.4 Discusión .....	58

6.5	Conclusiones .....	59
6.6	Literatura citada .....	59

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Peso seco (g) de los componentes morfológicos de la avena var. Chihuahua y significancia del ajuste del modelo.....	30
Cuadro 2. Peso seco (g) de los componentes morfológicos de la cebada var. San Marcos y significancia del ajuste del modelo.....	31
Cuadro 3. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del trigo var. Cortazar y significancia del ajuste del modelo. ....	32
Cuadro 4. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticale var. Arne y significancia del ajuste del modelo.....	33
Cuadro 5. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticale var. Bicentenario y significancia del ajuste del modelo.....	34
Cuadro 6. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticale var. Siglo TCL-21 y significancia del ajuste del modelo.....	35
Cuadro 7. Valor para las variables categóricas del modelo de regresión para diferencias entre los cereales estudiados.....	46
Cuadro 8. Probabilidad para los coeficientes de regresión para los modelos de regresión con digestibilidad de la materia seca como variable continua y periodo de estudio como variable categórica, para probar diferencias en la tasa de cambio de la digestibilidad con la maduras entre periodos de estudio. ....	<b>¡Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
Cuadro 9. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de plantas enteras, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.....	49
Cuadro 10. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de hojas, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de	

regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.....	51
Cuadro 11. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de tallos, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.....	52
Cuadro 12. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de inflorescencias, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento. ....	53

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la materia seca en plantas de Avena var. Chihuahua (a y b) y Cebada var. San Marcos (c y d) estudiadas en dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)].....	36
Figura 2. Distribución de la materia seca en plantas de Trigo var. Cortazar (e y f) y Triticale var. Arne (g y h) estudiadas en dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)].....	37
Figura 3. Distribución de la materia seca en las plantas de Triticale var. Bicentenario (i y j) y Triticale var. Siglo TCL21 (k y l) estudiadas dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (i y k) y mayo a noviembre 2015 (j y l)].....	38
Figura 4. Digestibilidad in vitro de la materia seca de plantas completas (a y b) e inflorescencias (c y d) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)] en condiciones de invernadero. ....	54
Figura 5. Pérdida de digestibilidad in vitro de la materia seca de plantas completas (a y b) e inflorescencias (c y d) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)] en condiciones de invernadero. ....	55
Figura 6. Digestibilidad in vitro de la materia seca de tallos (e y f) y hojas (g y h) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)] en condiciones de invernadero. ....	56
Figura 7. Pérdida de digestibilidad in vitro de la materia seca de hojas (e y f) y tallos (g y h) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero	

evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)] en condiciones de invernadero. .... 57

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo, por permitirme desarrollar mi perfil profesional, por ofrecer un grupo de investigadores actualizados y de renombre, que forman el Posgrado en Producción Animal, para poder actualizarnos sobre los temas más trascendentales en el sector agropecuario.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por brindarme los recursos económicos para realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera.

Al Dr. José Luis Zaragoza Ramírez, por el tiempo y esfuerzo dedicado para que fuera posible la realización del presente trabajo, y por ese apoyo moral siempre positivo.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez Hernández, por su oportuna asesoría y trabajo dedicado en esta investigación, también por facilitarnos un área de trabajo en el invernadero en donde se desarrolló la presente investigación.

Al Dr. Maximino Huerta Bravo, por su aporte y apoyo para la mejoría de este trabajo.

A mi Familia: a mis padres, mi hermana y hermano que siempre me externaron su apoyo, a mi esposa y a mi hijo por ser un pilar de apoyo en todo momento. En especial a mi esposa quien fue actor clave con ese gran carisma y consejos oportunos que fomentaron esfuerzo y dedicación.

*Gracias...*

## DATOS BIOGRÁFICOS



### Datos Generales:

Nombre: Francisco Javier González Reyes  
Fecha de Nacimiento: 03 de diciembre de 1990  
Lugar de Nacimiento: H. Ciudad de Tlaxiaco, Oaxaca  
Cartilla militar: D-2191901  
CURP: GORF901203HOCNYR05  
Profesión: Ingeniero Agrónomo Especialista en Zootecnia  
Cédula Profesional: 08764289

### Desarrollo Académico

Medio Superior: Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.  
Licenciatura: Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México.  
Maestría: Posgrado en Producción Animal. Universidad Autónoma Chapingo.

# 1. ACUMULACIÓN DE MATERIA SECA Y DIGESTIBILIDAD DE LAS PLANTAS DE SEIS CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO

## DRY MATER ACCUMULATION AND DIGESTIBILITY OF THE PLANTS OF SIX FORAGE SMALL GRAIN CEREALS

Francisco Javier **González-Reyes**<sup>1</sup> y José Luis **Zaragoza-Ramírez**<sup>2</sup>

### RESUMEN

Los objetivos fueron estudiar la acumulación de materia seca (MS), su distribución en las plantas y los cambios en la digestibilidad de la MS (DMS), en plantas de avena var. Chihuahua, cebada var. San Marcos, trigo var. Cortazar, triticale var. Arne, triticale var. Bicentenario y triticale var. Siglo TCL21, en condiciones de invernadero y maceta, por dos ensayos de crecimiento independientes. El diseño fue completamente al azar con tres repeticiones. Tres macetas de treinta plantas para cada cereal fueron seleccionadas al azar a los 14, 32, 43, 66, 75, 95, 107, 120, 137 y 152 días post-siembra. Las raíces, hojas, tallos e inflorescencias de las plantas fueron separados, secados y pesados en seco. Los datos para MS se analizaron como mediciones en el tiempo y para DMS con modelos de regresión. Las plantas acumularon MS progresivamente y la DMS disminuyó con el tiempo ( $p < 0.05$ ). Al inicio del crecimiento se acumuló más MS en las hojas. Previo y al comienzo de la etapa reproductiva se acumuló más MS en tallos e inflorescencias ( $p < 0.05$ ). La DMS disminuyó a diferentes tasas con el tiempo, en algunos cereales ( $p < 0.05$ ), excepto para las inflorescencias ( $p > 0.05$ ). Los cereales acumularon MS durante el crecimiento post-siembra en el siguiente orden, hoja, tallo e inflorescencia. La digestibilidad de la MS disminuyó con el tiempo post-siembra.

**Palabras clave:** Cereales forrajeros, digestibilidad *in vitro*, componentes morfológicos, distribución de materia seca.

<sup>1</sup> Tesista  
<sup>2</sup> Director

### ABSTRACT

The objectives were to study the dry matter (DM) accumulation, the dry matter distribution and the changes on digestibility of dry matter (DMD) over time in plants of oats var. Chihuahua, barley var. San Marcos, wheat var. Cortazar, triticale var. Arne, triticale var. bicentenario, and triticale var. Siglo TCL21. Cereals were maintained under greenhouse-pot conditions, in two independent growing trails. The experimental design was a completely randomized. Three pots of thirty pots for each cereal were randomly chosen at 14, 32, 43, 66, 75, 95, 107, 120, 137 y 152 days after seeding. The roots, leaves, stems and inflorescences from the plants of each cereal were taken away from the plants, placed into paper bags, dried and weighed when dried. The data for DM was analyzed using a mixed model with repeated measures. The data set for DMD was analyzed using regression models. The effects of growing trail and cereal genotype on DMD were evaluated as categorical variables using regression techniques. All plants progressively accumulated DM and their DMD decreased over time ( $p < 0.05$ ). At the beginning of the growth the plants accumulated more DM in leaves, and in the stems or spikes at the starting of the reproductive phase. A significant decreased of DMD was observed, in some cereals at different rate. The cereals accumulated DM in the following order leaves, steam and spikes as they grown. The DMD decreased with post-seeding time.

**Palabras clave:** Forage cereals, *in vitro* digestibility, morphological components, distribution of dry matter.

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los forrajes son parte esencial en la alimentación de rumiantes, y por lo cual han sido objeto de estudio (Esperance y Ojeda, 1997; De Riba *et al.* 1990), enfocándose primordialmente a la cantidad de materia seca cosechada en los estados de desarrollo de embuche, grano lechoso, grano lechoso masoso y grano maduro, en diferentes condiciones agroecológicas (Royo *et al.*, 1997; Paponov *et al.*, 1999; Catrileo *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Ferrazza *et al.* 2013; Ullah *et al.*, 2015). La digestibilidad de la materia seca del forraje, es determinante en la calidad de los forrajes y del consumo voluntario de los rumiantes (Girard y Dupuist, 1988; Jung y Allen, 1995), diversos estudios muestran que la digestibilidad presenta una relación negativa con la madurez de las plantas y producción de materia seca (Dumont y Lanuza, 1990; Rojas *et al.*, 2004; y Østrem *et al.*, 2015).

Durante el desarrollo de las plantas la tasa de fotosíntesis y la tasa de respiración durante el periodo de crecimiento son determinantes. Ambos aspectos fisiológicos presentan diferencias entre plantas debido a la intensidad de la radiación solar incidente en las hojas para cada una de las plantas y la temperatura de la atmósfera que rodea a dichas plantas en crecimiento (Salisbury y Ross, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2000). En ese desarrollo de las plantas, la digestibilidad disminuye, y es debido a composición química de sus paredes celulares y al aumento de número de tallos por planta (Rojas *et al.*, 2004; Eskandari *et al.*, 2009; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011).

Se han encontrado diferencias en la cantidad de materia seca cosechada y digestibilidad en los cereales de grano pequeño, para ciertos estados de desarrollo de las plantas (Stuthman y Marten 1972; Cherney y Marten 1981; Dumont y Lanuza, 1990; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011), pero se desconoce el proceso de acumulación de materia seca y sus consecuencias sobre la digestibilidad durante el crecimiento de las plantas de los cereales.

## 2. OBJETIVO

La finalidad de la presente investigación fue analizar el crecimiento de plantas de triticale (*X Triticosecale Wittmack*) var. Arne, var. Siglo TCL21 y var. Bicentenario, de trigo (*Triticum aestivum* L.) var. Cortazar, de cebada (*Hordeum vulgare* L.) var. San Marcos y de avena (*Avena sativa* L.) var. Chihuahua; y la digestibilidad de la materia seca acumulada por estas plantas, para entender el proceso de crecimiento y los cambios en la digestibilidad con el tiempo o avance en la edad de las plantas.

### 2.1 Objetivos particulares

1. Analizar la acumulación de materia seca en plantas de seis genotipos de cereal de grano pequeño con el progreso del tiempo post-siembra, como sinónimo del avance de la madurez de las plantas, para comprender los cambios en el peso seco de las plantas de cereales forrajeros.
2. Analizar la distribución de la materia seca en las plantas con la finalidad de identificar la contribución de cada componente morfológico de la planta en el proceso de acumulación de la materia seca total.
3. Analizar los cambios en la digestibilidad de la materia seca con el tiempo post-siembra entre ensayos de crecimiento y genotipos de cereales con la finalidad de validar la técnica cuando se carece de repeticiones por costos o tiempo en el laboratorio.

## 3. HIPÓTESIS

Los cereales, a pesar de pertenecer a la misma familia, crecen a diferentes ritmos y la tasa de digestibilidad de su materia seca es diferente cuando crecen en las mismas condiciones ambientales.

## 4. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1 ANÁLISIS DE CRECIMIENTO EN CULTIVOS FORRAJEROS

En las plantas, el crecimiento son cambios irreversibles con el tiempo, en tamaño, forma, peso y en número (Rojas, 1979; Hunt, 1982), la magnitud de los cambios depende de la genética de las plantas, de la temperatura ambiental, humedad del suelo y de la radiación solar fotosintéticamente activa que incide sobre las plantas, de la frecuencia e intensidad del corte, y del tipo y nivel de fertilidad del suelo (Kelling y Fixen, 1992; Raun y Johnson, 1999; Hawkesford, 2014). El crecimiento se puede analizar con curvas de acumulación de peso seco en la planta y las partes del mismo, mediante un modelo matemático cuyos parámetros revelan la magnitud de cambio en el peso seco (Janick *et al.*, 1970; Hunt, 1990; Pagliaricci *et al.*, 2000; González *et al.*, 2005).

#### 4.1.1 Índices de crecimiento

Los índices de crecimiento se emplean para medir al potencial de las plantas forrajeras, para acumular materia seca; así como la influencia de factores ambientales y agronómicos sobre este potencial. Estos índices son la tasa de crecimiento absoluto (g de materia seca por día) y tasa de crecimiento relativo (g de materia seca por g de materia existente en la planta por día; Hunt, 1982). El valor de los índices está determinado por la capacidad fotosintética del genotipo forrajero, la intensidad de la radiación solar incidente sobre el cultivo, de la temperatura del ambiente inmediato a las plantas, de la fertilidad del suelo, de la disponibilidad de agua y del efecto de los factores agronómico a los que está expuesto el cultivo (Janick *et al.*, 1970; Hunt, 1990; Sevilla *et al.*, 2001; Castañeda *et al.*, 2004; Espitia *et al.*, 2012). El índice más empleado, en estudios de análisis de crecimiento, es la tasa absoluta de crecimiento. Con base a esta se han demostrado pequeñas diferencias entre el triticale (35.50), la avena (38.31) y la cebada (33.90 kg MS ha<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>) en la cantidad de materia seca acumulada por día (Sevilla *et al.*, 2001); Así como la influencia de condiciones ambientales de las estaciones del año, primavera (98), seguida del verano (53), otoño (34) e

invierno ( $22 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ), sobre el potencial para acumular materia seca de las praderas irrigadas perennes (González *et al.*, 2002).

#### **4.1.2 Análisis de crecimiento vegetal con modelos de regresión**

Para analizar el crecimiento de las plantas, como acumulación de materia seca, se colectan datos a intervalos regulares de tiempo (Hunt, 1990), a los cuales se puede ajustar modelos de regresión lineal simple y modelos de regresión no lineales (Freund y Littel, 2000; Myers, 1990; Charles-Edwards *et al.*, 1986) o analizar como mediciones repetidas en el tiempo, con modelos mixtos (Littel *et al.*, 2006). El uso de modelos de regresión no lineal o del análisis como mediciones repetidas en el tiempo es lo más común para describir el proceso de acumulación de materia seca (Fernández, 2001; Dumont *et al.*, 2005; Ross *et al.*, 2005; Restelatto *et al.*, 2013).

Los valores para los parámetros, de los modelos lineal o no lineal de crecimiento, se emplean para explicar y comparar el proceso de acumulación de peso seco por unidad de tiempo o por unidad de peso seco de los diferentes genotipos de plantas forrajeras, condiciones ambientales y agronómicas de crecimiento. Tres modelos de crecimiento, de la familia de modelos no lineales, son el de Gompertz, el de la curva logística y el Richards (Nobile *et al.*, 1982). El modelo de Chapman-Richards se utiliza para explicar el crecimiento con altura de las plantas y para determinar momento óptimo para la cosecha (Juárez *et al.*, 2005). Para elegir el mejor modelo se analiza el cuadrado medio del error, el valor para el criterio de Akaike, para criterio de información bayesiano, y para el coeficiente de determinación; o se analizan los residuos y la dósima de Durbin-Watson (Posada y Rosero, 2007).

## **4.2 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO**

A nivel nacional, el rendimiento promedio de materia seca (MS), se estimó en 28, 16 y 12 t ha<sup>-1</sup> para el triticale, la cebada, el trigo y la avena, respectivamente (SIAP, 2012). Mientras que para cereales de grano

pequeño cultivados en la Región de la Laguna, se reportan rendimientos de 8.5 a 12.8 t MS ha<sup>-1</sup> (Rico *et al.*, 2009).

La avena (*Avena sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), cebada (*Hordeum hexastichon* L. = (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*)), centeno (*Secale cereale* L. ssp. *cereale*) y triticale (*X Triticosecale sp* ), se agrupan como cereales de grano pequeño con potencial para producir forraje fresco, para henificar o ensilar (Dumont, 1989). Se cultivan en condiciones de temporal en muchos ambientes agroclimáticos de la República Mexicana (Rico *et al.*, 2009; Núñez *et al.*, 2010; SIAP, 2012; INEGI, 2015), cuyos rendimientos de materia seca varían de un lugar a otro debido a diferencias en las circunstancias ambientales y edáficas en las que se establecen (Venanzi y Krüger, 2004; Gutiérrez *et al.*, 2005; Rico *et al.*, 2009; Carrillo *et al.*, 2010; SIAP, 2012; Espitia *et al.*, 2012). En trigo, los mayores rendimientos se han cosechado en suelos de mayor fertilidad y con riego (5.0 a 5.5 t MS ha<sup>-1</sup>) comparado con suelos de menor fertilidad (1.8 a 2.0 t MS ha<sup>-1</sup>; Gutiérrez *et al.*, 2005); o cuando se aplica fertilizante nitrogenado y fosforado, como en el caso de la cebada donde se han cosechado entre 3.2 y 3.9 t MS ha<sup>-1</sup> (Carr *et al.*, 2004). Por ejemplo, en cultivos de avena y trigo, fertilizados con 60 kg de nitrógeno ha<sup>-1</sup>, se cosecharon 15.4 y 7.1 t MS ha<sup>-1</sup> en una parcela en Chihuahua, respectivamente (Carrillo *et al.*, 2010).

La cantidad de materia seca cosechada está estrechamente asociada al grado de madurez de las plantas del cultivo. Por ejemplo, la cantidad de materia seca cosechada en cultivos de triticale y de avena fue mayor en grano maduro que en embuche (Rojas *et al.*, 2004; Espitia *et al.*, 2012). Para avena cultivada en tierras de temporal de los estados de Hidalgo, Tlaxcala y México se reporta un aumento progresivo en la cantidad de materia seca (3 a 19.5 t MS ha<sup>-1</sup>) acumulada con el avance en estado de desarrollo de las plantas (embuche, antesis, inflorescencia, grano lechoso y grano masoso), y la mayor cantidad de materia seca cosechada fue en el estado de desarrollo de grano masoso (Espitia *et al.*, 2012).

### 4.3 DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA

Una manera de calificar la calidad de la materia seca, es con el índice de digestibilidad. Este índice representa la proporción de la materia seca que es digerida por los microorganismos del rumen, en condiciones anaeróbicas. La proporción se multiplica por 100 para reportar la cantidad de materia seca digerida en porcentaje. Las partes digeridas son el contenido celular, y la celulosa y hemicelulosa de la pared celular no unidas a la lignina (Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011). La materia seca de las hojas, de las plantas forrajeras, es la más digestible que la materia seca de los tallos y entre más joven sea la planta forrajera más digestible es su materia seca (Dumont, 1990, Manríquez, 1994; Eskandari *et al.*, 2009). Es decir, la digestibilidad es la parte digestible de la materia seca, y disminuye con el progreso del estado de madurez o edad de la planta (Dumont y Lanuza, 1990; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011).

Las plantas forrajeras en estado vegetativo son más digestible que en estados avanzados de crecimiento (Dumont y Lanuza, 1990; Catrileo *et al.*, 2003; Wallsten *et al.*, 2010; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011), debido a la mayor cantidad de hojas en relación al tallo y al menor contenido de lignina en la pared celular de tallos y hojas. Cuando las hojas y tallos de las plantas son jóvenes predomina la pared celular primaria cuya composición es a base de celulosa y hemicelulosa (Reid *et al.*, 1987; Harris y Smith 2006). Por esta razón las plantas de los principales cereales forrajeros son menos digestibles al momento de ser cosechados en estados de desarrollo avanzados (Catrileo *et al.*, 2003 y Rojas *et al.*, 2004; Pearson *et al.*, 2007; Eskandari *et al.*, 2009; Restelatto *et al.*, 2013).

La digestibilidad de un forraje se estima por tres métodos, el método *in vivo*, el método *in situ* y el método *in vitro* (Galyean, 1980; Catrileo *et al.*, 2003; Pearson *et al.*, 2007; Rico *et al.*, 2009; Wallsten *et al.*, 2010; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011). El método *in situ* consiste en introducir una bolsa de fibra con la muestra de forraje en el rumen de un animal con fistula ruminal, para un periodo de incubación de 48 horas (Ørskov *et al.*, 1980) o 96 horas (Ceballos *et al.*, 2008). El método *in vitro* o de Tilley y Terry consiste de dos fases de

incubación, con líquido ruminal y con pepsina, ambas con un periodo de duración de 48 horas. Se reporta una estrecha relación entre los métodos *in vitro* e *in situ* con un coeficiente de determinación de 0.95 para la línea de regresión que los relaciona (Giraldo *et al.*, 2007). Ceballos *et al.* (2008) reporta una correlación 0.8717 y un coeficiente de determinación de 0.7746 para el respectivo modelo de regresión entre ambos métodos. Estos resultados revelan que con ambos métodos es confiable determinar la digestibilidad de la materia seca.

El método más empleado es el de *in vitro* o Tilley y Terry y con el cual se ha estimado la digestibilidad de la materia seca del forraje de los cereales de grano pequeño. Con este método, se reporta digestibilidad del 69.6, 68.1 y 66.1%, para ensilados de trigo en floración, grano lechoso y grano masoso, respectivamente (Weinberg *et al.*, 2009), de 61.7 y 51.7%, para trigo cosechado a 45 y 90 días post-siembra, respectivamente (Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011). Para ensilado de avena, las digestibilidades reportadas son de 57.6 y 56% en estado de panoja emergida, y de 46.8 y 48% para grano pastoso (Dumont *et al.*, 1989). Para heno de avena la digestibilidad fue del 85 y 42% al cosecharla a los 69 y 146 días post-siembra, respectivamente (Dumont y Lanuza, 1990), del 61.3, 37.2 y 62.7% para las hojas, el tallo y la panícula de la avena, respectivamente y del 63.7% para avena estrigosa forrajera en inicio de floración (Assefa y Ledin, 2003). Para triticale en estado de desarrollo de “apertura de bota” y en “grano maduro”, se reporta una digestibilidad del 74.6% y 62.3%, respectivamente (Rojas *et al.*, 2004); y para cebada 70% de digestibilidad en estado de grano lechoso masoso y de 55% para grano maduro (Catrileo *et al.*, 2003). En general, se cosecha materia seca más digestible en estados de desarrollo de embuche e inflorescencia que cuando se ha formado el grano (Núñez *et al.*, 2010; Wallsten *et al.*, 2010). Catrileo *et al.* (2003) y Rojas *et al.* (2004) proponen 70% de digestibilidad de la materia seca para calificar un forraje como de buena calidad.

En conclusión, la digestibilidad de la materia seca disminuye con el avance del estado de desarrollo debido a acumulación de lignina en la pared celular.

#### 4.4 LITERATURA CITADA

- Azcón-Bieto J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Ediciones Universitarias Barcelona. Madrid, España. 552 p.
- Assefa, G. and I. Ledin. 2003. Effect of variety, soil type and fertiliser on the establishment, growth, forage yield, quality and voluntary intake by cattle of oats and vetches cultivated in pure stands and mixtures. *Animal Feed Science and Technology* 92: 95–111.
- Carr, P. M., R. D. Horsley, and W. W. Poland. 2004. Barley, oat, and cereal-pea mixtures as dryland forages in the northern great plains. *Agronomy Journal* 96: 677–684.
- Carrillo, R. R., M. H. Esqueda C., A. D. Báez G., G. L. Reyes, M. H. Royo M., and J. L. Ibave G. 2010. Inoculation and nitrogen fertilization for forage production in annual ryegrass, oats and wheat. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 01: 131–143.
- Castañeda S., C. M., C. López C., J. Molina M., T. B. Colinas L., and A. Livera H. 2004. Growth and development of barley and wheat. *Revista Fitotecnia de México* 27: 167–175.
- Catrileo S., A., C. Rojas G., and J. Matus C. 2003. An evaluation of the production and quality of barley sown alone or combined with forage species for the production of silage. *Agricultura Técnica* 63: 135-145.
- Charles-Edwards, D., D. Doley, and G. Rimmington. 1986. *Modelling Plant Growth and Development*. Academic Press Australia. Australia. 235 p.
- Cherney, J. H., and G. C. Marten. 1982. Small grain crop forage potential: I. Biological and chemical determinants of quality, and yield. *Crop Science* 22: 227-231.
- Ceballos, A., R. R. Noguera, D. M. Bolívar, and S. L. Posada. 2008. Comparación de las técnicas *in situ* de los sacos de nylon e *in vitro*

(Daisy II) para estimar la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development* 20: 7 p.

De Riba, C., F. Casaña, A. M. C. Verdù, E. Sánchez y Ll. Bosh. 1990. Evaluación del triticale y el ray-grass como forraje de invierno en siembra tardía. *Información Técnica Económica Agraria* 86: 51-58.

Dumont L., J. C., R. Anrique G., and D. Alomar C. 2005. Effect of two systems of dry matter determination on the chemical composition and quality of direct cut oat silage at different phenological stages. *Advances in Mathematics* 65: 388–396.

Dumont, J. C. L., and F. Lanuza. A. 1990. Yield and chemical composition of oats (*Avena sativa* L.), at different stages of maturity. *Agricultura Técnica* 50: 1–6.

Dumont L., J. C., F. Lanuza A., H. F. Elizalde V., R. Anrique G., and S. Ferrada N. 1989. Utilization of silage made whit oats harvested at two different stages of growth and response to protein supplementation, in dairy heifers. *Agricultura Técnica* 49: 31–35.

Eskandari, H., A. Ghanbari, and A. Javanmard. 2009. Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Notulae Scientia Biologicae* 1: 7-13.

Esperance, M., y F. Ojeda. 1997. Conservación de Forrajes. *Forrajes y Pastos* 20: 45-71.

Espitia Rangel, E., H. E. Villaseñor M., R.Tovar G., M. de la O O., and A. Limón O. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 771–783.

Fernández G., R. 2001. Effects of winter nitrogen fertilization upon forage accumulation in a native pasture of the flooding pampa, Argentina. *Agricultura Técnica* 61: 319–325.

- Ferrazza, J. M., A. B. Soares, T. N. Martin, A. L. Assmann, and V. Nicola. 2013. Produção de forrageiras anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. *Revista Ciência Agronômica* 44: 379-389.
- Freund J. R. and R. C. Littell. 2000. SAS® System for Regression. Third edition. SAS institute Inc., Cary NC, USA. 236 p.
- Galyean, M. 1989. Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research. Department of Animal and Life Science. New México State University, USA. 188 p.
- Girard, V., and G. Dupuis. 1988. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially digestible fiber, intake, and true digestibility by ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 68:787-799.
- Giraldo, L. A., L. A. Gutiérrez, and C. Rúa. 2007. Comparison between *in vitro* protocols for estimating true digestibility of several tropical forages. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20: 269-279.
- González, L. M., L. Argentel, N. Zaldívar y R. Ramírez. 2005. Efecto de la sequía simulada con PEN-6000 sobre la germinación y el crecimiento de las plántulas de dos variedades de trigo. *Cultivos Tropicales* 26: 49-52
- González, W. L., E. Fuentes-Contreras, and H. M. Niemeyer. 2002. Host plant and natural enemy impact on cereal aphid competition in a seasonal environment. *Oikos* 96: 481-491.
- Gutiérrez, L., S., Pérez, M., Cabrera, R., Villasana, M., López-Cervantes, H., Uranga y S., Marrero. 2005. Algunas experiencias en la producción de trigo cubano. *In: Memorias VI Taller Internacional de Recursos Fitogenéticos*. Sancti Spíritus. Cuba. 180 p.
- Harris, P. J., and B. G. Smith. 2006. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 129-143.

- Hawkesford, M. J. 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science* 59: 276-283.
- Hunt, R. 1982. *PLANT GROWTH CURVES. The functional approach to plant growth analysis.* Ed. Thomson Litho Ltd. East Kilbride, Scotland. Grain Britain 248 p.
- Hunt, R. 1990. *Basic Growth Analysis: Plant Growth Analysis for Beginners.* Urwin Hyman Ltd. Londres, Great Britain. 112 p.
- INEGI. 2015. <http://www3.inegi.org.mx>. Consultada el 3 de diciembre de 2015.
- Janick J., R., W. Schery F., W. Woods, and V. W. Ruttan. 1970. *PLANT AGRICULTURE.* Edit. W. H. Freeman and Company. Scientific American Inc. United States of America. 246 p.
- Juárez de Galindez, M., A. M. Giménez, N. Ríos y M. Balzarini. 2005. Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos. *Revista Quebracho* 12: 34-42.
- Jung, H. G., and M. S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 2774-2790.
- Kelling, K. A., and P. E. Fixen. 1992. Soil and nutrient requirements for oat production. *In: Oat Science and Technology.* American Society of Agronomy. 165-190.
- Littell C. R., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger and O. Schabenberger. 2006. *SAS for Mixed Models.* Second edition. SAS Institute Inc., Cary NC, USA. 834 p.
- Manríquez, J. A. 1994. La digestibilidad como criterio de evaluación de alimentos, su aplicación en peces y en la conservación del medio ambiente. *In: Control de calidad de insumos y dietas acuáticas.* FAO. México. pp: 67-72.

- Mejia-Delgadillo, M. A., E. G. Álvarez-Almora, J. M. Pinos-Rodríguez, J. F. Ponce-Medina, A. Plascencia-Jorquera, L. F. Escoboza-García, and J. Rodríguez-García. 2011. Digestion of wheat hay as compared to alfalfa and ryegrass in steers. *Agrociencia* 45: 13–21.
- Myers, R. H. 1990. *Classical and Modern Regression with Applications*. Boston, USA. PWS-KENT Publishing Company. 488 p.
- Núñez H., G., J. A. Payán García, A. Pena Ramos, F. González Castañeda, O. Ruiz Barrera, and C. Arzola A. 2010. Forage quality and agronomic characterization of annual forage species in North-Central Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 1: 85–98.
- Nobile A. G., L. M. Ricciardi and L. Sacerdote. 1982. On Gompertz growth model and related difference equations. *Biological Cybernetics* 42: 221–229.
- Ørskov, E. R., F. D. Hovell, and F. Mould. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* 5: 195-213.
- Østrem, L., B. Volden, H. Steinshamn, and H. Volden. 2015. Festulolium fibre characteristics and digestibility as affected by maturity. *Grass and Forage Science* 70: 341-352.
- Pagliaricci, H. R., S. González, A. E. Ohanian, and T. W. Pereyra. 2000. Caracterización del crecimiento y la producción de cereales forrajeras invernales en Córdoba, Argentina. *Agricultura Técnica* 60: 224-235.
- Paponov, I. A., S. Lebedinskai, E. I. Koshkin. 1999. Growth analysis of solution culture-grown winter rye, wheat and triticale at different relative rates of nitrogen supply. *Annals of Botany* 84: 467-473.
- Pearson, R. A., R. F. Archibald, and R. H. Muirhead. 2007. The effect of forage quality and level of feeding on digestibility and gastrointestinal transit time of oat straw and alfalfa given to ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition* 85: 599-606.

- Posada, S. L., and R. Rosero N. 2007. Comparación de modelos matemáticos: una aplicación en la evaluación de alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 20: 141-148.
- Raun, W. R., and G. V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal* 91: 357-363.
- Reid, R. L., W. C. Templeton, T. S. Ranney, and W. V. Thayne. 1987. Digestibility, intake and mineral utilization of combinations of grasses and legumes by lambs. *Journal of Animal Science* 64: 1725-1734.
- Restelatto, R., P. S Pavinato, L. R. Sartor, and S. J. Paixão. 2013. Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass and Forage Science* 69: 693–704.
- Rico, M. C., V. M. Zamora V., M. A. Torres T., and M. A. Jaramillo. S. 2009. Producción y valor nutritivo de genotipos imberbes de cebada forrajera en la Región Lagunera de México. *Técnica Pecuaria en México* 47: 27–40.
- Rojas Garcidueñas, Manuel. 1979. *Fisiología Vegetal Aplicada*. 3a. ed. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey, México. McGraw-Hill. 250 p.
- Rojas G, C., A. Catrileo S., M. Manríquez B., and F. Calabí F. 2004. An evaluation of the cutting stage on triticale (*X Triticosecale Wittmack*) for silage. *Agricultura Técnica* 64: 34-40.
- Ross, S. M., J. R. King, J. T. O'Donovan, and D. Spaner. 2005. The productivity of oats and berseem clover intercrops. I. Primary growth characteristics and forage quality at four densities of oats. *Grass and Forage Science* 60: 74–86.
- Royo, C., A. López, J. Serra, and F. Tribo. 1997. Effect of sowing date and cutting stage on yield and quality of irrigated barley and triticale used for forage and grain. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179: 227-234.

- Salisbury F. B. y C. W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. de C. V. México DF. 759 p.
- Sevilla, G., A. Pasinato, and J. M. García. 2001. Curvas de crecimiento de forrajeras templadas irrigadas. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal 9: 91–98.
- SIAP. 2012. Producción agrícola por estado. <http://www.siap.gob.mx>. Consultada el 3 de enero 2016.
- Stuthman, D. D. and G. C. Marten. 1972. Genetic variation in yield and quality of oat forage. Crop Science 12: 831-833
- Ullah, Z., M. A. Malik, M. Ansar, S. S. Ijaz, and M. Rasheed. 2015. Winter forage quality of oats (*Avena sativa*), barley (*Hordeum vulgare*) and vetch (*Vicia sativa*) in pure stand and cereal legume mixture. Pakistan Journal of Agriculture Research 28: 1-10.
- Venanzi, S. y H. R., Krüger. 2004. Crecimiento del cultivo de avena en función de la densidad aparente del suelo. *In* Actas IV Congreso Nacional de Trigo y IV Simposio Nacional de Cereales de Siembra Otoño-invernal. Bahía Blanca. Argentina. p. 3.
- Wallsten, J., J. Bertilsson, E. Nadeau, and K. Martinsson. 2010. Digestibility of whole-crop barley and oat silages in dairy heifers. Animal 4: 432–438.
- Weinberg, Z. G., Y. Chen, and R. Solomon. 2009. The quality of commercial wheat silages in Israel. Journal of Dairy Science 92: 638–644.

## 5. ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA SECA EN PLANTAS DE SEIS CEREALES FORRAJEROS DE GRANO PEQUEÑO

### DRY MATTER ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN PLANTS OF SIX SMALL GRAIN CEREAL FORAGES

Francisco J. González-Reyes<sup>1</sup> y José L. Zaragoza-Ramírez<sup>2</sup>

#### Resumen

Los objetivos fueron estudiar la acumulación de materia seca (MS) y su distribución en plantas de avena var. Chihuahua, cebada var. San Marcos, trigo var. Cortazar, triticale var. Arne, triticale var. Bicentenario y triticale var. Siglo TLC21, creciendo en condiciones de invernadero y maceta, en dos ensayos independientes (de noviembre 2014 a noviembre 2014). El diseño experimental fue un completamente al azar con tres repeticiones. Tres macetas de treinta macetas por cereal, fueron seleccionadas al azar a los 14, 32, 43, 66, 75, 95, 107, 120, 137 y 152 días post-siembra. Las raíces, hojas, tallos e inflorescencias de las plantas, de cada maceta, fueron separadas y expuestas a un proceso de secado a 55° C por 72 horas, y se registró su peso seco. Los datos fueron analizados con un modelo para un diseño completamente al azar y mediciones repetidas en el tiempo. Todas las partes de las plantas acumularon MS con el tiempo ( $p < 0.05$ ). Al inicio del crecimiento se acumuló más MS en las hojas y después de 75 días post-siembra se acumuló más MS en tallos e inflorescencias ( $p < 0.05$ ).

**Palabras clave:** Forraje, cereales, materia seca, distribución de peso, componentes morfológicos.

#### Abstract

The objectives were to study dry matter accumulation and distribution of plants of oats cv. Chihuahua, barley cv. San Marcos, wheat cv. Cortazar, and triticale cv. Arne, cv. Bicentenario, and cv. Siglo TLC21. The study was carried out under greenhouse conditions and pots, in two independent growing trails (from November, 2014 to November, 2015). The experimental design was a completely randomized design with three replicates. Three pots of thirty pots for each cereal were chosen at 14, 32, 43, 66, 75, 95, 107, 120, 137 y 152 days after seeding. The roots, leaves, stems and spikes of each plant-pot were separated and exposed to a process of drying at 55 °C for 72 hours, and its dry weight recorded. Data were analyzed with a model for a completely randomized design and repeated measures over time. All parts of plants DM accumulated over time ( $p < 0.05$ ). At the beginning of the growing stage more dry matter was accumulated into leaves; 75 days after seeding most of the dry matter accumulated in stems and inflorescences ( $p < 0.05$ ).

**Key words:** Forage, small grains, dry matter, weight distribution, morphological component.

<sup>1</sup> Tesista

<sup>2</sup> Director

## 5.1 Introducción

La cualidad más estudiada en cereales forrajeros es la cantidad de materia seca acumulada en estados de desarrollo de embuche, inflorescencia, grano lechoso, grano lechoso masoso y grano maduro, en diferentes condiciones agroecológicas (Royo *et al.*, 1997; Paponov, *et al.*, 1999; Rojas, *et al.*, 2004; Ferrazza *et al.*, 2013; Ullah *et al.*, 2015).

La cantidad de materia seca acumulada en dichos estados de desarrollo está gobernada por la tasa de fotosíntesis y la tasa de respiración de las plantas durante el periodo de crecimiento. Ambos aspectos fisiológicos fluctúan durante el día, y debido a diferencias en la intensidad de la radiación solar incidente en las hojas de las plantas y la temperatura de la atmósfera que rodea a las plantas en crecimiento (Salisbury y Ross, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2000). Una manera de estudiar las consecuencias de los aspectos anteriores, es con métodos estadísticos para mediciones repetidas en el tiempo con el fin de hacer comparaciones dentro de cada planta de cereal con el tiempo y entre plantas dentro de tiempo (Littel *et al.*, 1998; Littell *et al.*, 2006).

La distribución de la materia seca en las plantas se analiza separando cada parte de las plantas para calcular el porcentaje de materia seca que le corresponde del total acumulado por las plantas a intervalos regulares de tiempo (Rojas *et al.*, 2004; Iannucci *et al.*, 2015). De esta manera se ha estimado que 15, 63 y 22%, el 23, 67 y 10%; y el 0, 42 y 58% de la materia seca total se acumuló en hojas, tallos y espigas a los 117, 190 y 252 días de crecimiento, respectivamente (Rojas, *et al.*, 2004).

El objetivo fue analizar la acumulación de materia seca y su distribución en las partes de las plantas de seis cereales con potencial forrajero a intervalos regulares de tiempo con la finalidad de comprender el proceso de acumulación de materia seca durante el periodo de crecimiento.

## 5.2 Metodología

La investigación se realizó en el invernadero del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada en una latitud norte de 19.47162° 30, longitud oeste de 98.82779° 53', a una altitud de 2250 msnm (INEGI, 2015). Se estudió la acumulación de materia seca en plantas de avena (var. Chihuahua), trigo (var. Cortazar), cebada (var. San Marcos) y tres variedades de triticale (var. Bicentenario, var. Siglo XXI y var. Arne) en dos ensayos de crecimiento independientes, de noviembre de 2014 a abril de 2015 y de junio a noviembre del año 2015. El diseño experimental fue un completamente al azar con tres repeticiones por intervalo de cosecha. Se sembró tres semillas de cada cereal a una profundidad de dos centímetros, en bolsas de plástico (40 cm x 21 cm) con 2.4 kg de suelo bien cernido, sin grava, piedras y terrones. Para cada cereal se sembraron 30 macetas las cuales se identificaron con el nombre del cereal y numeración progresiva. Una vez emergidas las plántulas se eliminó una plántula para dejar crecer dos plantas por maceta. Las bolsas con las plantas se regaron cada tres días o antes si era necesario, según apreciación visual y al tacto, para evitar situaciones de estrés hídrico. A intervalos aproximados de 15 días por un periodo de 150 días se seleccionaron al azar tres bolsas con plantas para separar cada uno de sus componentes morfológicos (hojas, tallos, inflorescencia y raíz). Los componentes se colocaron en bolsas de papel identificadas con el nombre del cereal, nombre del componente e intervalo de cosecha. Las bolsas con su contenido fueron expuestas a un proceso de secado, en una estufa de aire forzado, a una temperatura de 55° C durante 72 horas. Los datos de peso seco, obtenidos en cada ensayo de crecimiento, se analizaron como mediciones repetidas en el tiempo (Littell *et al.*, 1998; Littell *et al.*, 2006) con el procedimiento para modelos mixtos del paquete estadístico SAS 9.2 (2014). El modelo estadístico ( $Y_{ijk} = \mu + G_i + T_j + (G * T)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ ) fue para un diseño completamente al azar con intervalos de cosecha como mediciones repetidas en el tiempo. Los componentes del modelo fueron cantidad de materia seca como variable de respuesta ( $Y_{ijk}$ ), la media poblacional ( $\mu$ ), el genotipo del cereal ( $G_i$ ) y el

intervalo de cosecha ( $T_j$ ) y su respectiva interacción [ $(G * T)_{ij}$ ] como efectos fijos; las repeticiones y error experimental ( $\epsilon_{ijk}$ ) como efectos aleatorios.

### 5.3 Resultados y Discusión

La cantidad de materia seca acumulada, en cada una de las partes, de las plantas de avena var. Chihuahua, cebada var. San Marcos, Trigo var. Cortazar, triticale var. Arne, Triticale var. Bicentenario y Triticale Siglo XXI con el tiempo, se presenta en los cuadros 1 al 6. La respectiva distribución de la materia seca en las plantas de los cereales se muestra en la Figura 1 y Figura 2.

En el primer ensayo, las raíces de avena acumularon materia seca siguiendo un patrón irregular y en el segundo ensayo la acumulación fue continua sin diferencias después de los 43 días post-siembra ( $p > 0.05$ ). Los tallos continuamente acumularon materia seca, sin diferencias después de 75 y 95 días post-siembra. La cantidad de materia seca acumulada fue mayor en el primer ensayo que en el segundo ensayo ( $p > 0.05$ ). Las hojas acumularon materia seca en un patrón irregular sin diferencias a partir de los 66 y 43 días post-siembra en el primer y segundo ensayo, respectivamente ( $p > 0.05$ ). La inflorescencia acumuló materia seca de manera irregular a partir de los 95 y 43 días ( $p < 0.05$ ; Cuadro 1).

En el primer ensayo, al inicio de crecimiento las plantas de avena acumularon más materia seca en las hojas, después en tallos y raíz, hasta los 75 días post-siembra ( $p < 0.05$ ). Después la prioridad fue acumular materia seca en los tallos e inflorescencias ( $p < 0.05$ ; Figura 1a). En los primeros 14 días post-siembra del segundo ensayo, se acumuló más materia seca en las hojas y raíces, después inicio la acumulación en tallos e inflorescencias (Figura 1a y 1b).

En cebada, las raíces acumularon más materia seca en el primer ensayo que en el segundo. En ambos casos de manera continua sin diferencias después de los 43 días post-siembra ( $p > 0.05$ ). También, en los tallos se acumuló más materia seca en el primer ensayo que en el segundo, en ambos casos siguiendo un patrón irregular. Las hojas acumularon materia

seca siguiendo un patrón irregular sin diferencias después de los 43 días post-siembra. En las inflorescencias la acumulación de materia seca fue más o menos regular (Cuadro 2).

Cuadro 1. Peso seco (g) de los componentes morfológicos de la avena var. Chihuahua y significancia del ajuste del modelo.

Días	Raíz	Tallo	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
	Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
14	0.018	0.030	0.043		0.8994
32	0.044	0.065	0.149		0.7586
43	0.2761 <sup>Ca</sup>	0.416 <sup>Ca</sup>	0.774 <sup>Ba</sup>		0.0821
66	1.054 <sup>BCa</sup>	1.518 <sup>CBa</sup>	2.066 <sup>ABa</sup>		<.0001
75	2.191 <sup>ABa</sup>	2.819 <sup>Aba</sup>	2.886 <sup>Aa</sup>		<.0001
95	1.944 <sup>ABc</sup>	5.129 <sup>Aa</sup>	3.574 <sup>Ab</sup>	0.651 <sup>Cc</sup>	<.0001
107	2.621 <sup>Ac</sup>	7.328 <sup>Aa</sup>	3.361 <sup>Ab</sup>	1.539 <sup>BCc</sup>	<.0001
120	2.259 <sup>ABb</sup>	8.324 <sup>Aa</sup>	2.744 <sup>ABb</sup>	3.675 <sup>Ab</sup>	<.0001
137	1.589 <sup>BCb</sup>	5.920 <sup>Aa</sup>	2.103 <sup>ABb</sup>	2.603 <sup>ABb</sup>	<.0001
152	1.190 <sup>BCb</sup>	4.371 <sup>Aa</sup>	1.577 <sup>Bb</sup>	1.818 <sup>Cb</sup>	<.0001
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)					
14	0.016	0.004	0.023		0.8336
32	0.093	0.128	0.184		0.0769
43	0.276 <sup>Aa</sup>	0.661 <sup>Ca</sup>	0.356 <sup>Aa</sup>	0.194 <sup>Da</sup>	<.0001
66	0.366 <sup>Ab</sup>	1.317 <sup>Ba</sup>	0.602 <sup>Ab</sup>	0.609 <sup>Db</sup>	<.0001
75	0.632 <sup>Ab</sup>	1.985 <sup>Aa</sup>	0.615 <sup>Ab</sup>	1.979 <sup>Ba</sup>	<.0001
95	0.381 <sup>Ab</sup>	1.288 <sup>Ba</sup>	0.375 <sup>Ab</sup>	1.704 <sup>BCa</sup>	<.0001
107	0.181 <sup>Ab</sup>	1.028 <sup>Ba</sup>	0.266 <sup>Ab</sup>	1.510 <sup>BCa</sup>	<.0001
120	0.424 <sup>Ac</sup>	1.906 <sup>Ab</sup>	0.443 <sup>Ac</sup>	2.886 <sup>Aa</sup>	<.0001
137	0.235 <sup>Ac</sup>	1.342 <sup>Bb</sup>	0.347 <sup>Ac</sup>	1.949 <sup>Ba</sup>	<.0001
152	0.242 <sup>Ab</sup>	1.130 <sup>BCa</sup>	0.283 <sup>Ab</sup>	1.322 <sup>Ca</sup>	<.0001

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

Hasta los 66 días post-siembra del primer ensayo, las plantas de cebada acumularon más materia seca en las hojas y después en los tallos, aunque las plantas parecen prepararse para el estado de desarrollo de reproducción al destinar materia seca a las raíces (43 y 66 días post-siembra), posteriormente se acumuló mayor cantidad de materia seca en los tallos e inflorescencias (Figura 1c). En el segundo ensayo, ocurrió algo similar con la diferencia de que hasta los 56 días post-siembra las plantas destinaron mayor materia seca a las raíces en comparación con los días posteriores, cuando más materia seca se envió a tallos e inflorescencias (Figura 1d).

Cuadro 2. Peso seco (g) de los componentes morfológicos de la cebada var. San Marcos y significancia del ajuste del modelo.

	Raíz	Tallo	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
Días	Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
14	0.009	0.040	0.057		0.8897
32	0.050	0.165	0.356		0.5404
43	0.493 <sup>Aa</sup>	0.578 <sup>Da</sup>	0.939 <sup>Aa</sup>		0.0321
66	1.302 <sup>Aa</sup>	1.729 <sup>Da</sup>	1.892 <sup>Aa</sup>		<.0001
75	1.686 <sup>Aab</sup>	3.678 <sup>Ca</sup>	2.211 <sup>Aab</sup>	0.508 <sup>Cb</sup>	<.0001
95	1.819 <sup>Ab</sup>	4.002 <sup>BCa</sup>	2.087 <sup>Ab</sup>	1.092 <sup>BCb</sup>	<.0001
107	1.590 <sup>Ab</sup>	4.083 <sup>BCa</sup>	1.695 <sup>Ab</sup>	2.272 <sup>Bb</sup>	<.0001
120	1.982 <sup>Ab</sup>	5.573 <sup>ABa</sup>	2.163 <sup>Ab</sup>	4.126 <sup>Aa</sup>	<.0001
137	1.446 <sup>Ab</sup>	5.419 <sup>ABa</sup>	2.298 <sup>Ab</sup>	4.390 <sup>Aa</sup>	<.0001
152	1.338 <sup>Ab</sup>	4.274 <sup>BCa</sup>	1.788 <sup>Ab</sup>	2.684 <sup>Bab</sup>	<.0001
	Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
14	0.011	0.008	0.025		0.8875
32	0.137	0.089	0.216		0.1633
43	0.607 <sup>Aa</sup>	0.597 <sup>Da</sup>	0.850 <sup>Aa</sup>	0.339 <sup>CDa</sup>	0.0022
66	0.558 <sup>Aab</sup>	1.179 <sup>CDa</sup>	0.823 <sup>Aab</sup>	0.230 <sup>Db</sup>	<.0001
75	0.475 <sup>Ab</sup>	1.529 <sup>BCa</sup>	0.583 <sup>Ab</sup>	0.851 <sup>CDab</sup>	<.0001
95	1.042 <sup>Ac</sup>	3.058 <sup>Aa</sup>	1.215 <sup>Ac</sup>	2.113 <sup>Ab</sup>	<.0001
107	0.643 <sup>Ab</sup>	2.270 <sup>Ba</sup>	0.868 <sup>Ab</sup>	1.566 <sup>ABab</sup>	<.0001
120	0.524 <sup>Ac</sup>	1.775 <sup>BCa</sup>	0.723 <sup>Abc</sup>	1.300 <sup>BCab</sup>	<.0001
137	0.429 <sup>Ac</sup>	1.245 <sup>CDab</sup>	0.597 <sup>Abc</sup>	1.854 <sup>ABa</sup>	<.0001
152	0.593 <sup>Ab</sup>	2.090 <sup>Ba</sup>	0.947 <sup>Ab</sup>	2.514 <sup>Aa</sup>	<.0001

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C, D) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

En las plantas de trigo, las raíces, tallos, hojas e inflorescencias acumularon materia seca siguiendo un patrón irregular. Después de los 43 días post-siembra en los tallos se acumuló más materia seca que en hojas e inflorescencias y raíces (Cuadro 3).

Hasta los 43 días post-siembra del primer ensayo, las plantas de trigo acumularon mayor cantidad de materia seca en las hojas, algunas veces en tallos y raíces. A partir de los 66 días post-siembra se destinó más materia seca en tallo e inflorescencia siendo mayor la cantidad acumulada en las inflorescencias que en los tallos (Figura 2e). En el segundo ensayo más materia seca se acumuló en las hojas y raíces hasta los 28 días post-siembra, después en el tallo seguido de las inflorescencias (42 a 70 días post-siembra). De los 70 días post-siembra la prioridad de las plantas fue

acumular materia seca en la inflorescencia, siendo aún mayor la cantidad de materia seca acumulada en los tallos que en las hojas (Figura 2f).

Cuadro 3. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del trigo var. Cortazar y significancia del ajuste del modelo.

	Raíz	Tallo	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
Días	Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
14	0.013	0.025	0.044		0.7939
32	0.030	0.104	0.243		0.3298
43	0.459 <sup>Aa</sup>	0.389 <sup>Ea</sup>	0.662 <sup>Aa</sup>		0.0001
66	0.617 <sup>Aab</sup>	1.973 <sup>Da</sup>	1.351 <sup>Aab</sup>	0.549 <sup>Eb</sup>	<.0001
75	0.893 <sup>Ab</sup>	3.043 <sup>BCDa</sup>	1.608 <sup>Ab</sup>	1.328 <sup>DEb</sup>	<.0001
95	1.187 <sup>Ab</sup>	3.799 <sup>ABa</sup>	1.435 <sup>Ab</sup>	2.277 <sup>CDb</sup>	<.0001
107	1.118 <sup>Ab</sup>	2.481 <sup>CDa</sup>	0.819 <sup>Ab</sup>	3.045 <sup>BCa</sup>	<.0001
120	0.629 <sup>Ac</sup>	2.176 <sup>CDb</sup>	0.722 <sup>Ac</sup>	3.952 <sup>Ba</sup>	<.0001
137	1.023 <sup>Ac</sup>	3.306 <sup>BCb</sup>	1.244 <sup>Ac</sup>	8.080 <sup>Aa</sup>	<.0001
152	0.777 <sup>Ac</sup>	3.592 <sup>ABb</sup>	1.417 <sup>Ac</sup>	7.180 <sup>Aa</sup>	<.0001
	Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
14	0.017	0.006	0.030		0.6764
32	0.072	0.047	0.123		0.121
43	0.216 <sup>Aa</sup>	0.427 <sup>Ca</sup>	0.333 <sup>Aa</sup>	0.238 <sup>Ca</sup>	<.0001
66	0.241 <sup>Ab</sup>	0.728 <sup>BCa</sup>	0.332 <sup>Aab</sup>	0.563 <sup>Cab</sup>	<.0001
75	0.406 <sup>Ab</sup>	1.503 <sup>Aa</sup>	0.500 <sup>Ab</sup>	1.565 <sup>Ba</sup>	<.0001
95	0.249 <sup>Ab</sup>	0.686 <sup>BCb</sup>	0.302 <sup>Ab</sup>	1.794 <sup>Ba</sup>	<.0001
107	0.206 <sup>Ac</sup>	1.019 <sup>ABCb</sup>	0.414 <sup>Ac</sup>	2.795 <sup>Aa</sup>	<.0001
120	0.109 <sup>Ab</sup>	0.637 <sup>BCb</sup>	0.266 <sup>Ab</sup>	1.692 <sup>Ba</sup>	<.0001
137	0.333 <sup>Ac</sup>	1.034 <sup>ABb</sup>	0.409 <sup>Ac</sup>	3.209 <sup>Aa</sup>	<.0001
152	0.161 <sup>Ac</sup>	0.730 <sup>BCb</sup>	0.267 <sup>Abc</sup>	2.098 <sup>Ba</sup>	<.0001

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C, D, E) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

En triticale var. Arne, las raíces acumularon más materia seca en el primer ensayo y en ambos ensayos acumularon materia seca de manera irregular en el tiempo ( $p < 0.05$ ). Los tallos y hojas acumularon continuamente materia seca hasta los 107 días post-siembra. Las inflorescencias acumularon materia seca después de los 137 y 75 días post-siembra en el primer y segundo ensayo, respectivamente. El orden de acumulación de materia seca fue tallos, hojas, raíz e inflorescencia (Cuadro 4).

En los primeros 14 días de crecimiento post-siembra del primer ensayo, las plantas de esta variedad de triticale acumularon similar cantidad de materia seca en hojas y tallos. Hasta los 120 días post-siembra se acumuló mayor

cantidad de materia seca en las raíces pasando a segundo lugar la acumulación en tallos. Estas plantas no produjeron inflorescencias (Figura 2g). En el segundo ensayo las plantas acumularon más materia seca en las raíces hasta los 85 días post-siembra, para después dar prioridad a los tallos e inflorescencia. Las hojas tuvieron prioridad hasta antes de 70 días post-siembra (Figura 2h).

Cuadro 4. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticales var. Arne y significancia del ajuste del modelo.

Días	Raíz	Tallo	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)					
14	0.006	0.020	0.018		0.9691
32	0.050	0.069	0.181		0.8128
43	0.225 <sup>Da</sup>	0.208 <sup>Da</sup>	0.508 <sup>Ea</sup>		0.4164
66	1.355 <sup>CDa</sup>	0.751 <sup>Da</sup>	1.370 <sup>DEa</sup>		0.0069
75	2.566 <sup>BCa</sup>	1.587 <sup>CDa</sup>	2.730 <sup>CDa</sup>		<.0001
95	3.003 <sup>ABCa</sup>	1.696 <sup>CDa</sup>	2.534 <sup>CDEa</sup>		<.0001
107	4.228 <sup>ABa</sup>	3.416 <sup>Ca</sup>	3.921 <sup>ABCa</sup>		<.0001
120	3.917 <sup>ABa</sup>	3.573 <sup>Ca</sup>	2.440 <sup>CDEa</sup>		<.0001
137	5.126 <sup>Ab</sup>	8.227 <sup>Ba</sup>	4.915 <sup>ABb</sup>	0.721 <sup>Ac</sup>	<.0001
152	5.182 <sup>AcD</sup>	11.681 <sup>Aa</sup>	6.320 <sup>ABbc</sup>	2.565 <sup>Ad</sup>	<.0001
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)					
14	0.008	0.005	0.012		0.9864
32	0.069	0.042	0.137		0.8067
43	0.269 <sup>Ca</sup>	0.133 <sup>Da</sup>	0.332 <sup>Ba</sup>		0.469
66	0.615 <sup>Ca</sup>	0.527 <sup>Da</sup>	0.988 <sup>ABa</sup>		0.0009
75	1.331 <sup>ABCa</sup>	0.931 <sup>CDa</sup>	1.299 <sup>ABa</sup>		<.0001
95	2.597 <sup>Aa</sup>	3.120 <sup>ABa</sup>	1.968 <sup>ABb</sup>	0.418 <sup>ABb</sup>	<.0001
107	1.932 <sup>ABb</sup>	3.865 <sup>Aa</sup>	1.907 <sup>Ab</sup>	0.699 <sup>Bb</sup>	<.0001
120	1.087 <sup>BCb</sup>	2.596 <sup>ABa</sup>	0.963 <sup>ABb</sup>	1.447 <sup>ABab</sup>	<.0001
137	0.895 <sup>BCb</sup>	2.177 <sup>BCa</sup>	0.996 <sup>ABab</sup>	1.972 <sup>Aab</sup>	<.0001
152					

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C, D, E) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

En plantas de triicale var. Bicentenario, las raíces, tallos, hojas e inflorescencias acumularon más materia seca en el primer ensayo que en el segundo. Las tres partes aéreas de las plantas lo hicieron siguiendo un patrón irregular en el tiempo (Cuadro 5).

Hasta los 43 días post-siembra del primer ensayo, las plantas de éste triticale acumularon más materia seca en las hojas. Posteriormente, se acumuló mayor cantidad de materia seca en tallos y gradualmente en las inflorescencias. En las raíces se acumuló más peso seco de los 43 a 107 días post-siembra (Figura 3i). En el segundo ensayo las plantas acumularon más materia seca en hojas y raíces hasta los 28 días post-siembra. Hasta este mismo tiempo ocurrió importante acumulación de materia seca en las raíces y después gradualmente se acumuló más materia seca en las inflorescencias (Figura 3j).

Cuadro 5. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticale var. Bicentenario y significancia del ajuste del modelo.

Días	Raíz	Tallo	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)					
14	0.005	0.028	0.050		0.8021
32	0.050	0.106	0.262		0.3327
43	0.493 <sup>Ba</sup>	0.441 <sup>Ea</sup>	0.841 <sup>Ba</sup>		<.0001
66	1.111 <sup>ABab</sup>	1.703 <sup>CDa</sup>	1.646 <sup>ABab</sup>	0.339 <sup>Eb</sup>	<.0001
75	1.247 <sup>ABbc</sup>	2.623 <sup>BCa</sup>	1.103 <sup>Bbc</sup>	0.815 <sup>Ec</sup>	<.0001
95	1.944 <sup>Ab</sup>	4.797 <sup>Aa</sup>	2.370 <sup>Ab</sup>	1.899 <sup>Db</sup>	<.0001
107	1.659 <sup>Ab</sup>	4.384 <sup>Aa</sup>	1.716 <sup>ABb</sup>	2.438 <sup>Db</sup>	<.0001
120	1.434 <sup>ABc</sup>	3.109 <sup>Bb</sup>	0.987 <sup>Bc</sup>	4.245 <sup>Ca</sup>	<.0001
137	1.843 <sup>Ac</sup>	3.332 <sup>Bb</sup>	1.488 <sup>ABc</sup>	5.848 <sup>Ba</sup>	<.0001
152	1.429 <sup>ABc</sup>	4.663 <sup>Ab</sup>	2.252 <sup>Ac</sup>	8.615 <sup>Aa</sup>	<.0001
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)					
14	0.017	0.004	0.022		0.6577
32	0.094	0.075	0.199		0.0002
43	0.289 <sup>Aa</sup>	0.348 <sup>Ca</sup>	0.289 <sup>Aa</sup>	0.152 <sup>Da</sup>	0.0001
66	0.250 <sup>Ab</sup>	0.939 <sup>ABa</sup>	0.296 <sup>Ab</sup>	0.465 <sup>CDb</sup>	<.0001
75	0.313 <sup>Ab</sup>	0.859 <sup>ABa</sup>	0.332 <sup>Ab</sup>	1.075 <sup>Ca</sup>	<.0001
95	0.447 <sup>Ac</sup>	1.139 <sup>Ab</sup>	0.456 <sup>Ac</sup>	2.306 <sup>Aa</sup>	<.0001
107	0.195 <sup>Aa</sup>	0.704 <sup>Bb</sup>	0.226 <sup>Ac</sup>	1.707 <sup>Ba</sup>	<.0001
120	0.276 <sup>Ac</sup>	0.990 <sup>ABb</sup>	0.305 <sup>Ac</sup>	2.584 <sup>Aa</sup>	<.0001
137	0.205 <sup>Ac</sup>	0.674 <sup>Bb</sup>	0.242 <sup>Ac</sup>	1.641 <sup>Ba</sup>	<.0001
152	0.223 <sup>Ac</sup>	0.761 <sup>Bb</sup>	0.262 <sup>Ac</sup>	1.891 <sup>Ba</sup>	<.0001

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C, D, E) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

En las plantas de triticale var. Siglo TCL 21, la mayor cantidad de materia seca se acumuló en la inflorescencia en la madurez ( $p < 0.05$ ). Las raíces acumularon materia seca gradualmente hasta los 95 días y después presentaron una ligera disminución; el patrón de acumulación de materia

seca fue irregular en el segundo ensayo. La acumulación de materia seca en los tallos y hojas fue continúa en el tiempo hasta los 95 días post-siembra en el segundo ensayo. En las inflorescencias la materia seca se acumuló continuamente después de los 43 y 32 días post-siembra en primer y segundo ensayo, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 6).

Las plantas de esta variedad de triticale acumularon más materia seca en hojas y raíces los primeros 28 días de crecimiento post-siembra. Después de este tiempo comenzó gradualmente acumularse materia seca en las inflorescencias disminuyendo la importancia de las hojas, raíces y tallos (Figura 3i).

Cuadro 6. Peso seco (g) de los componentes morfológicos del triticale var. Siglo TCL-21 y significancia del ajuste del modelo.

Días	Raíz	Tallos	Hojas	Inflorescencia	Pr>t
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)					
14	0.007	0.047	0.040		0.8703
32	0.035	0.107	0.253		0.5861
43	0.486 <sup>Aa</sup>	0.477 <sup>Ea</sup>	0.869 <sup>Ba</sup>		0.0123
66	0.848 <sup>Aa</sup>	1.683 <sup>DEa</sup>	1.033 <sup>ABa</sup>	0.497 <sup>Da</sup>	0.0004
75	1.192 <sup>Abc</sup>	3.224 <sup>Ca</sup>	2.443 <sup>Aab</sup>	0.347 <sup>Dc</sup>	<.0001
95	1.797 <sup>Ab</sup>	5.739 <sup>ABa</sup>	2.452 <sup>Ab</sup>	1.879 <sup>Cb</sup>	<.0001
107	1.917 <sup>Ab</sup>	6.390 <sup>Aa</sup>	2.431 <sup>Ab</sup>	2.673 <sup>Cb</sup>	<.0001
120	1.223 <sup>Ab</sup>	3.056 <sup>CDa</sup>	0.939 <sup>Bb</sup>	2.900 <sup>Ca</sup>	<.0001
137	1.102 <sup>Ab</sup>	3.295 <sup>Ca</sup>	1.247 <sup>ABb</sup>	4.564 <sup>Ba</sup>	<.0001
152	1.008 <sup>Ac</sup>	4.513 <sup>BCb</sup>	1.446 <sup>ABc</sup>	6.785 <sup>Aa</sup>	<.0001
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)					
14	0.019	0.007	0.038		0.5596
32	0.063	0.060	0.145		0.0162
43	0.222 <sup>Aa</sup>	0.427 <sup>Da</sup>	0.288 <sup>Aa</sup>	0.152 <sup>Fa</sup>	<.0001
66	0.273 <sup>Ab</sup>	0.936 <sup>BCa</sup>	0.381 <sup>Ab</sup>	0.508 <sup>Eb</sup>	<.0001
75	0.385 <sup>Ac</sup>	0.755 <sup>Cb</sup>	0.334 <sup>Ac</sup>	1.129 <sup>Da</sup>	<.0001
95	0.331 <sup>Ac</sup>	1.119 <sup>Bb</sup>	0.413 <sup>Ac</sup>	2.247 <sup>Ba</sup>	<.0001
107	0.217 <sup>Ac</sup>	0.919 <sup>BCb</sup>	0.390 <sup>Ac</sup>	1.725 <sup>Ca</sup>	<.0001
120	0.147 <sup>Ac</sup>	0.745 <sup>Cb</sup>	0.287 <sup>Ac</sup>	1.622 <sup>Ca</sup>	<.0001
137	0.310 <sup>Ac</sup>	0.855 <sup>BCb</sup>	0.317 <sup>Ac</sup>	1.767 <sup>Ca</sup>	<.0001
152	0.362 <sup>Ac</sup>	1.581 <sup>Ab</sup>	0.649 <sup>Ac</sup>	3.947 <sup>Aa</sup>	<.0001

Diferentes literales en mayúsculas (A, B, C, D, E) muestran diferencias estadísticas en las columnas. Diferentes literales en minúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las filas.

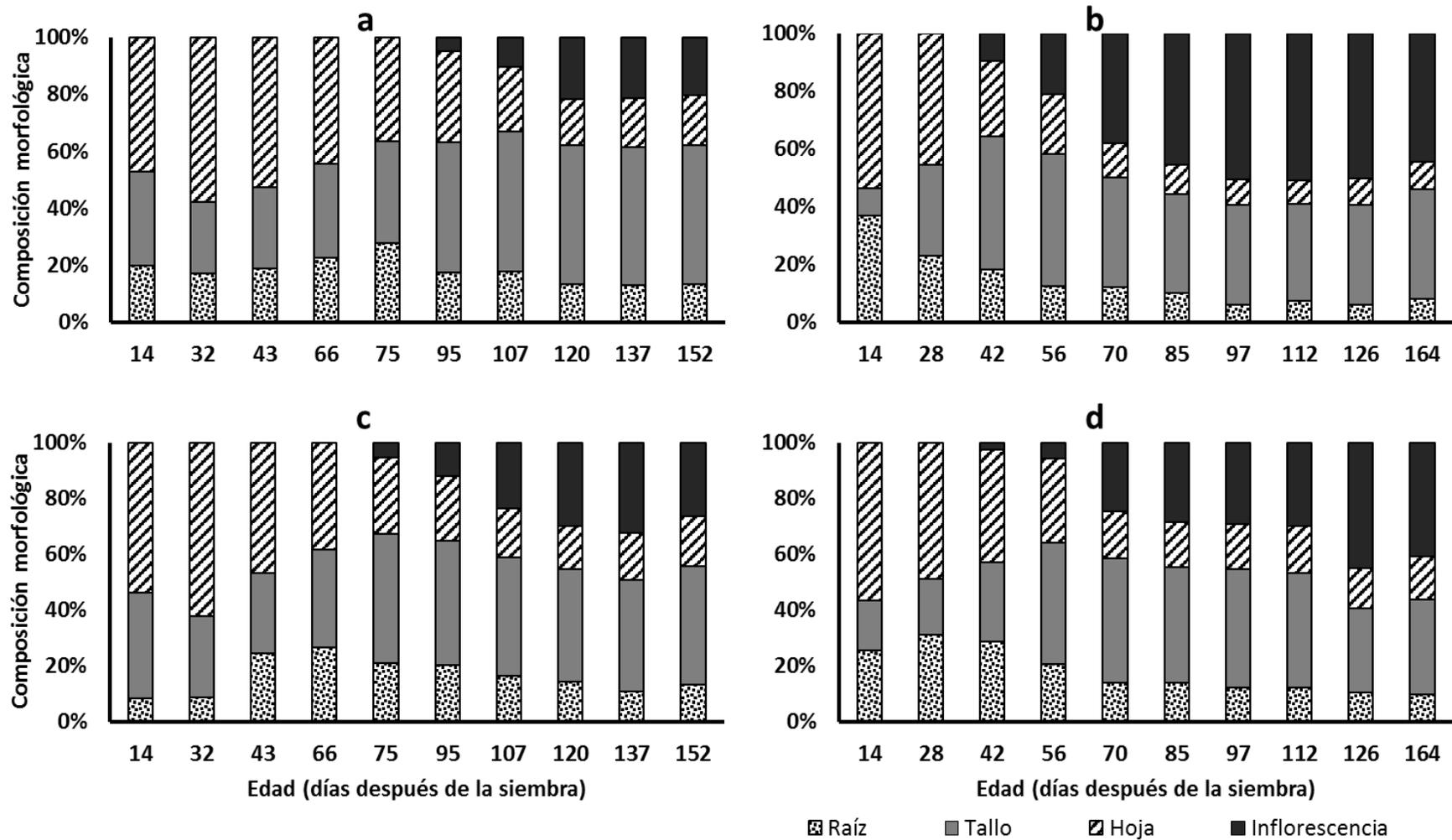


Figura 1. Distribución de la materia seca en plantas de Avena var. Chihuahua (a y b) y Cebada var. San Marcos (c y d) estudiadas en dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)].

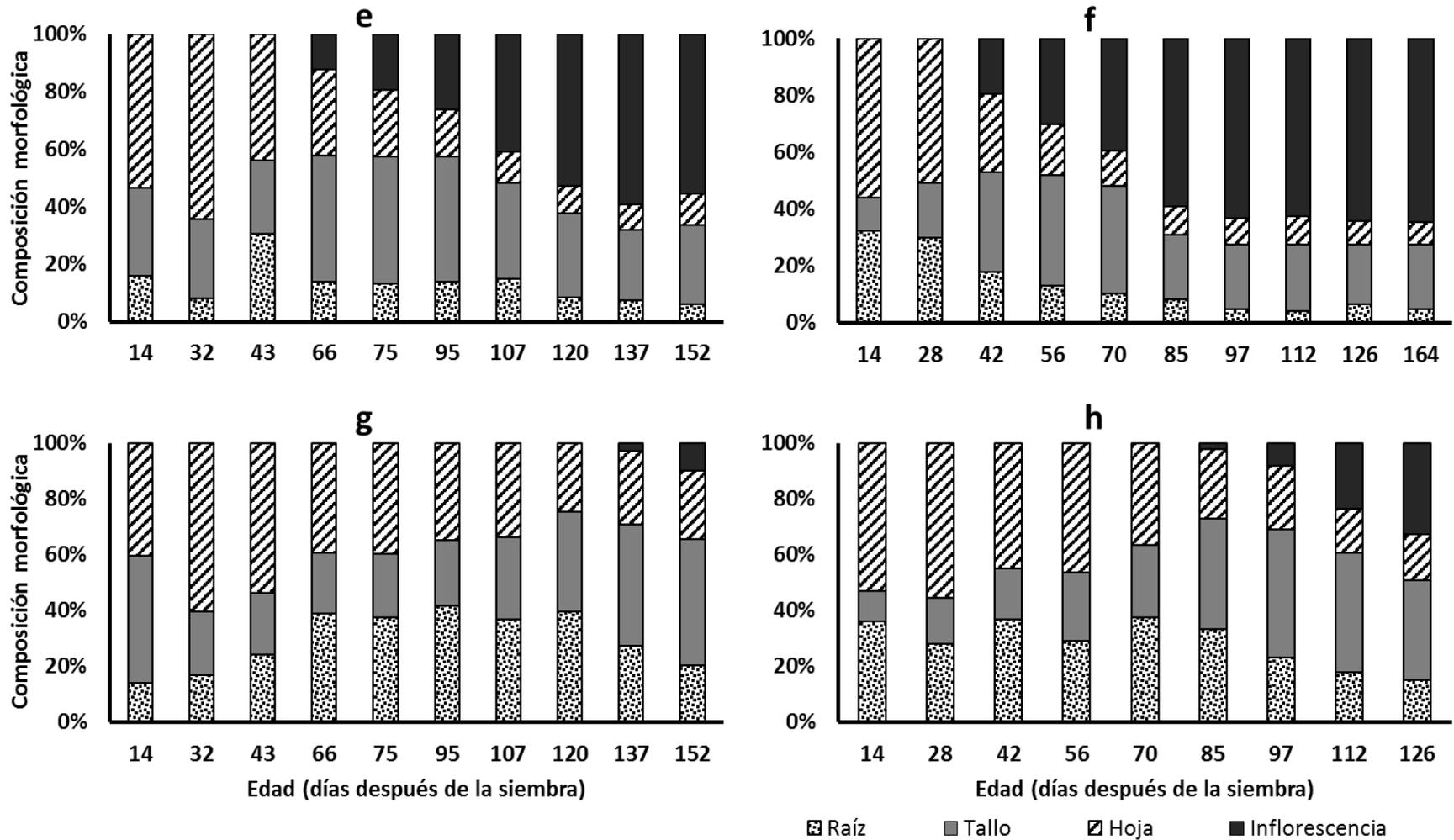


Figura 2. Distribución de la materia seca en plantas de Trigo var. Cortazar (e y f) y Triticale var. Arne (g y h) estudiadas en dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)].

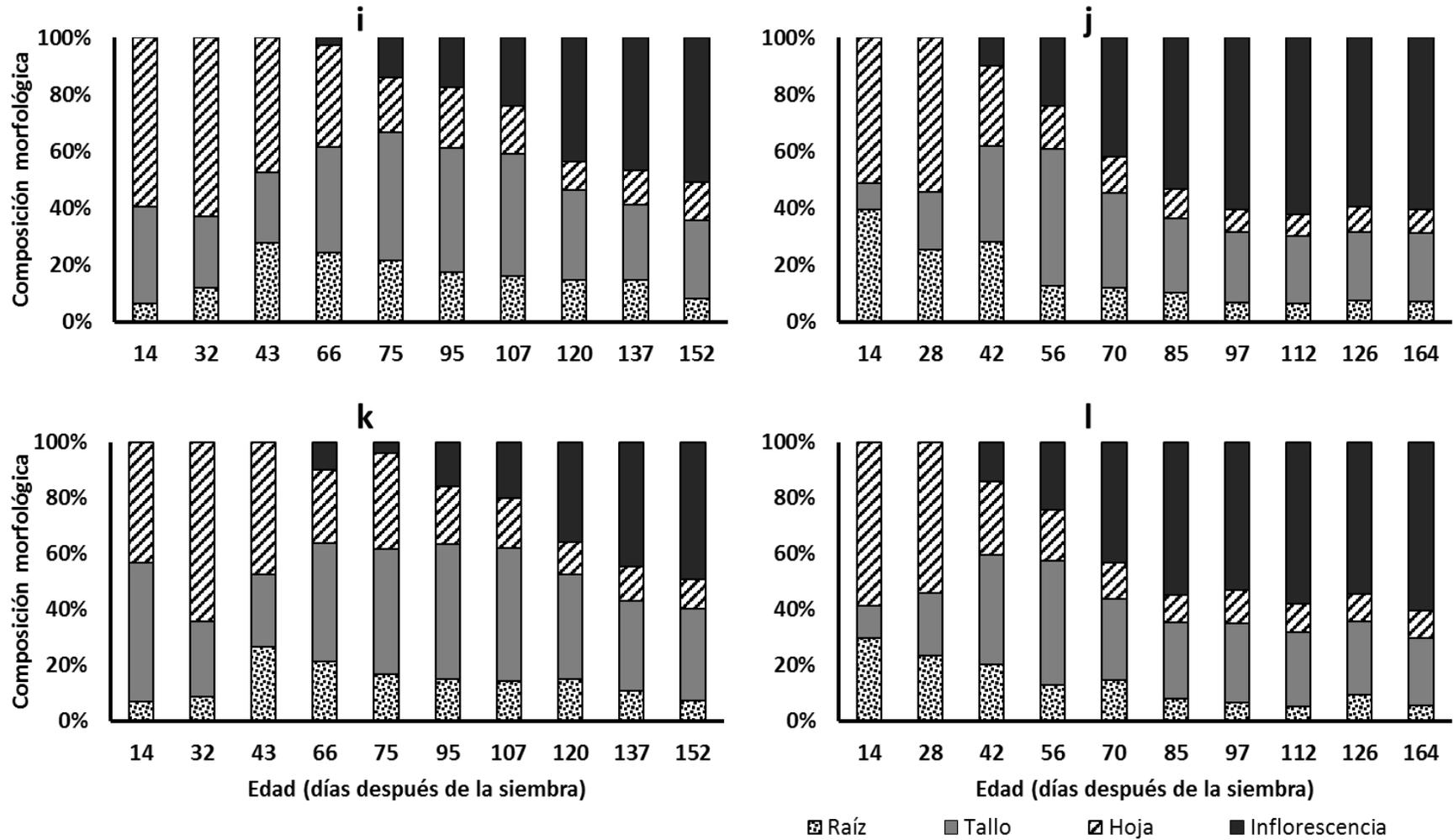


Figura 3. Distribución de la materia seca en las plantas de Triticale var. Bicentenario (i y j) y Triticale var. Siglo TCL21 (k y l) estudiadas dos ensayos independientes [octubre 2014 a abril 2015 (i y k) y mayo a noviembre 2015 (j y l)].

## **Discusión**

La acumulación de materia seca en plantas completas, raíces, hojas, tallos e inflorescencias no aumento gradualmente con el tiempo post-siembra como se esperaba (Salisbury y Ross, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2000), quizás debido a la mayor variabilidad individual, entre las plantas de cada cereal, en la respuesta para crecer (Salisbury y Ross, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2000). Resaltando un patrón irregular, para el proceso de acumulación de la materia seca con el tiempo, caracterizado por valores mayores seguidos por valores menores.

Al inicio de crecimiento, las plantas acumularon más materia seca en las hojas presumiblemente por ser el órgano responsable de producir foto-asimilados para la producción de la materia seca, y después en los tallos por ser los responsable de mantener erecta a las plantas de los cereales y distribuir las hojas para mayor captación de la radiación solar (Salisbury y Ross, 1994; Azcón-Bieto y Talón, 2000). El trigo y los triticales parecen tener la habilidad de enviar foto-asimilados hacia las raíces como estrategia para explorar más suelo y obtener los nutrimentos del suelo que necesitan para crecer y producir semilla.

## **5.4 Conclusión**

Las plantas, hojas, tallos e inflorescencias de los seis cereales estudiados acumularon materia seca siguiendo un patrón similar. Al inicio de crecimiento las plantas privilegian acumulación de materia seca en las hojas por ser el órgano responsable de producir, vía fotosíntesis, los foto-asimilados para la formación del tejido vegetal.

## 5.6 Literatura citada

- Azcón-Bieto J. y M. Talón. 2000. Fundamentos de fisiología vegetal. McGraw-Hill Interamericana. Ediciones Universitarias Barcelona. Madrid, España. 552 p.
- Ferrazza, J. M., A. B. Soares, T. N. Martin, A. L. Assmann, and V. Nicola. 2013. Produção de forrageiras anuais de inverno em diferentes épocas de semeadura. *Revista Ciência Agronômica* 44: 379-389.
- Iannucci A., M. Pizzillo, G. Annicchiarico, M. Fragasso and V. Fedele. 2015. Dynamic of accumulation and partitioning of dry matter and fructo-oligosaccharides in plant fractions of forage cereals. *Explore Agriculture* 1-15.
- INEGI. 2015. <http://www3.inegi.org.mx>. Consultada el 3 de diciembre de 2015.
- Littell C. R., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedure. *Journal Animal Science* 76:1216-1231.
- Littell C. R., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger and O. Schabenberger. 2006. SAS for mixed models. Second edition. SAS Institute Inc., Cary NC, USA. 834 p.
- Paponov, I. A., S. Lebedinskai, E. I. Koshkin. 1999. Growth analysis of solution culture-grown winter rye, wheat and triticale at different relative rates of nitrogen supply. *Annals of botany* 84: 467-473.
- Rojas G, C., A. Catrileo S., M. Manríquez B., and F. Calabí F. 2004. An evaluation of the cutting stage on triticale ( X *Triticosecale* Wittmack ) for silage 1. *Agricultura Técnica* 64: 34-40.
- Royo, C., A. López, J. Serra, and F. Tribo. 1997. Effect of sowing date and cutting stage on yield and quality of irrigated barley and triticale used

for forage and grain. *Journal of Agronomy and Crop Science* 179: 227-234.

Salisbury F. B. y C. W. Ross. 1994. *Fisiología vegetal* grupo Editorial Iberoamericana S. A. de C.V.. México DF. 759 p.

Statistical Analysis System (SAS). 2014. SAS on line Doc. Versión 9.2. Institute, Inc. Cary, NC, USA.

Ullah, Z., M. A. Malik, M. Ansar, S. S. Ijaz, and M. Rasheed. 2015. Winter forage quality of oats (*avena sativa*), barley (*hordeum vulgare*) and vetch (*vicia sativa*) in pure stand and cereal legume mixture. *Pakistan Journal of Agriculture Research* 28: 1-10.

7. **DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA DE LAS PLANTAS DE SEIS  
CEREALES DE GRANO PEQUEÑO USADOS COMO FORRAJE**  
**DRY MATTER DIGESTIBILITY OF SMALL GRAIN CEREALS FORAGE PLANTS**

Francisco J. **González-Reyes**<sup>1</sup> y José L. **Zaragoza-Ramírez**<sup>2</sup>

**Resumen**

El objetivo fue estudiar los cambios en la digestibilidad de la materia seca de plantas completas, hojas, tallos e inflorescencia de plantas de avena var. Chihuahua, cebada var. San Marcos, trigo var. Cortazar, triticale var. Arne, var. Bicentenario y var. Siglo TLC21, creciendo en invernadero, en dos ensayos de crecimiento (de noviembre del 2014 a noviembre del año 2015). Las hojas, tallos e inflorescencias de dos plantas y una planta completa fueron molidas a 1 mm, para determinarles la digestibilidad de sus materia seca (DMS), con el método *in vitro* de Tilley y Terry. El efecto de ensayo de crecimiento (EC) y del genotipo de cereal (GC) se evaluó como variable categórica con la técnica de análisis de regresión. La tasa de disminución de la DMS fue similar entre EC para cada cereal ( $p>0.05$ ) pero diferente para planta completa, hojas, tallos e inflorescencia, entre GC ( $p<0.05$ ) dentro de cada EC. Los modelos de regresión individuales revelaron que la DMS disminuyó significativamente ( $p<0.05$ ) para algunas plantas, hojas y tallos de los cereales. Los modelos de regresión significativos explicaron entre 57.0 y 95% de la variabilidad total observada en la DMS y estimaron que la DMS disminuyó en 0.106 a 0.990 unidades porcentuales, por día durante el crecimiento. Modelar la digestibilidad con la técnica de regresión resultó muy sensible a la variabilidad alrededor de la línea de regresión.

**Palabras clave:** Digestibilidad, cereales de grano pequeño, componentes morfológicos, variables categóricas, regresión.

<sup>1</sup> Tesista

<sup>2</sup> Director

**Abstract**

The objective was to study dry matter digestibility changes on whole plants, leaves, stems and spikes of six small grain cereals. The oats cv. Chihuahua, barley cv. San Marcos, wheat cv. Cortazar, and triticale cv. Arne, cv. Bicentenario, and var. Siglo TLC21 grown under greenhouse and pot conditions, during two independent trials (from November 2014 to November 2015). The leaves, stems and inflorescences from two plants and a whole plant were ground for digestibility determination with the Tilley and Terry *in vitro* method. The effect of growing trail (GT) and the genotype of cereal (GC) were evaluated as categorical variables with regression analysis technique. The dry matter digestibility (DMD) decreased at similar rate in both GT ( $p>0.05$ ) for each cereal but at different rate among cereals, into each trail ( $p<0.05$ ). The individual regression models revealed that DMD of the whole plants, leaves and stems of some cereals decreased significantly over time ( $p<0.05$ ). The regression models explained between 57.0 and 95% of total DMD variation; and estimated a decrease in DMD between 0.106 a 0.990 percentage units. Modeling the trend on DMS over time was very sensitive to the variability around the regression line.

**Key words:** digestibility, small grain cereals, morphological components, categorical variables, regression.

## 7.1 Introducción

La digestibilidad de la materia seca de los cereales, de grano pequeño con potencial forrajero, ha sido objeto de estudio por ser el mayor determinante de la calidad de los forrajes y del consumo voluntario de los rumiantes (Girard y Dupuist, 1988; Jung y Allen, 1995), y por su relación negativa con la madurez o edad de las plantas forrajeras (Dumont y Lanuza, 1990; Firdous *et al.*, 1999; Catrileo *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; y Østrem *et al.*, 2015).

Con la madurez ocurren cambios en los componentes morfológicos de las plantas y en la composición química de su pared celular que causan la disminución en la digestibilidad de la materia seca. Algunos estudios observaron que conforme maduraron las plantas de avena, triticale y cebada la digestibilidad disminuyó la digestibilidad, debido al aumento en la cantidad de tallos en relación a las hojas (Dumont y Lanuza, 1990; Catrileo *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Eskandari *et al.*, 2009; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011).

De acuerdo con Catrileo *et al.* (2003) y Rojas *et al.* (2004), los cereales presentan digestibilidades superiores a 70% en edades tempranas, consideradas como buenas para la alimentación de los rumiantes. El objetivo de este estudio es identificar los cambios en la digestibilidad de la materia seca con la edad de la planta entre ensayos de crecimiento y genotipos de cereales mediante el uso de variables “Dummy” como sustitución de las repeticiones.

## 7.2 Metodología

El experimento se realizó en el invernadero del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, localizada a 19.47162° 30´ de latitud N y 98.82779° 53´ de longitud oeste, a una altitud de 2250 msnm (INEGI, 2015).

Se estudió el cambio en la digestibilidad de la materia seca de las plantas de avena (*Avena sativa* L.) var. Chihuahua, de cebada (*Hordium vulgare* L.) var.

San Marcos, de trigo (*Triticum aestivum* L.) var. Cortazar y de triticale (*X Triticosecale Wittmack*) var. Arne, var. Siglo TCL21 y var. Bicentenario, en dos ensayos de crecimiento independientes, en condiciones de invernadero. El primer ensayo fue de noviembre del 2014 a abril del 2015 y el segundo ensayo de junio a noviembre del año 2015. En bolsas de plástico (40 cm x 21 cm) con 2.4 kg de suelo bien cernido se sembraron tres semillas de cada cereal a una profundidad de dos centímetros. Al emerger las plántulas se eliminó una planta para dejar crecer dos plántulas por bolsa. Todas las plantas fueron regadas cada tres días o antes si por apreciación visual y tacto las plantas requerían ser regadas, para evitar estrés hídrico.

A intervalos aproximados de 15 días (14, 32, 43, 66, 75, 95, 107, 120, 137 y 152 días post-siembra), se cosecharon las plantas de tres bolsas por cereal previa aleatorización. Para cada intervalo de cosecha se sembraron previamente tres repeticiones, sumando en total 30 bolsas por cereal, las cuales fueron identificadas con numeración progresiva y el nombre del cereal. Las plantas cosechadas en las tres repeticiones se separaron en sus cuatro componentes morfológicos (hojas, tallos, inflorescencia y raíz). Cada componente fue colocado en bolsas de papel identificadas con el intervalo de cosecha (días), el nombre del cereal y parte de las plantas. Las bolsas con los componentes se colocaron en una estufa de aire forzado para exponerlas a un proceso de secado por 72 horas, a 55° C de temperatura controlada. Al término del proceso de secado, se pesó cada componente.

Debido a que la cantidad de material a analizar (6 cereales x 3 repeticiones en invernadero x 3 componentes morfológicos x 10 intervalos de cosecha x 3 repeticiones en laboratorio) para digestibilidad, sumaba 1,620 determinaciones. Las partes morfológicas de las tres plantas se mezclaron para formar una sola muestra para hojas, una para tallos y una para inflorescencia de cada cereal e intervalo de cosecha, de esta manera disminuyó el número de determinaciones de digestibilidad a 1/3 (540), sin las repeticiones de invernadero.

Para la determinación de la digestibilidad de la materia seca, las mezclas para hojas, para tallos y para inflorescencias fueron molidas en un molino de

cuchillas equipado con una criba de 1 mm. Después de molidas las mezclas, se almacenaron en bolsas de poliuretano debidamente identificadas, hasta ser requeridas para la determinación de la digestibilidad. La digestibilidad de la materia seca se determinó, por triplicado, con el método *in vitro* de dos fases de Tilley y Terry modificado (Galyean, 1989).

La falta de repeticiones en invernadero impidió hacer un análisis de varianza para un modelo completamente al azar con mediciones repetidas en el tiempo (Littell *et al.*, 1998; Littell *et al.*, 2006). Por lo que se procedió a ajustar modelos de regresión lineal para cada cereal y componente morfológico con dos variables regresoras, una continua (digestibilidad en %) y una indicadora o categórica (D, para ensayos de crecimiento y para genotipos de cereal) con dos niveles 0 y 1 (Bowerman y O'Connell, 1990; Kutner *et al.*, 2004; Raymond *et al.*, 2006) con el procedimiento correspondiente (Freund y Littell, 2000) usando SAS 9.2 (2014).

Con el modelo de regresión con ensayos de crecimiento, como la variable categórica (D=0 para noviembre del 2014 a abril del 2015 y D=1 para junio a noviembre del año 2015), se probó la hipótesis para no diferencias en la tasa de disminución de la digestibilidad de la materia seca entre ensayos, para planta completa de cada cereal y sus respectivos componentes morfológicos (hojas, tallos e inflorescencias). El modelo de regresión ( $\hat{Y}_{ijk} = b_0 + b_1 D_i + b_2 T_j + b_3 (T * D)_{ij} + \epsilon_{ijk}$ ) comparó dos funciones de regresión considerando la digestibilidad (%) como variable dependiente ( $\hat{Y}_{ijk}$ ), el intercepto para las líneas de regresión ( $b_0$ ), la pendiente de la línea de regresión para la tasa de cambio de la digestibilidad con el tiempo ( $b_1$ ), el coeficiente de regresión para el efecto de ensayo de crecimiento ( $b_2$ ) y el coeficiente de regresión para la hipótesis de igualdad de pendientes de las líneas de los modelos de regresión ( $b_3$ ) y el error experimental ( $\epsilon_{ijk}$ ). En caso de que la probabilidad para la significancia de los coeficientes de regresión  $b_2$  y  $b_3$  sea menor a 0.05 se declara diferencias en la tasa de disminución y la presencia de la interacción tasa de digestibilidad\*ensayo de crecimiento, y por lo tanto diferencias en la disminución de tasa de

digestibilidad con el tiempo entre un ensayo y otro. En caso contrario, se declara similitud en las tasas de digestibilidad.

Para probar la hipótesis de igualdad en la tasa de disminución de la digestibilidad de la materia seca entre genotipos ( $H_1$ ) se empleó el modelo de regresión ( $\hat{Y}_{ijk} = b_0 + b_1D_i + b_2T_j + b_3(T * D)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$ ), con la variable categórica que compara seis funciones de regresión, para planta completa y componentes morfológicos de cada genotipo de cereal. La digestibilidad de la materia seca (%) fue la variable dependiente ( $\hat{Y}_{ijk}$ ), el intercepto para las línea de regresión ( $b_0$ ), la pendiente de las línea de regresión ( $b_1$ ), para la tasa de cambio de la digestibilidad con el tiempo, el coeficiente de regresión ( $b_2$ ) para el efecto de genotipo de cereales y determinar diferencias entre los cereales estudiados (Cuadro 7), el coeficiente de regresión ( $b_3$ ) para la respectiva interacción  $[(T * D)_{ij}]$  probó la hipótesis de igualdad de pendientes entre líneas de regresión ( $H_0$ ) y el error experimental ( $\varepsilon_{ijk}$ ).

Cuadro 7. Valor para las variables categóricas del modelo de regresión para diferencias entre los cereales estudiados.

Cereal	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	D <sub>5</sub>
Avena var. Chihuahua	1	0	0	0	0
Cebada	0	1	0	0	0
Trigo var Cortazar	0	0	1	0	0
Triticale var. Arne	0	0	0	1	0
Triticale var. Bicentenario	0	0	0	0	1
Triticale var. Siglo TCL21	0	0	0	0	0

Si la probabilidad para los coeficientes de la variable categórica y las interacciones es menor a 0.05, la tasa de disminución de la digestibilidad de materia seca fue similar para las plantas completas de los cereales y entre sus respectivos componentes morfológicos. En caso contrario la tasa de disminución para plantas completas y entre sus respectivos es diferente y la interacción digestibilidad\*genotipo de cereal es significativa; y se procede a ajustar modelos de regresión para planta completa y cada componente de

los cereales dentro de cada ensayo de crecimiento (Kutner *et al.*, 2004; Raymond *et al.*, 2006).

### 7.3 Resultados

**Modelos de regresión para probar efecto de ensayo.** Los coeficientes de regresión para probar el efecto simple de ensayo de crecimiento y la interacción tiempo\*ensayo de crecimiento, para casi todos los modelos (planta completa, hojas, tallos e inflorescencia), fueron no significativos. Revelando que la tasa de disminución de la digestibilidad de la materia seca de la planta completa y sus componentes morfológicos (hojas, tallos e inflorescencia) de cada cereal fue similar ( $p > 0.05$ ), en ambos ensayos de crecimiento (Cuadro 8). Excepto para tallos e inflorescencia de triticale var. Bicentenario y triticale var. Siglo XXI, respectivamente, para los cuales la tasa de disminución de la digestibilidad entre ensayos de crecimiento fue diferente ( $p < 0.05$ ).

**Modelos de regresión para diferencias entre cereales.** La probabilidad para los coeficientes de regresión, de los modelos genotipo de cereales, como variable categórica, y su correspondiente interacción con el tiempo; fueron significativos revelando diferencias en la tasa de disminución de la digestibilidad de la materia seca con el tiempo entre los cereales estudiados, dentro de cada ensayo de crecimiento. Por lo que se procedió a ajustar modelos de regresión para plantas completas de cada cereal y a comparar los respectivos coeficientes de regresión para la tasa de cambio de la digestibilidad con la madurez de las plantas, dentro del periodo de estudio correspondiente (Cuadro 8 a 11); para declarar diferencias o similitudes entre genotipos de cereal.

Cuadro 8. Probabilidad para los coeficientes de regresión para los modelos con digestibilidad, con tiempo post-siembra (T) como variable continua y periodo de estudio como variable categórica (D), para probar diferencias en la tasa de cambio de la digestibilidad con la madures entre periodos de estudio

Cereal	$b_0$	$b_1T_i$	$b_2D_j$	$b_3(T*D)_{ij}$	Pr>F
----- Planta Completa					
Triticale var. Siglo TCL21	<0.0001	0.0321	0.9423	0.7883	0.0525
Trigo var. Cortazar	<0.0001	0.1813	0.2779	0.4314	0.0617
Cebada var. San Marcos	<0.0001	0.0120	0.2362	0.1900	0.0545
Triticale var. Bicentenario	<0.0001	0.1604	0.5087	0.6813	0.1154
Avena var. Chihuahua	<0.0001	0.0065	0.6549	0.5839	0.0122
Triticale var. Arne	<0.0001	0.2257	0.1462	0.1585	0.0928
----- Hoja					
Triticale var. Siglo TCL21	<0.0001	0.0487	0.5847	0.8505	0.0521
Trigo var. Cortazar	<0.0001	0.0275	0.6428	0.7815	0.0423
Cebada var. San Marcos	<0.0001	0.1848	0.4274	0.4065	0.5754
Triticale var. Bicentenario	<0.0001	0.2426	0.5189	0.4367	0.1265
Avena var. Chihuahua	<0.0001	0.0243	0.6656	0.6711	0.0505
Triticale var. Arne	<0.0001	0.1095	0.3693	0.3053	0.1037
----- Tallo					
Triticale var. Siglo TCL21	<0.0001	0.0121	0.0725	0.2889	0.0053
Trigo var. Cortazar	0.0002	0.0151	0.1788	0.3138	0.0313
Cebada var. San Marcos	<0.0001	0.0263	0.3632	0.4553	0.0691
Triticale var. Bicentenario	<0.0001	0.0004	0.0105	0.0252	0.0014
Avena var. Chihuahua	<0.0001	0.0002	0.1211	0.1149	0.0007
Triticale var. Arne	<0.0001	0.0459	0.0553	0.0164	0.0026
----- Inflorescencia					
Triticale var. Siglo TCL21	<0.0001	0.0467	0.0035	0.0087	0.0045
Trigo var. Cortazar	0.0005	0.5008	0.7347	0.5665	0.6771
Cebada var. San Marcos	0.0038	0.8734	0.9841	0.9721	0.9790
Triticale var. Bicentenario	0.0082	0.8310	0.6775	0.8362	0.5386
Avena var. Chihuahua	0.0057	0.3070	0.0639	0.0675	0.0314
Triticale var. Arne	-----	-----	-----	-----	-----

Para plantas completas, las líneas de regresión para digestibilidad de la materia seca en relación al tiempo post-cosecha se presenta en la Figura 4 y 5, para mostrar la interacción entre genotipo del cereal y la digestibilidad, dentro de cada ensayo de crecimiento (Figura 4: Planta completa (4a y 4b), inflorescencias (4c y 4d); Figura 6: tallos (6a y 6b) y hojas (6c y 6d)). En las plantas de avena, cebada y triticale var. Bicentenario la digestibilidad disminuyó con el tiempo ( $p < 0.05$ ), en el primer ensayo; y en plantas de trigo, triticale var. Arne y triticale var. Siglo XXI, en el segundo ensayo. En el resto de los cereales la disminución en la digestibilidad no fue significativa ( $p > 0.05$ ; Cuadro 9).

Cuadro 9. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de plantas enteras, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.

Cereal	$b_0$	$b_1T_i$	P>Fr	R <sup>2</sup>
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
Avena var. Chihuahua	114.99±12.416 <sup>a</sup>	-0.399±0.110 <sup>b</sup>	0.0153	0.7235
Triticale var. Arne	90.54±13.823 <sup>ab</sup>	-0.132±0.123 <sup>a</sup>	0.3323	0.1872
Cebada ar. San Marcos	101.49±9.575 <sup>ab</sup>	-0.276±0.085 <sup>ab</sup>	0.0228	0.6783
Triticale var. Bicentenario	85.44±4.527 <sup>b</sup>	-0.132±0.040 <sup>a</sup>	0.0218	0.6838
Trigo var. Cortazar	83.44±10.522 <sup>b</sup>	-0.108±0.093 <sup>a</sup>	0.3009	0.2101
Triticale var. Siglo TCL21	94.12±11.182 <sup>ab</sup>	-0.200±0.099 <sup>ab</sup>	0.1005	0.4472
segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
Avena var. Chihuahua	106.55±13.506 <sup>ab</sup>	-0.307±0.118 <sup>ab</sup>	0.0604	0.6273
Triticale var. Arne	123.89±7.217 <sup>a</sup>	-0.441±0.071 <sup>b</sup>	0.0086	0.9270
Cebada var. San Marcos	83.47±10.579 <sup>b</sup>	-0.099±0.092 <sup>a</sup>	0.3479	0.2201
Triticale var. Bicentenario	95.03±14.03 <sup>b</sup>	-0.184±0.123 <sup>ab</sup>	0.2083	0.3596
Trigo var. Cortazar	97.27±4.511 <sup>b</sup>	-0.195±0.040 <sup>ab</sup>	0.0079	0.8584
Triticale var. Siglo TCL21	93.18±4.702 <sup>b</sup>	-0.169±0.041 <sup>ab</sup>	0.0150	0.8072

Diferentes literales en mayúsculas (a, b) muestran diferencias estadísticas en las columnas.  
T= Tiempo post-siembra.

En el primer ensayo, los modelos de regresión para avena, cebada y triticale var. Bicentenario explicaron el 72.35, 67.83 y 68.38% de la variabilidad total observada en la digestibilidad de la materia seca. En el segundo ensayo, los

modelos de regresión para triticale var. Arne, trigo y triticale var. Siglo TLC21 explicaron el 92.70, 85.84 y 80.72% de la variabilidad total observada en la digestibilidad de la materia seca, en ambos casos respectivamente (Cuadro 9). Las líneas para las funciones de regresión que relaciona los cambios en la digestibilidad de la materia seca de plantas completas con el tiempo post-siembra, se muestran en las figuras 4a y 4b; la interacción genotipo del cereal y tiempo post-siembra debida a la mayor tasa de disminución de la digestibilidad en las plantas de avena y cebada (4a) y de avena y triticale var. Arne (4b).

Para el primer ensayo, la disminución de digestibilidad de la materia seca de las hojas avena y triticale var. Arne fue significativa ( $p < 0.05$ ), lo cual indica el efecto del tiempo post-siembra. Para el resto de los cereales las tasas de disminución de la digestibilidad de la materia seca fueron no significativas ( $p > 0.05$ ). En el segundo ensayo, la tasa de disminución de la digestibilidad fue significativa para triticale var. Bicentenario, trigo y triticale var. Siglo TLC21 ( $p < 0.05$ ). La digestibilidad de la materia seca disminuyó en 2.30 y 1.87 g kg<sup>-1</sup> de materia seca para avena y triticale var. Arne, respectivamente en el primer ensayo; y en 2.76, 3.52, y triticale siglo TLC21, respectivamente en el segundo ensayo (Cuadro 10).

Los modelos de regresión para avena y triticale var. Arne explicaron el 74.52 y 65.78% de la variabilidad total observada en la digestibilidad con el tiempo post-siembra, en el primer ensayo de crecimiento; y 72.10, 69.12 y 85.12% de la variabilidad total observada en la digestibilidad en el segundo ensayo, respectivamente. En las figuras 6g y 6h se muestran las líneas, para la digestibilidad de la materia seca, evidenciando la interacción en cada ensayo de crecimiento debido a la pronunciada disminución en la digestibilidad de las hojas de cebada y triticale var. Siglo TLC21 (Figura 6g) y de las hojas de avena, triticale var. Arne y trigo (Figura 6h).

Cuadro 10. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de hojas, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.

Cereal	$b_0$	$b_1T_i$	P>Fr	R <sup>2</sup>
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
Avena var. Chihuahua	107.39 ± 6.791 <sup>a</sup>	-0.230±0.060 <sup>a</sup>	0.0123	0.7452
Triticale var. Arne	99.49 ± 6.787 <sup>a</sup>	-0.187±0.060 <sup>a</sup>	0.0268	0.6578
Cebada var. San Marcos	98.43 ± 12.005 <sup>a</sup>	-0.157±0.107 <sup>a</sup>	0.2012	0.3021
Triticale var. Bicentenario	86.77 ± 15.091 <sup>a</sup>	-0.144±0.134 <sup>a</sup>	0.3328	0.1868
Trigo var. Cortazar	113.08 ± 20.196 <sup>a</sup>	-0.416±0.186 <sup>a</sup>	0.0749	0.5017
Triticale var. Siglo TCL21	102.45 ± 16.986 <sup>a</sup>	-0.266±0.151 <sup>a</sup>	0.1375	0.3844
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
Avena var. Chihuahua	101.24±12.562 <sup>a</sup>	-0.177±0.110 <sup>ab</sup>	0.1826	0.3934
Triticale var. Arne	119.88±26.069 <sup>a</sup>	-0.412±0.258 <sup>b</sup>	0.2086	0.4594
Cebada var. San Marcos	83.79±12.974 <sup>a</sup>	-0.021±0.114 <sup>a</sup>	0.8591	0.0089
Triticale var. Bicentenario	99.20±9.818 <sup>a</sup>	-0.276±0.086 <sup>b</sup>	0.0324	0.7210
Trigo var. Cortazar	100.80±13.430 <sup>a</sup>	-0.352±0.118 <sup>b</sup>	0.0403	0.6912
Triticale var. Siglo TCL21	91.76±5.588 <sup>A</sup>	-0.234±0.049 <sup>b</sup>	0.0088	0.8512

Diferentes literales en mayúsculas (a, b) muestran diferencias estadísticas en las columnas.  
T= Tiempo post-siembra.

Los modelos de regresión para digestibilidades de la materia seca de los tallos revelan efecto significativo del tiempo post-siembra para avena, triticale var. Bicentenario y trigo, en el primer ensayo de crecimiento; y para avena, triticale var. Arne y triticale Siglo TCL21, en el segundo ensayo ( $p < 0.05$ ). El resto de los modelos revelan un efecto no significativo ( $p > 0.05$ ) de los tiempos post-siembra sobre la digestibilidad de la materia seca (Cuadro 11).

En el primer ensayo, los modelos de regresión para tallos de avena, triticale var. Bicentenario, y trigo explicaron el 86.31, 81.61 y 57.45%; para avena, triticale var. Arne y triticale var. Siglo TLC21 explicaron el 75.58, 88.48 y 66.67% de la variabilidad observada en digestibilidad de la materia seca, respectivamente. En las figuras 6e y 6f, se muestra las líneas para las funciones de regresión del cambio de la digestibilidad y de existencia de la interacción genotipo del cereal y tiempos post-cosecha debida a la

acentuada disminución en la digestibilidad de la materia seca en los tallos de avena y triticale var. Bicentenario (primer ensayo de crecimiento, Figura 6e) y en tallos de triticale var. Arne en el segundo ensayo (Figura 6f).

Cuadro 11. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de tallos, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.

Cereal	$b_0$	$b_1T_i$	P>Fr	R <sup>2</sup>
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
Avena var. Chihuahua	115.01±9.717 <sup>a</sup>	-0.484±0.086 <sup>ab</sup>	0.0025	0.8631
Triticale var. Arne	109.97±13.263 <sup>a</sup>	-0.281±0.118 <sup>a</sup>	0.0628	0.5321
Cebada var. San Marcos	103.23±18.319 <sup>a</sup>	-0.354±0.163 <sup>ab</sup>	0.0813	0.4868
Triticale var. Bicentenario	114.24±12.150 <sup>a</sup>	-0.508±0.108 <sup>b</sup>	0.0053	0.8161
Trigo var. Cortazar	110.48±20.413 <sup>a</sup>	-0.471±0.181 <sup>ab</sup>	0.0484	0.5745
Triticale var. Siglo TCL21	103.03±16.149 <sup>a</sup>	-0.358±0.143 <sup>ab</sup>	0.0548	0.5548
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
Avena var. Chihuahua	92.11±9.078 <sup>b</sup>	-0.278±0.079 <sup>a</sup>	0.0249	0.7538
Triticale var. Arne	165.04±20.941 <sup>a</sup>	-0.996±0.207 <sup>b</sup>	0.0172	0.8848
Cebada var. San Marcos	82.61±9.686 <sup>bc</sup>	-0.206±0.085 <sup>a</sup>	0.0722	0.5955
Triticale var. Bicentenario	65.10±8.615 <sup>cd</sup>	-0.148±0.075 <sup>a</sup>	0.1219	0.4893
Trigo var. Cortazar	73.52±13.920 <sup>bc</sup>	-0.232±0.122 <sup>a</sup>	0.1296	0.4754
Triticale var. Siglo TCL21	65.52±7.042 <sup>d</sup>	-0.174±0.062 <sup>a</sup>	0.0474	0.6667

Diferentes literales en mayúsculas (a, b, c, d) muestran diferencias estadísticas en las columnas.  
T= Tiempo post-siembra.

Para las inflorescencias, los modelos de regresión revelan que la disminución en la digestibilidad de la materia seca en las inflorescencias de avena con el tiempo post-siembra, en el primer ensayo; y para la digestibilidad de las inflorescencias de triticale var. Siglo TCL21 no son diferentes ( $p>0.05$ ). Los respectivos modelos de regresión para el segundo ensayo, explicaron el 72.48 y 94.56% de la variabilidad total observada para la digestibilidad de la materia seca de las inflorescencias de avena y de triticale var. TLC21, respectivamente (Cuadro 12).

Cuadro 12. Coeficientes de regresión para digestibilidad de la materia seca, de inflorescencias, nivel de probabilidad y coeficiente de determinación para modelos de regresión de seis cereales de grano pequeño, estudiados en cada ensayo de crecimiento.

Cereal	$b_0$	$b_1T_i$	P>Fr	R <sup>2</sup>
Primer ensayo (noviembre 2014 a abril 2015)				
Avena var. Chihuahua	67.06±7.612 <sup>b</sup>	0.086±0.058 <sup>A</sup>	0.2775	0.5220
Triticale var. Arne	-----	-----	-----	-----
Cebada var. San Marcos	85.38±14.606 <sup>ab</sup>	-0.027±0.117 <sup>ab</sup>	0.8343	0.0170
Triticale var. Bicentenario	82.48±19.072 <sup>ab</sup>	-0.035±0.153 <sup>ab</sup>	0.8323	0.8323
Trigo var. Cortazar	87.45±9.083 <sup>a</sup>	-0.092±0.077 <sup>b</sup>	0.2958	0.2653
Triticale var. Siglo TCL21	61.39±10.757 <sup>b</sup>	0.141±0.086 <sup>a</sup>	0.1998	0.4724
Segundo ensayo (junio a noviembre 2015)				
Avena var. Chihuahua	105.97±7.457 <sup>a</sup>	-0.212±0.065 <sup>b</sup>	0.0315	0.7248
Triticale var. Arne	-----	-----	-----	-----
Cebada var. San Marcos	84.90±13.114 <sup>b</sup>	-0.033±0.115 <sup>ab</sup>	0.7850	0.0208
Triticale var. Bicentenario	93.70±13.923 <sup>ab</sup>	-0.081±0.122 <sup>ab</sup>	0.5442	0.0987
Trigo var. Cortazar	80.57±15.505 <sup>b</sup>	-0.008±0.136 <sup>a</sup>	0.9540	0.0009
Triticale var. Siglo TCL21	97.59±1.454 <sup>ab</sup>	-0.106±0.013 <sup>ab</sup>	0.0011	0.9456

Diferentes literales en mayúsculas (a, b, c) muestran diferencias estadísticas en las columnas.  
T= Tiempo post-siembra.

La interacción genotipo del cereal y tiempo post-siembra se presenta en las figuras 4c y 4d; y las tendencias en el cambio de la digestibilidad de la materia seca. Destaca el aumento en la digestibilidad de las inflorescencias de avena y triticale Siglo TLC21 (Figura 4c) que claramente contrasta con el patrón de cambio de la digestibilidad esperada con el avance del tiempo post-cosecha visualizado en el segundo ensayo de crecimiento (Figura 4d).

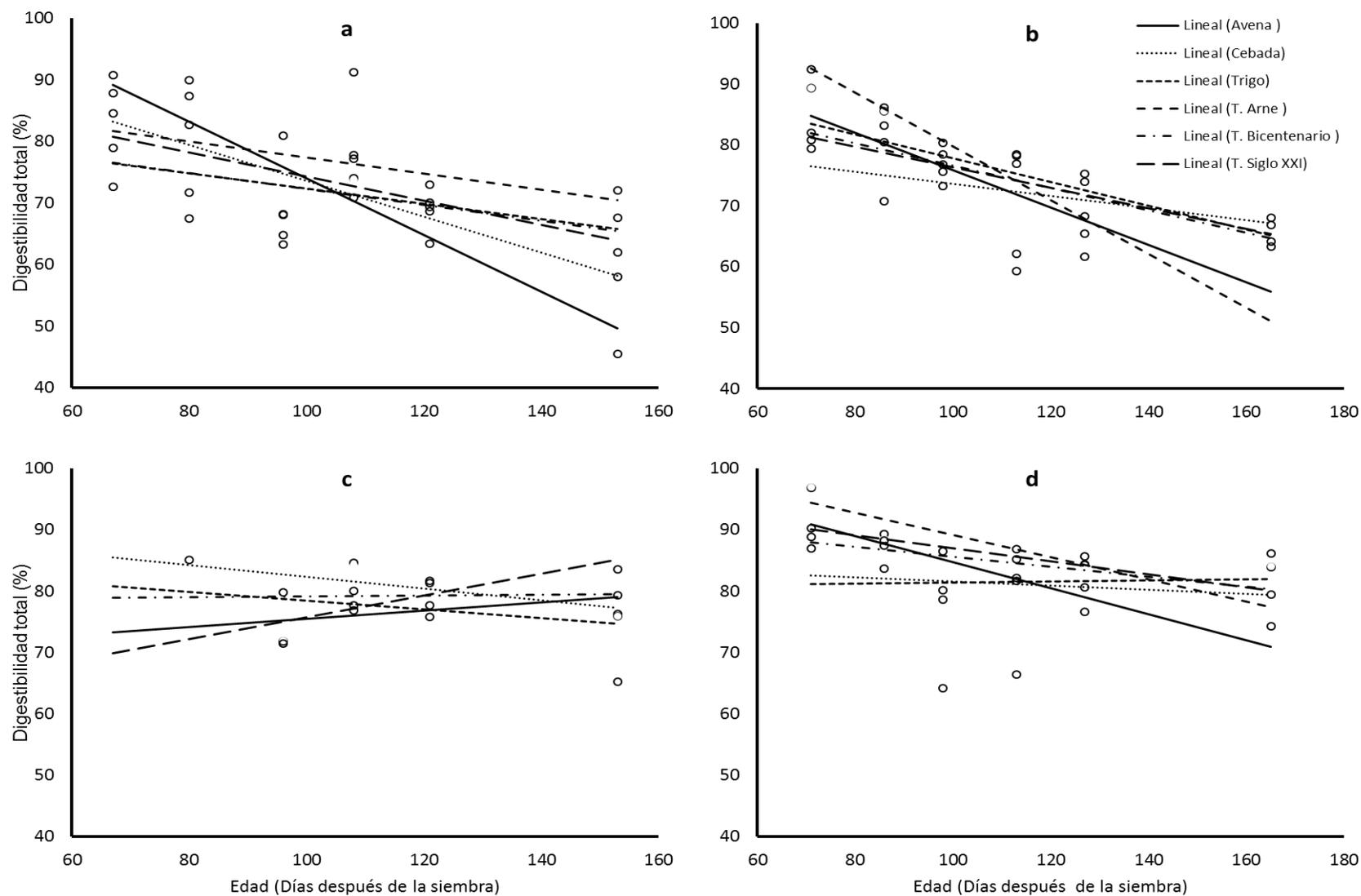


Figura 4. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca de plantas completas (a y b) e inflorescencias (c y d) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)] en condiciones de invernadero.

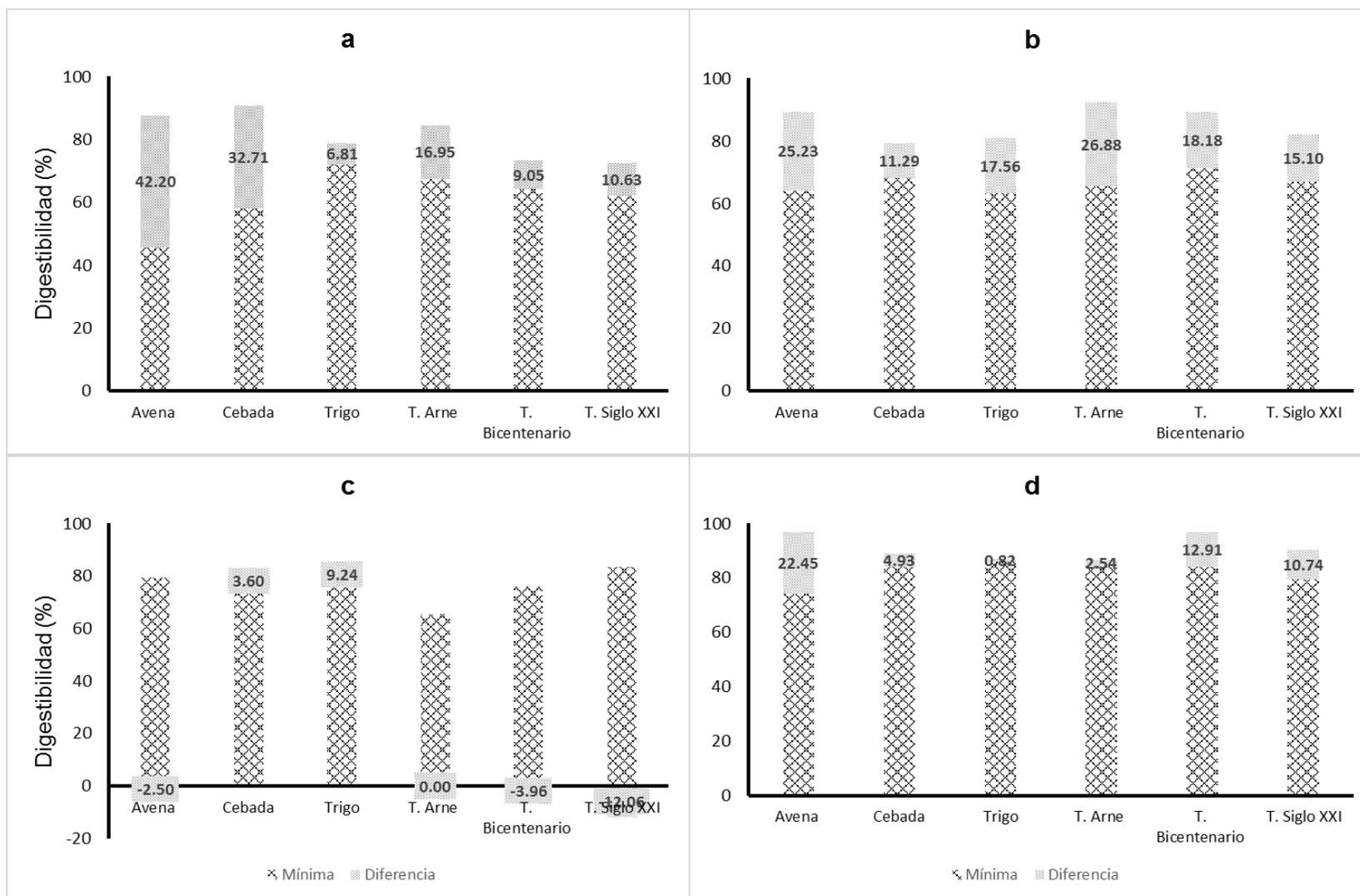


Figura 5. Pérdida de digestibilidad *in vitro* de la materia seca de plantas completas (a y b) e inflorescencias (c y d) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (a y c) y mayo a noviembre 2015 (b y d)] en condiciones de invernadero.

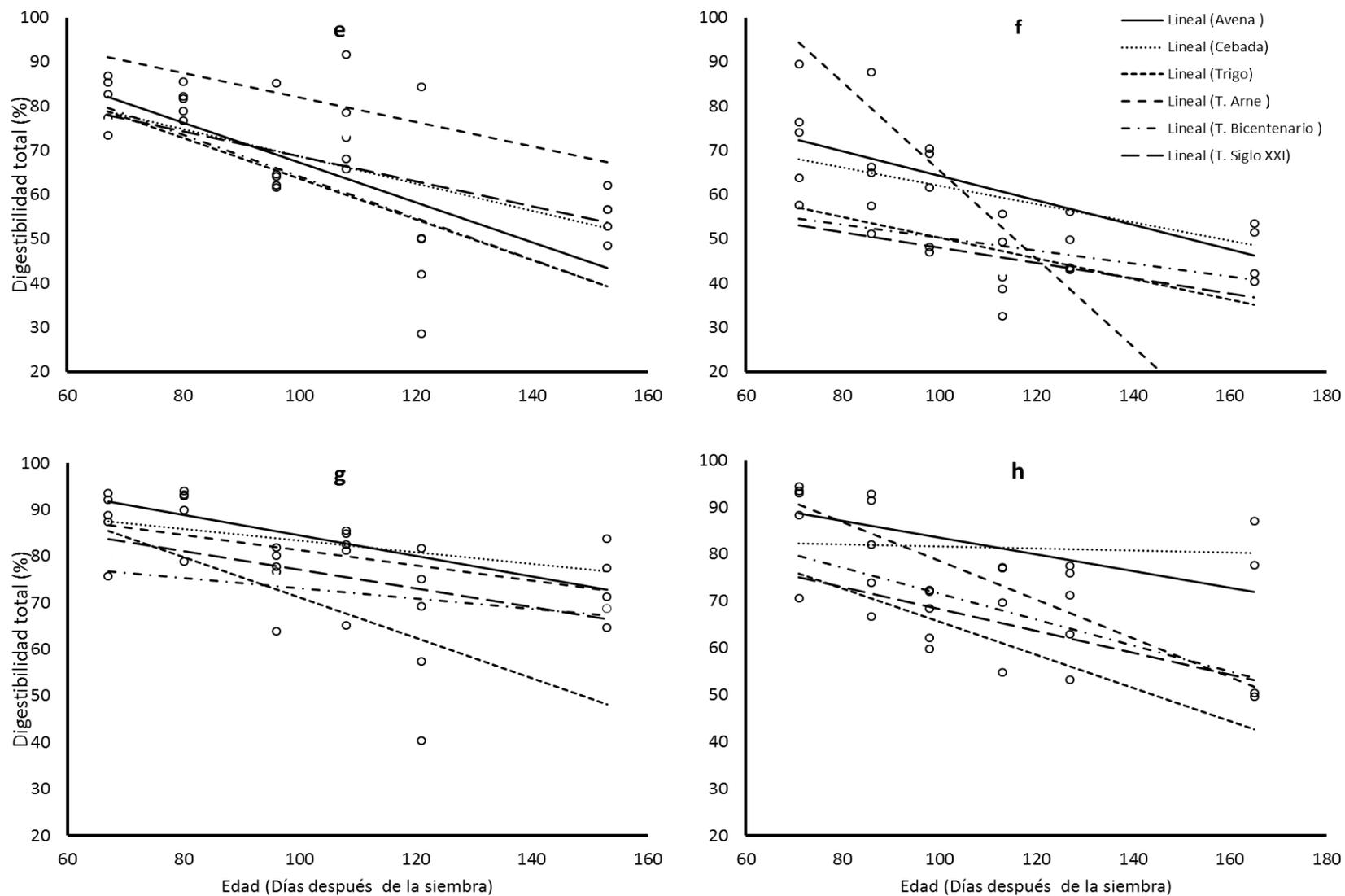


Figura 6. Digestibilidad *in vitro* de la materia seca de tallos (e y f) y hojas (g y h) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)] en condiciones de invernadero.

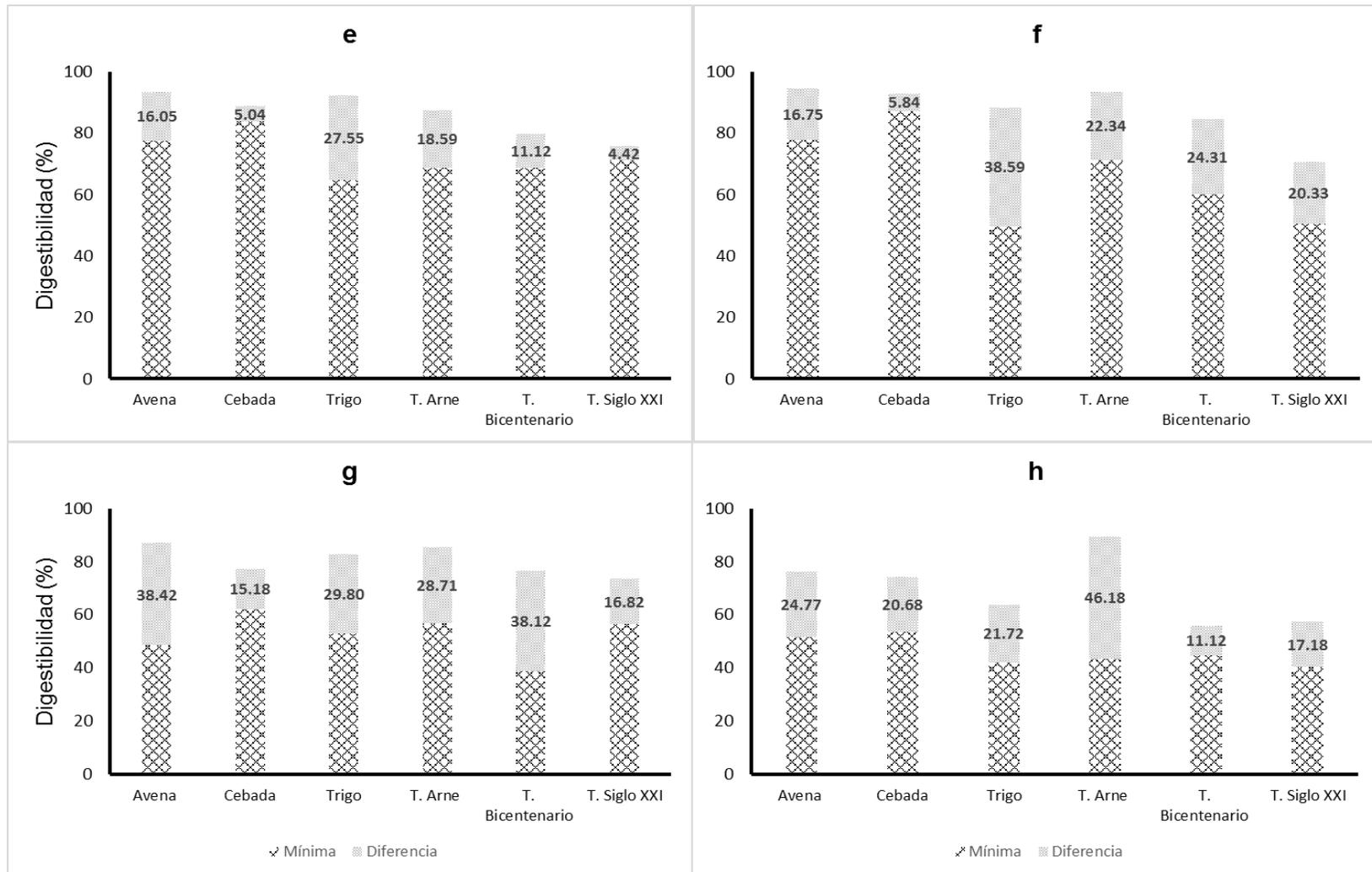


Figura 7. Pérdida de digestibilidad *in vitro* de la materia seca de hojas (e y f) y tallos (g y h) de seis cereales de grano pequeño con potencial forrajero evaluados en dos ensayos [octubre 2014 a abril 2015 (e y g) y mayo a noviembre 2015 (f y h)] en condiciones de invernadero.

## 7.4 Discusión

El incluir el efecto de ensayo de crecimiento, como variable categórica, en los modelos de regresión para planta completa, hojas, tallos e inflorescencias con la finalidad de probar estadísticamente diferencias entre las dos funciones de regresión, para cada cereal, demostró que la tendencia en la disminución de la digestibilidad es paralela con pendientes similares como ha sido demostrado en textos clásicos de regresión (Bowerman y O'Connell, 1990; Kutner *et al.*, 2004; Raymond *et al.*, 2006). La causa principal por la que la mayoría de los modelos de regresión no resultaran significativos fue la mayor magnitud de la varianza alrededor de la línea de regresión en comparación con la variación debida a la línea de regresión (Raymond *et al.*, 2006), ocasionando que la probabilidad para el modelo de regresión y el coeficiente de correlación para la digestibilidad resultara mayor a 0.05. Los modelos que resultaron significativos explicaron más del 65% de la variabilidad observada en la digestibilidad de la materia seca excepto uno, como consecuencia de la mayor variabilidad debida a la línea de regresión en comparación con la variabilidad alrededor de la línea de regresión (Bowerman y O'Connell, 1990; Kutner *et al.*, 2004; Raymond *et al.*, 2006). La variabilidad alrededor de las líneas de regresión posiblemente está asociada a diferencias en madurez de las plantas, de cada cereal, a una misma edad.

El tiempo post-siembra, se empleó como sinónimo de avance en la madurez de las plantas (Dumont y Lanuza, 1990; Catrileo *et al.*, 2003; Rojas *et al.*, 2004; Eskandari *et al.*, 2009; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011), así que la disminución de la digestibilidad de la materia seca de plantas completas, hojas, tallos e inflorescencias pudo deberse al aumento en el contenido de lignina en las paredes celulares de las hojas y aumento de los elementos fribosos lignificados de los haces vasculares en los tallos (floema y xilema), con el avance en la madurez de las plantas de los cereales (Reid *et al.*, 1987; Harris y Smith, 2006). También se puede explicar la disminución de la materia seca, en plantas completas, como un efecto dominante del aumento en la proporción de tallos en relación a hojas (Rojas *et al.*, 2004; Eskandari *et al.*, 2009; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011). La digestibilidad de la materia seca de plantas completas de cereales ha sido la más estudiada (Dumont y

Lanuza, 1990; Catrileo *et al.*, 2003; Mejia-Delgadillo *et al.*, 2011) en comparación con la digestibilidad de la materia seca de hojas, tallos e inflorescencia. Esto debido a que el interés se enfoca en determinar el tiempo post-siembra para cosechar forraje con mayor digestibilidad y no para entender el cambio en la digestibilidad con la madurez o edad de las plantas.

## **7.5 Conclusiones**

En todos los casos la digestibilidad de la materia seca disminuyó con el tiempo post-siembra, sinónimo del grado de madurez de las plantas. Los modelos de regresión permiten explicar la disminución de la digestibilidad de la materia seca de plantas completas, hojas, tallos e inflorescencias cuando las fuentes de variación son mínimas.

## **7.6 Literatura citada**

Bowerman, B. L. and R. T. O'Connell. 1990. Linear Statistical Models: An Applied Approach. PWS-Kent, Boston, USA. 1024 p.

Catrileo S., A., C. Rojas G., and J. Matus C. 2003. An evaluation of the production and quality of barley sown alone or combined with forage species for the production of silage. *Agricultura Técnica* 63: 135-145.

Dumont, J. C. L., and F. Lanuza. A. 1990. Yield and chemical composition of oats (*Avena sativa* L.), at different stages of maturity. *Agricultura Técnica* 50:1-6.

Eskandari, H., A. Ghanbari, and A. Javanmard. 2009. Intercropping of cereals and legumes for forage production. *Notulae Scientia Biologicae* 1: 7-13.

Firdous, R., A. H. Gilani, A. R. Barque, and M. Akram. 1999. Effect of stage of growth and cultivar on chemical composition of whole maize plant and its morphological fractions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 12: 366-370.

Freund J. R. and R. C. Littell. 2000. SAS® System for Regression. Third edition. SAS institute Inc., Cary NC, USA. 236 p.

- Galyean, M. 1989. *Laboratory Procedures in Animal Nutrition Research*. Department of Animal and Life Science. New México State University, USA. 188.
- Girard, V., and G. Dupuis. 1988. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially digestible fiber, intake, and true digestibility by ruminants. *Canadian Journal of Animal Science* 68: 787-799.
- Harris, P. J., and B. G. Smith. 2006. Plant cell walls and cell-wall polysaccharides: structures, properties and uses in food products. *International Journal of Food Science and Technology* 41: 129-143.
- INEGI. 2015. <http://www3.inegi.org.mx>. Consultada el 3 de diciembre de 2015.
- Jung, H. G., and M. S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science* 73: 2774-2790.
- Kutner, M. H., C. J. Nachtsheim, and J. Neter. 2004. *Applied Linear Regression Models* (; McGraw-Hill). 701 p.
- Mejia-Delgadillo, M. A., E. G. Álvarez-Almora, J. M. Pinos-Rodríguez, J. F. Ponce-Medina, A. Plascencia-Jorquera, L. F. Escoboza-García, and J. Rodríguez-García. 2011. Digestion of wheat hay as compared to alfalfa and ryegrass in steers. *Agrociencia* 45: 13–21.
- Littell C. R., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger and O. Schabenberger. 2006. *SAS for Mixed Models*. Second edition. SAS Institute Inc., Cary NC, USA. 834 p.
- Littell C. R., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedure. *Journal of Animal Science* 76: 1216-1231.

- Østrem, L., B. Volden, H. Steinshamn, and H. Volden. 2015. Festulolium fibre characteristics and digestibility as affected by maturity. *Grass and Forage Science* 70: 341-352.
- Raymond, J. C., D. Ruppert, L. A. Stefanski, and C. M. Crainiceanu. 2006. *Measurement Error in Nonlinear Models: A Modern Perspective. Second Edition.* Chapman and Hall/CRC. Unites States of America. 701 p.
- Reid, R. L., W. C. Templeton, T. S. Ranney, and W. V. Thayne. 1987. Digestibility, intake and mineral utilization of combinations of grasses and legumes by lambs. *Journal of Animal Science* 64: 1725-1734.
- Rojas G, C., A. Catrileo S., M. Manríquez B., and F. Calabí F. 2004. An evaluation of the cutting stage on triticale ( X Triticosecale Wittmack ) for silage 1. *Agricultura Técnica* 64: 34-40.
- Statistical Analysis System (SAS). 2014. SAS on line Doc. Versión 9.2. Institute, Inc. Cary, NC, USA.