

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIO  
EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN  
CEREAL-EBO

TESIS

Que como requisito parcial  
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

MARÍA DE LOURDES REYES MEDEL

Bajo la supervisión de:

JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ, Ph.D.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, junio de 2019

## RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO

Tesis realizada por **MARÍA DE LOURDES REYES MEDEL** 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

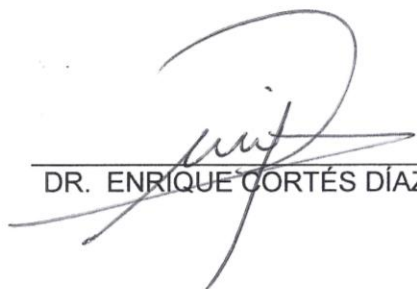
DIRECTOR:

  
Ph.D. JOSÉ LUIS ZARAGOZA RAMÍREZ

ASESOR:

  
Ph.D. PEDRO ARTURO MARTÍNEZ HERNÁNDEZ

ASESOR:

  
DR. ENRIQUE CORTÉS DÍAZ

## CONTENIDO

LISTA DE CUADROS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
DEDICATORIAS .....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	viii
RESUMEN GENERAL.....	ix
Abstract.....	x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
2.1. Características del ambiente donde se han sembrado los cereales solos o asociados con ebo .....	3
2.2. Rendimiento de materia seca de cereales asociados con ebo.....	4
2.3. Calidad de la materia seca de la asociación cereal-ebo.....	5
2.3.1. Contenido de proteína cruda.....	8
2.3.2. Contenido de fibra.....	9
2.3.3. Digestibilidad de la materia seca .....	10
2.3.4. Contenido de energía metabolizable .....	11
2.4. Madurez de las plantas, contenido de proteína cruda y digestibilidad .	12
2.5. Literatura Citada .....	17
3. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO22	
3.1. Resumen.....	22
3.2. Abstract.....	23
3.3. Introducción.....	24
3.4. Materiales y métodos .....	24

3.5.	Resultados y discusión .....	26
3.6.	Conclusión .....	31
3.7.	Literatura citada .....	31
4.	RENDIMIENTO DE PROTEÍNA CRUDA DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO .....	33
4.1.	Resumen.....	33
4.2.	Abstract.....	34
4.3.	Introducción.....	35
4.4.	Materiales y métodos .....	36
4.5.	Resultados y discusión .....	38
4.6.	Conclusión .....	41
4.7.	Literatura citada .....	42
5.	CALIDAD DEL FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO .....	46
5.1.	Resumen.....	46
5.2.	Abstract.....	47
5.3.	Introducción.....	48
5.4.	Materiales y métodos .....	49
5.5.	Resultados y discusión .....	52
5.6.	Conclusión .....	65
5.7.	Literatura citada .....	65

## LISTA DE CUADROS

<b>CUADRO 1.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN DIFERENTES ESTADOS FISIOLÓGICOS DE AVENA Y TRITICALE COMO MONOCULTIVOS Y SU ASOCIACIÓN CON EBO EN DIFERENTES PROPORCIONES Y BAJO DIFERENTES CONDICIONES AMBIENTALES. ...	<b>6</b>
<b>CUADRO 2.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PROMEDIO ( $T HA^{-1}$ ) POR COMPONENTE BOTÁNICO PARA AVENA VARIEDAD CHIHUAHUA ASOCIADO CON EBO A DIFERENTES PORCENTAJES DE SIEMBRA, CON BASE EN UNA DENSIDAD DE SIEMBRA EQUIVALENTE A $100 KG HA^{-1}$ .....	<b>30</b>
<b>CUADRO 3.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PROMEDIO ( $T HA^{-1}$ ) POR COMPONENTE BOTÁNICO PARA TRITICALE VARIEDAD SIGLO XXI ASOCIADO CON EBO A DIFERENTES PORCENTAJES DE SIEMBRA, CON BASE EN UNA DENSIDAD DE SIEMBRA EQUIVALENTE A $100 KG HA^{-1}$ .....	<b>30</b>
<b>CUADRO 4.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA PROMEDIO ( $T HA^{-1}$ ) POR COMPONENTE BOTÁNICO PARA TRITICALE VARIEDAD BICENTENARIO ASOCIADO CON EBO A DIFERENTES PORCENTAJES DE SIEMBRA, CON BASE EN UNA DENSIDAD DE SIEMBRA EQUIVALENTE A $100 KG HA^{-1}$ . ....	<b>31</b>
<b>CUADRO 5.</b> COEFICIENTES DE CORRELACIÓN PARA PORCENTAJE DE SEMILLA DE EBO SEMBRADA Y PORCENTAJE DE EBO COSECHADO, EN LAS ASOCIACIONES CEREAL EBO.....	<b>40</b>
<b>CUADRO 6.</b> CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA (%) EN LAS ASOCIACIONES CEREAL-EBO. ....	<b>40</b>
<b>CUADRO 7.</b> DIFERENCIA EN EL PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA EN EL FORRAJE DE MONOCULTIVO DE LOS CEREALES CON RESPECTO AL MONOCULTIVO DE EBO.....	<b>41</b>
<b>CUADRO 8.</b> ALGUNOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS DE LA MATERIA SECA DEL FORRAJE COSECHADO DE LAS ASOCIACIONES CEREAL-EBO, ESTUDIADAS EN ESTA INVESTIGACIÓN.....	<b>53</b>
<b>CUADRO 9.</b> COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA ALGUNOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN LA MATERIA SECA DEL FORRAJE COSECHADO DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO, EN SEPTIEMBRE 25 DE 2017.....	<b>55</b>
<b>CUADRO 10.</b> COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LOS MODELOS DE REGRESIÓN PARA ALGUNOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS EN LA MATERIA SECA DEL FORRAJE COSECHADO DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO, EN OCTUBRE 21 DE 2017.....	<b>58</b>
<b>CUADRO 11.</b> PARÁMETROS PARA LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN DE GAS ( $ML H^{-1}$ ) ACUMULADO DURANTE 72 HORAS DE INCUBACIÓN DEL FORRAJE COSECHADO EN SEPTIEMBRE 25 DE 2017, DE LAS ASOCIACIONES CEREAL-EBO.....	<b>61</b>
<b>CUADRO 12.</b> PARÁMETROS PARA LOS MODELOS DE PRODUCCIÓN DE GAS ( $ML H^{-1}$ ) ACUMULADO DURANTE 72 HORAS DE INCUBACIÓN DEL FORRAJE COSECHADO EN OCTUBRE 21 DE 2017, DE LAS ASOCIACIONES CEREAL-EBO.....	<b>63</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> ESQUEMATIZACIÓN DE LA RELACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA EN LA MATERIA SECA (Y) Y PORCENTAJE DE EBO EN EL FORRAJE COSECHADO DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO.....	<b>14</b>
<b>FIGURA 2.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (T HA <sup>-1</sup> ) DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO EN SEIS FECHAS DE COSECHA.....	<b>27</b>
<b>FIGURA 3.</b> RENDIMIENTO DE MATERIA SECA (T HA <sup>-1</sup> ) DE LOS TRES CEREALES ASOCIADOS CON EBO. ....	<b>28</b>
<b>FIGURA 4.</b> PORCENTAJE DE COMPONENTES BOTÁNICOS (CEREAL, EBO Y MALEZA) EN EL CULTIVO CEREAL-EBO SEGÚN FECHA DE CORTE, EN CONDICIONES DE SECANO PARA LA TEMPORADA DE CRECIMIENTO VERANO-OTOÑO DE 2017. ....	<b>29</b>
<b>FIGURA 5.</b> PORCENTAJE DE COMPONENTES BOTÁNICOS (CEREAL Y EBO) EN EL CULTIVO CEREAL-EBO SEGÚN EL PORCENTAJE DE EBO EN LA ASOCIACIÓN Y FECHA DE CORTE, EN CONDICIONES DE SECANO PARA LA TEMPORADA DE CRECIMIENTO VERANO-OTOÑO DE 2017. ....	<b>39</b>
<b>FIGURA 6.</b> CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA, DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y DE MATERIA ORGÁNICA Y EXTRACTO ETÉREO DEL FORRAJE COSECHADO EN SEPTIEMBRE 25 DE 2017.....	<b>54</b>
<b>FIGURA 7.</b> CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA, DE FIBRA DETERGENTE NEUTRO Y DE MATERIA ORGÁNICA Y EXTRACTO ETÉREO DEL FORRAJE COSECHADO EN OCTUBRE 21 DE 2017. ....	<b>56</b>
<b>FIGURA 8.</b> CURVAS PARA PRODUCCIÓN DE GAS DEL FORRAJE AVENA VARIEDAD CHIHUAHUA-EBO, TRITICALE VARIEDAD BICENTENARIO-EBO Y TRITICALE VARIEDAD SIGLO XXI-EBO, COSECHADO EN SEPTIEMBRE 25 Y OCTUBRE 21 DE 2017. ....	<b>60</b>
<b>FIGURA 9.</b> LÍNEAS DE REGRESIÓN PARA DIGESTIBILIDAD IN VITRO POR LA TÉCNICA DE PRODUCCIÓN DE GAS PARA CADA GENOTIPO DE CEREAL COMBINADO CON EBO...	<b>64</b>

## DEDICATORIAS

*Dedico esta tesis a mi Familia y Hermanos, por confiar en mí y creer en que puedo alcanzar todas las metas que me proponga.*

*A mis amigos por estar siempre a mi lado, a pesar de la distancia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal, por el crecimiento profesional que me han permitido obtener.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me brindaron durante mi estancia en la Maestría.

Al Dr. José Luis Zaragoza por su apoyo, dirección y confianza para poder terminar esta investigación.

Al Dr. Pedro Arturo Martínez y Dr. Enrique Cortés por su asesoría para la elaboración de este proyecto de tesis.

Al Dr. Miranda por brindarme sus conocimientos con respecto a la técnica de producción de gas y por prestarme su laboratorio para realizar esta fase experimental.

A los laboratoristas Fabian, Laura y Carmen por su amistad y apoyo durante el tiempo que trabajé en el laboratorio.

A los estudiantes y amigos Jorge, Diego, Guillermo y Citlaly por su ayuda durante mi fase de campo.



## **DATOS BIOGRÁFICOS**

### **Datos personales**

Nombre: María de Lourdes Reyes Medel  
Fecha de nacimiento: 12 de noviembre de 1990  
Lugar de nacimiento: Nogales, Veracruz.  
Profesión: Ingeniero Agrónomo especialista en Zootecnia  
Cédula profesional: 9938345

### **Desarrollo académico**

Licenciatura: Departamento de Zootecnia  
Universidad Autónoma Chapingo  
2010-2014  
Maestría: Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera  
Posgrado en Producción Animal  
Universidad Autónoma Chapingo  
2017-2018

## RESUMEN GENERAL

### RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO<sup>1</sup>

El objetivo fue evaluar el rendimiento y la calidad de la materia seca (MS) de avena variedad Chihuahua y dos variedades de triticale (Bicentenario y Siglo XXI) asociadas con ebo común y seis cortes basados en la madurez fisiológica de las plantas de avena. El estudio se llevó a cabo en condiciones de temporal verano-otoño 2017. Se evaluaron cuatro asociaciones cereal-ebo (0-100, 75-25, 50-50 y 25-75%) y sus monocultivos, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones. Se tomaron muestras de cada asociación cereal-ebo y monocultivos en sept 03, sept 10, sept 15, sept 25, oct 07 y oct 21 de 2017. Se midió rendimiento total de MS del cultivo y de cada componente botánico. Se estimó el porcentaje de ebo, con base en el peso total. De cada combinación se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), materia orgánica (MO), extracto etéreo (EE) y la digestibilidad de la materia seca (DMS). Los cereales como monocultivo produjeron mayor cantidad de MS, pero menor contenido de PC que las asociaciones; sin embargo, las asociaciones produjeron más cantidad de MS que el monocultivo de ebo, siendo este el que produjo mayor cantidad de PC. La combinación avena y triticale con ebo demostró que al aumentar el porcentaje de ebo se incrementó el contenido de PC y de FDN, independientemente del estado de madurez de las plantas del cereal al momento de la cosecha.

**Palabras clave:** *Avena sativa* L., *X triticosecale wittmack*, *Vicia sativa* L., rendimiento de materia seca, calidad, proteína cruda

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: María de Lourdes Reyes Medel  
Director de Tesis: José Luis Zaragoza Ramírez

## **Abstract**

### **DRY MATTER YIELD AND FORAGE QUALITY OF MIXTURES CEREALS- COMMON VETCH<sup>1</sup>**

The objective was to evaluate the yield and quality of dry matter (DM) of Chihuahua variety oat and two varieties of triticale (Bicentenario and Siglo XXI) associated with common vetch and six cuts based on the physiological maturity of the oat plants. The study was carried out under conditions of the summer-autumn 2017 season. Four oats and triticale mixtures (100-0, 75-25, 50-50 and 75-25%) and monocultures were evaluated under a completely randomized experimental design with factorial arrangement and three replicates. Samples of cereal-vetch mixtures and monocultures at Sept 03, Sept 10, Sept 15, Sept 25, Oct 07, and Oct 21 were taken. Total DM yield of the crop and of each botanical component was determined. From each cereal-vetch association the percentage of vetch, relative to the total weight was estimated. From each combination, the content of crude protein (PC), neutral detergent fiber (NDF), organic matter (OM), ether extract (EE), and the digestibility of dry matter (DMS) were determined. Cereals as monocultures produced more DM, but lower CP percentage than associations, but the associations produced more DM than the monoculture of vetch, which is the one that produced the most PC. The oat and triticale combination with vetch showed that increasing the percentage of vetch increased the PC and NDF content, regardless of the state of maturity of the cereal plants at harvest time.

---

<sup>1</sup> Thesis, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: María de Lourdes Reyes Medel  
Advisor: José Luis Zaragoza Ramírez

**Key words:** *Avena sativa* L., *X triticosecale wittmack*, *Vicia sativa* L., dry matter yield, quality, crude protein.

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de forrajes cultivados es fundamental para la alimentación de rumiantes, en sistemas de producción pecuarios intensivos y extensivos; especialmente, para satisfacer la demanda de forraje de los hatos o rebaños de rumiantes en las temporadas de invierno y primavera (diciembre a mayo), cuando es difícil satisfacer la necesidad de materia seca o nutrimentos de los rumiantes. En esta temporada se recurre al uso de esquilmos agrícolas, los cuales contienen menos del 7% de proteína cruda y con materia seca digestible menor al 55%, debido al mayor contenido de lignina (Hancock, 2009). Una manera de mejorar la alimentación del ganado es adicionando a la dieta heno de la mezcla cereal de grano pequeño-ebo (*Vicia sativa* L.).

Los cereales de grano pequeño, como la avena (*Avena sativa* L.) y el triticale (*X triticosecale wittmack*), tienen potencial para producir heno. Al asociar estos cereales con el ebo se cosecha más forraje por hectárea y materia seca de mayor valor nutricional (Carpici & Celik, 2014; Mora, 2007). Sin embargo, el contenido de proteína y digestibilidad del forraje de la asociación depende del estado de desarrollo de las plantas del cereal, al momento de la cosecha.

Ambos aspectos técnicos, el rendimiento y calidad de la materia seca cosechada, son la base para decidir cuándo cosechar un cultivo forrajero (Espitia, Villaseñor, Tovar, & Limón, 2012; Jones, Olson-Rutz, & Dinkins, 2011; Ramírez-Ordóñez, Domínguez-Díaz, Salmerón-Zamora, Villalobos-Villalobos, & Ortega-Gutiérrez, 2013). Los resultados de esta decisión serán mejores si se considera la distribución de la materia seca en las distintas partes de las plantas (Tanaka & Yamaguchi, 2014) y la influencia del estado de desarrollo sobre la calidad del forraje (Espitia et al., 2012; GRDC, 2005).

El propósito de esta investigación fue evaluar el rendimiento y la calidad de la materia seca del cultivo cereal-ebo en relación con el estado de desarrollo de las

plantas del cereal asociado, con la finalidad de proponer el mejor momento para cosechar más forraje o materia seca de mayor valor nutricional.

En el Capítulo 2 del presente documento se presenta una revisión de literatura, donde se analiza el rendimiento y la calidad de los forrajes solos y asociados con ebo.

En el Capítulo 3 se presentan los resultados obtenidos para rendimiento de materia seca total, y por componente botánico, haciendo un análisis y comparación de los resultados con base en otras investigaciones y publicaciones realizadas.

En el Capítulo 4 se analizan los resultados obtenidos para proteína en tres fechas de corte; se observa y analiza el comportamiento del contenido de proteína cruda a través del tiempo y cómo afecta la cantidad de ebo en la mezcla este nutriente.

En el Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos para calidad de la materia seca, analizando el cambio de estos nutrientes a través del tiempo, y comparando los datos con base en otras investigaciones.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Características del ambiente donde se han sembrado los cereales solos o asociados con ebo

El ebo (*Vicia sativa* L.) originario del sur de Europa es una leguminosa forrajera tolerante al frío, capaz de crecer en la temporada de invierno, en tierras irrigadas (UC SAREP, 2006). También, se cultiva en tierras de temporal, en ambientes con temperatura media anual de 12.2 °C, precipitación anual entre 310 y 1,630 mm, en suelos bien drenados, moderadamente fértiles, y pH entre 6.0 y 7.0. Se ha sembrado en suelos arcillosos, con 327.5 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1150 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O disponible, con 2.57% de materia orgánica y pH 6.85 (Bakoğlu, Kökten, & KILIÇ, 2016). Crece muy bien en tierras de temporal y riego del Valle de México, Toluca, el Bajío y otras zonas templadas de México, solo o asociado con cereal de grano pequeño, como el triticale y la avena (Uribe & Rodríguez, 1995).

El triticale (*X Triticosecale Wittmack*) es un cereal de grano pequeño resultante de la cruce entre el trigo y el centeno. Crece en ambientes con bajas temperaturas, sequías, suelos ácidos o alcalinos. Tolera mejor el frío que la avena y la cebada y crece bien en la temporada de lluvias (Rodríguez & Moreno, 1994). Se ha sembrado, en áreas con precipitación media anual de 217.1 a 516 mm, temperatura media anual de 14.3 a 20.6 °C, a altitudes de 360 y 1,895 msnm, en suelos franco-arcilloso con pobre contenido materia orgánica, profundos y de poca pendiente, con un rango de pH de 5.5 a 7.5 (del Río et al., 2002; Zamora et al., 2002).

La avena (*Avena sativa*), como cultivo forrajero tiene amplia adaptación climática, se cultiva en zonas frías, templadas, áridas y semiáridas. Es un cultivo de invierno en zonas irrigadas de climas templados, o con humedad residual. Es menos resistente al frío que la cebada y el trigo. Se ha cultivado en ambientes con temperatura media anual de 13.7 °C, temperatura mínima de 6.2 °C y temperatura máxima de 20.8 °C, precipitaciones de 200 a 500 mm, o mayores a 770 mm. En condiciones de temporal a altitudes de 0 a 3000 msnm, en suelos

oscuros con alto contenido de materia orgánica y pH de 4.8 (Ramírez-Ordóñez et al., 2013; Sánchez, Gutiérrez, Serna, Gutiérrez, & Espinoza, 2014).

Ambos cereales de grano pequeño, triticale y la avena, se cultivan solos o asociados con ebo, en tierras de temporal, precipitaciones de 200 a 350 mm, temperatura media de 12.4 °C, suelos arcilloso-limoso y franco arenoso, pH de 7 a 7.71, con 20.4% carbonato de calcio, con 45.2 kg de fósforo disponible ha<sup>-1</sup>, 890 kg de potasio disponible ha<sup>-1</sup> y de 0.99 a 2.02% de materia orgánica (Ansar et al., 2013; Vasilakoglou, Dhima, Lithourgidis, & Eleftherohorinos, 2008; Yucel & Avci, 2009).

## **2.2. Rendimiento de materia seca de cereales asociados con ebo**

La cantidad de materia seca cosechada de cereales, en monocultivo o en asociación con ebo, depende del ambiente y las condiciones agronómicas en las que crecen los genotipos de cereales (Cuadro 1). El rendimiento de cereales asociados con ebo es superior al de cereales en monocultivo, además el forraje cosechado de las asociaciones contiene más proteína cruda y es más digestible (Carpici & Celik, 2014; Vasilakoglou et al., 2008; Zaragoza, Martínez-Hernández, & Villaseñor, 2015). El rendimiento de materia seca, de la asociación cereal-ebo, depende del estado de desarrollo de las plantas del cereal al momento de la cosecha. Se cosecha más materia seca cuando el estado de desarrollo de las plantas del cereal es de semilla madura que cuando es de embuche o botón (McDonald, Edwards, Greenhalgh, & Morgan, 2002). En estados de desarrollo de embuche se ha cosechado de 30 a 60% menos materia seca que en estado de desarrollo de grano masoso (Jackson & Willians, 2006). Otro factor que influye en el rendimiento es el genotipo del ebo, ya que pueden producir 1.84 a 6.86 t ha<sup>-1</sup> al año (Bakoğlu et al., 2016; Muhammad et al., 2013).

Para la asociación avena-ebo, se han reportado de 6.86 a 9.28 t ha<sup>-1</sup> de materia seca, 20% más de materia seca (MS) que con avena como monocultivo (Ansar et al., 2010; Ansar et al., 2013). Lauk (2009) reportó 3.95 t MS ha<sup>-1</sup> para la asociación avena-ebo, sin fertilización nitrogenada. Para la asociación triticale-



ebo se reportó 5.76 t MS ha<sup>-1</sup>, rendimiento similar al monocultivo de triticale 5.65 t ha<sup>-1</sup> y de ebo 5.73 t ha<sup>-1</sup> (Romero & Osorio, 2015), para el triticale variedad Siglo XXI se reportó 5.44 t MS ha<sup>-1</sup> como monocultivo, mayor al rendimiento de la variedad Bicentenario (Robles et al., 2018).

### **2.3. Calidad de la materia seca de la asociación cereal-ebo**

La calidad de la materia seca, de una planta forrajera, se califica con base al contenido de proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro y digestibilidad (Baron et al., 2000); los respectivos valores se asocian al estado de desarrollo de las plantas de los cereales (GRDC, 2005), para ser considerado como criterio para cosechar el cultivo de cereales. Conforme maduran las plantas forrajeras ocurren cambios en su aspecto físico y químico en su materia seca que disminuyen la digestibilidad y el contenido de proteína cruda; y aumentan el contenido de fibra. Así que la madurez de las plantas o el estado de desarrollo de las plantas del cereal son un buen indicador de la calidad nutricional del forraje al momento de ser cosechado (Espitia et al., 2012). El efecto del estado de desarrollo de las plantas de un cereal, sobre el contenido de proteína y digestibilidad del forraje cosechado, se mitiga al ser asociado con ebo, por su mayor contenido nutrimental (Caballero & Goicoechea, 1986; Zaragoza et al., 2015).

Cuadro 1. Rendimiento de materia seca en diferentes estados fisiológicos de Avena y Triticale como monocultivos y su asociación con ebo en diferentes proporciones y bajo diferentes condiciones ambientales.

	Embucho	Grano lechoso	Grano masoso	Grano maduro	Suelo	Precipitación (mm)	Temperatura (°c)	Fuente
<b>Ebo</b>	2.60	3.50	4.20	3.10				
<b>Avena</b>	6.70	11.30	17.20	10.10				
<b>Avena 65: Ebo 35</b>	6.70	11.70	19.90	9.30	Kastañozem	416	14.6	Najera et al., 2016
<b>Triticale</b>	6.30	9.40	9.10	9.00				
<b>Triticale 65: Ebo 35</b>	6.70	9.50	10.10	9.70				
<b>Triticale</b>	11.71	-	27.17	28.08	Franco arcilloso	-	-	Rojas et al., 2004
<b>Ebo</b>	-	-	7.17	-				
<b>Triticale</b>	-	-	10.76	-				
<b>Triticale 55: Ebo 45</b>	-	-	7.70	-	Franco arenoso	32.5-36	16.7-17.8	Lithourgidis et al., 2006
<b>Avena</b>	-	-	11.62	-				
<b>Avena 55: Ebo 45</b>	-	-	9.58	-				
<b>Ebo</b>	-	-	-	13.62				
<b>Triticale</b>	-	-	-	12.53				
<b>Triticale 75: Ebo 25</b>	-	-	-	14.48	Franco arcilloso	236.8 - 60.7	11.1 - 10.38	Carpici y Celik, 2014
<b>Triticale 50: Ebo 50</b>	-	-	-	15.21				
<b>Triticale 25: Ebo 75</b>	-	-	-	14.28				
<b>Avena</b>	4.71	16.75	19.45	-	-	-	-	Espitia et al., 2012
<b>Avena</b>	-	-	6.07	-				
<b>Avena 85: Ebo 15</b>	-	-	5.38	-				
<b>Avena 75: Ebo 25</b>	-	-	5.47	-				
<b>Avena 55: Ebo 45</b>	-	-	5.74	-				
<b>Avena 45: Ebo 55</b>	-	-	6.32	-	Francos	-	-	Erol et al., 2009
<b>Avena 25: Ebo 75</b>	-	-	4.54	-				
<b>Avena 15: Ebo 85</b>	-	-	4.53	-				
<b>Ebo</b>	-	-	4.14	-				
<b>Avena</b>	1.25	-	3.12	4.48	Francos	438.8	13.7	Ramirez-Ordoñez et al., 2013

<b>Ebo</b>	5.2	-	-	-				
<b>Avena 75: Ebo 25</b>	6.5	-	-	-				
<b>Avena 50: Ebo 50</b>	6.1	-	-	-	Arcilloso	-	-	Tuna y Orak, 2007
<b>Avena</b>	5.5	-	-	-				
<b>Ebo</b>	-	-	-	5.58				
<b>Triticale 20: Ebo 80</b>	-	-	-	10.87				
<b>Triticale 30: Ebo 70</b>	-	-	-	10.95				
<b>Triticale50: Ebo 50</b>	-	-	-	10.17	Arcilloso	490.9	11.3	Yucel y Avci, 2009
<b>Triticale 70: Ebo 30</b>	-	-	-	11.11				
<b>Triticale 80: Ebo 20</b>	-	-	-	12.09				
<b>Triticale</b>	-	-	-	11.98				
<b>avena</b>	-	-	-	9.28				
<b>avena-ebo</b>	-	-	-	17.42	-	-	-	Ansar et al., 2010
<b>ebo</b>	-	-	-	7.71				
<b>ebo</b>	-	-	-	3.48				
<b>50avena- 50ebo</b>	-	-	-	5.8				
<b>75 avena- 25ebo</b>	-	-	-	7.25	franco arenoso	2 - 90	7 -24	Ansar et al., 2013
<b>avena</b>	-	-	-	7.14				
<b>Triticale</b>	-	-	-	5.2	Fluvial y eolico	900-1200	7-27	Bianchi et al., 2013
<b>Triticale</b>	-	-	-	5.44	vertisol origen volcánico	1000	14	Robles et al., 2018
<b>ebo</b>	-	-	-	1.8 - 3	franco arcilloso	923-1212	12.2	Bakoğlu et al., 2016

### 2.3.1. Contenido de proteína cruda

El contenido de proteína cruda en la materia seca de los forrajes depende de la especie, del estado de desarrollo de las plantas y de la cantidad de hojas o tallos al ser cosechadas. Las leguminosas tienen más proteína que las gramíneas (Mowat, Fulkerson, Tossell, & Winch, 1965; Zaragoza et al., 2015). El contenido de proteína de plantas completas, de las hojas y de los tallos disminuye con el avance de la madurez. Las hojas de los zacates ovillo (*Dactylis glomerata* L.), bromo (*Bromus inermis* Leyss.), y Timothy (*Phleum pratense* L.) tuvieron el doble del contenido de proteína cruda que sus tallos, y las hojas de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) presentaron de 2.5 a 3.0 veces más proteína que los tallos (Mowat et al., 1965).

La materia seca de las leguminosas, como el ebo, contiene más proteína cruda que la materia seca de los cereales, por lo que al aumentar la cantidad de ebo en la asociación cereal-ebo, aumenta el contenido de proteína cruda del forraje cosechado (Nykänen, Jauhiainen, & Rinne, 2009; Yucel & Avci, 2009; Zaragoza et al., 2015). Lithourgidis et al. (2006) evaluaron ebo, triticale y avena como monocultivos, y como asociaciones; encontrando que el contenido de proteína cruda en la materia seca de las asociaciones ebo-cereal aumentó conforme se incrementó la proporción de ebo en la asociación. Yucel y Avci (2009) cosecharon 1,055 kg de proteína cruda ha<sup>-1</sup> con ebo como monocultivo y 1,281.8 kg de proteína cruda ha<sup>-1</sup>, es decir 17.7% más proteína cruda con la asociación 80% de triticale y 20% de ebo. Observaron que al disminuir el porcentaje de ebo y aumentar el porcentaje de triticale en la asociación, la cantidad de proteína cruda cosechada disminuyó (en 998 kg ha<sup>-1</sup>). Se cosechó más proteína cruda cuando el cultivo de ebo fue cortado en floración (18.5%) o de grano lechoso-masoso (17.8%), cuando el triticale fue cortado en floración (17.4%) o grano lechoso-masoso (15%) y cuando la avena variedad turquesa se cosechó en floración (15.8%) o grano lechoso-masoso (13%) asociada con ebo. El forraje de la avena asociada con ebo tuvo mayor contenido de proteína cruda al ser cosechada en

floración (14%) o en grano lechoso-masoso (10.7%), más proteína que con el monocultivo (Aguilar et al., 2014).

### **2.3.2. Contenido de fibra**

La fibra de los forrajes es fuente de energía para los rumiantes. La fibra es el componente dominante en la materia seca de los forrajes por ser el mayor componente de la pared de las células; los principales componentes de la fibra son la celulosa, hemicelulosa y lignina (Hindrichsen et al., 2006; Limin 2014). La materia seca del forraje tiene dos fracciones: la fracción insoluble (Fibra detergente ácida, FDA) y la fracción altamente soluble (Fibra detergente neutro, FDN), en el líquido del rumen. La primera fracción corresponde a la pared celular de la planta, cuya digestión depende de la naturaleza química de las constituyentes que se unen con la celulosa y hemicelulosa y la segunda fracción es el contenido celular constituida por lípidos, carbohidratos solubles, proteínas y otros compuestos solubles en agua (Mirzaei-Aghsaghali & Maheri-Sis, 2011; Van Soest, 1967). Determinar el contenido de FDA en la materia seca de los forrajes es importante por estar asociada a la digestibilidad del forraje cosechado (McDonald et al., 2002).

Un aspecto importante de la asociación de gramíneas y leguminosas es que se mejora el contenido nutrimental de la dieta de los rumiantes. Budakli y Melis (2012) evaluaron porcentajes de ebo y cereales, encontrando que con 75% de ebo y 25% de avena en la asociación disminuyó el contenido de FDA y aumento el contenido de FDN en el forraje, con respecto al monocultivo de avena. Yucel y Avci, (2009) reportaron un alto contenido de FDA (48.28%) para 20% de ebo y 80% de triticales que para el monocultivo de triticales 46.28%. Para el monocultivo de ebo reportaron menos FDN (34.68%) que con las asociaciones. De acuerdo con Castro, Sau y Pineiro (2000), al aumentar el porcentaje de ebo en la asociación disminuyó la FDA, FDN y el contenido de materia orgánica. Sürmen, Yavuz y Çankaya (2011) reportaron que el contenido de FDN se incrementó cuanto mayor fue el nivel de fertilización fosforada.

### **2.3.3. Digestibilidad de la materia seca**

La digestibilidad de la materia seca se ha relacionado con el consumo voluntario, a mayor digestibilidad mayor consumo voluntario en rumiantes (Smit, Tamminga, & Elgersma, 2006). Independientemente de la especie, híbrido o variedad forrajera las hojas son más digestibles que el tallo (Loucka et al., 2018; Mowat et al., 1965; Souza et al., 2011). Con la madurez de las plantas, la materia seca de los tallos es más abundante que la materia seca de las hojas, consecuentemente los constituyentes de la pared celular son más abundantes en la materia seca cosechada, debido a que los tallos tienen abundantes células altamente lignificadas (xilema y floema), mayor concentración de células del haz de la vaina y otras células del esclerénquima (Azcón-Bieto & Telón, 2013; Salisbury & Ross, 1992). El aumento de la pared celular causa efecto de dilución del contenido celular y de proteína cruda, reduce la digestibilidad de la materia seca y consecuentemente el consumo voluntario (Adesogan, Sollenberger, & Newman, 2002; Karn, Berdahl, & Frank, 2006; Souza et al., 2011).

La materia seca del ebo es más digestible que la materia seca del triticale. Al asociar ambas especies la combinación de ambas materias secas es más digestible que la del cereal, pero menos digestible que la materia seca del ebo. Por lo tanto, un beneficio de la asociación triticale-ebo o avena-ebo es producir forraje más digestible que un cereal solo (Yucel & Avci, 2009; Zaragoza et al., 2015). Con la asociación avena (50%)-ebo (50%), se cosechó materia seca más digestible, en aproximadamente diez unidades porcentuales, que la materia seca de la avena como monocultivo (Zaragoza et al., 2015).

La digestibilidad de la materia orgánica es la más influyente sobre el consumo voluntario de un forraje. El índice de digestibilidad varía el estado de desarrollo de las gramíneas forrajeras, las gramíneas jóvenes tienen un coeficiente de digestibilidad  $\geq 0.85$  y las gramíneas maduras  $\leq 0.45$ . La disminución en el índice de digestibilidad se asocia al aumento en el contenido de lignina, en la pared celular de las plantas forrajeras, conforme avanza la madurez fisiológica de los forrajes (Jung & Vogel, 1986; McDonald et al., 2002), particularmente la

abundancia de tallos con respecto a hojas, ya que el índice de digestibilidad de los tallos disminuye a una mayor tasa que el índice de las hojas (Mowat et al., 1965). Al parecer es más determinante la composición química de la lignina, que la cantidad de lignina en la materia seca, tema que aún se está dilucidando debido a que no se ha establecido una relación clara entre ambos aspectos con la digestibilidad de la materia seca (Jung & Casler, 2006; Moore & Jung, 2001).

En las especies forrajeras ocurren cambios en el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina en la pared celular, con el avance de la madurez fisiológica. Con la madurez, el contenido de lignina en la pared celular aumenta de manera exponencial y la digestibilidad del forraje disminuye, debido a que el tallo es el componente principal, y a que las células contienen más pared celular y lignina que las hojas. Las especies forrajeras C<sub>4</sub> contienen mayor concentración de pared celular que al parecer es menos digestible en todos los estados de madurez (Jung & Vogel, 1986).

#### **2.3.4. Contenido de energía metabolizable**

La energía metabolizable es la energía de un forraje disponible para los rumiantes para procesos anabólicos y catabólicos propios del crecimiento, mantenimiento del metabolismo, movimiento y respiración, termorregulación, producción de leche y reproducción. Los cultivos forrajeros interceptan y transforman la radiación solar, vía fotosíntesis, en energía química que almacenan en el tejido celular de las plantas. Los forrajes son consumidos por los animales y los nutrientes se descomponen liberando energía, la cual es aprovechada por los animales (para trabajos mecánicos, para el transporte, para mantener la integridad de las membranas celulares, para la síntesis de los componentes del cuerpo y para proporcionar calor en condiciones frías). El bajo valor energético neto del forraje maduro no solo se debe a una baja digestibilidad de la materia orgánica, sino también a una alta concentración de celulosa (McDonald et al., 2002). El aumento del valor de la energía se relaciona negativamente con el contenido de fibra, por el efecto de dilución (Ramírez-Ordóñez et al., 2013).

#### **2.4. Madurez de las plantas, contenido de proteína cruda y digestibilidad**

La madurez de una planta forrajera es consecuencia del avance en el estado de desarrollo debido a la suma de dos procesos, crecimiento y diferenciación celular. El crecimiento es el aumento irreversible de la altura, área foliar o del peso seco de la planta. La diferenciación celular es la especialización de las células que conduce a cambios en la morfología de las plantas y en la composición química de las diferentes células vegetales. Ambos procesos, ocurren desde la germinación hasta la senescencia de las plantas. Con el avance de la madurez las plantas envejecen, y acumulan pared celular en las células de sus diferentes órganos. Conforme las plantas forrajeras maduran, la pared celular se forma como una serie de capas. La primera capa, llamada lámina media, se forma durante la división celular por acumulación de polisacáridos pécticos o sustancias pécticas, su función es mantener unidas las células adyacentes. La segunda capa, denominada pared celular primaria, se forma al finalizar la división celular y mientras las células están creciendo, se deposita entre la lámina media y la membrana plasmática. Es delgada y está formada por microfibrillas de celulosa (9 a 25%), redes de hemicelulosa (25 a 50%), sustancias pécticas (10 a 35%) altamente hidratadas, y proteínas (1 a 8%) denominadas extensinas y lectinas. La tercera capa, la conocida como pared celular secundaria, se forma al finalizar el crecimiento de las células, es decir cuando las células vegetales dejan de alargarse. Está constituida por microfibrillas de celulosa (41 a 45%), redes de hemicelulosa (30%) y de lignina (22 a 28%). La lignina es el constituyente químico de mayor rigidez que se agrega al finalizar la elongación celular depositándose en la lámina media y en la pared celular primaria y por último en la pared celular secundaria. Las hojas y tallos juveniles están formados por células que tienen principalmente paredes primarias. Conforme las plantas juveniles maduran la pared celular secundaria y la lignina son los constituyentes más abundantes en la pared celular vegetal (Azcón-Bieto & Telón, 2013; Caffall & Mohnen, 2009; Salisbury & Ross, 1992).

El contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, y la digestibilidad de la materia seca de los forrajes, se han relacionado con la



madurez de las plantas forrajeras mediante modelos de regresión lineal simple, lineal o curvilíneo, considerando como variable dependiente los constituyentes químicos y como variable independiente el estado de madurez de las plantas (Chaves, Waghorn, & Tavendale, 2002; Elizalde, Merchen, & Faulkner, 1999; Fick & Mueller, 1989; George & Bell, 2001; Jung & Casler, 2006; Jung & Vogel, 1986; Putnam & Orloff, 2016; Zaragoza, 1987;). En estos modelos se emplea como sinónimo de madurez, la fecha de colecta o de corte o la edad de la planta en días, contenido de pared celular, contenido de fibra detergente ácido, o contenido de lignina. Usando modelos de regresión Chaves et al. (2002) y Jung y Vogel (1986) observaron, que la digestibilidad de la materia seca se relacionó linealmente con el contenido de lignina. Dicha relación se puede interpretar como: a mayor contenido de lignina, menor digestibilidad de la materia seca de un forraje. Similar patrón se ha descrito para la digestibilidad in vitro de la materia seca y contenido de proteína cruda con la edad de las plantas, en días (Zaragoza, 1987).

La relación entre dos variables, como el contenido de proteína cruda de la materia seca del forraje cereal-ebo y el porcentaje de ebo en la asociación cereal-ebo, se puede explicar o describir mediante una relación estadística para un conjunto de parejas ordenadas de valores (Y,X) de ambas variables (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2005; Myers, 1990; Rawling, Pantula, & Dickey, 1998); donde a cada porcentaje de ebo en la asociación cereal-ebo (X) le corresponde un único valor para contenido de proteína cruda de la materia seca (Y) del forraje cosechado, por ejemplo X= 50% de ebo en el forraje cereal-ebo, Y = 20.08% de proteína cruda en la materia seca del forraje cosechado (Figura 1).

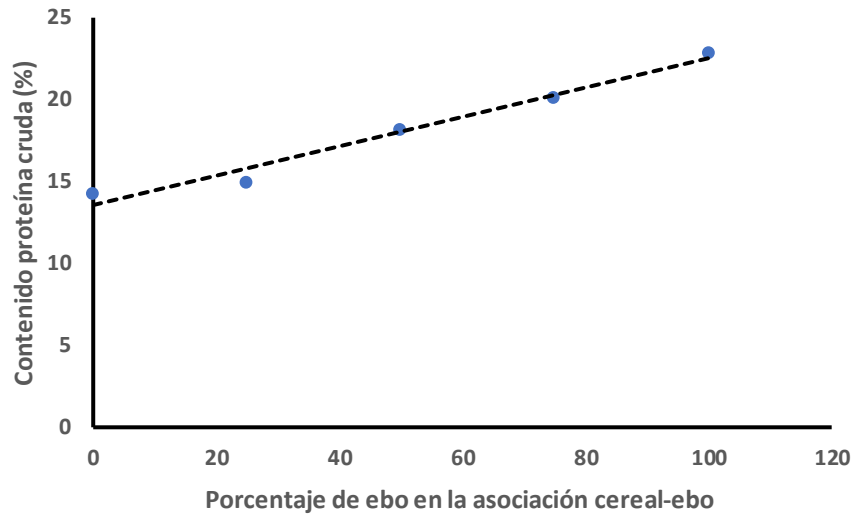


Figura 1. Esquematación de la relación estadística entre contenido de proteína cruda en la materia seca (Y) y porcentaje de ebo en el forraje cosechado de la asociación cereal-ebo.

Claramente la relación entre ambas variables es lineal y explica que a mayor contenido de ebo en la asociación cereal-ebo, mayor será el contenido de proteína cruda en el forraje cosechado (Figura 1). Independientemente de la especie de forraje, planta C<sub>3</sub> o planta C<sub>4</sub>, se ha obtenido una relación lineal con los constituyentes químicos y la digestibilidad de la materia seca con el contenido de lignina (Jung & Vogel, 1986).

En una relación estadística la distribución de puntos alrededor de la línea son variaciones no asociadas al contenido de proteína cruda, y se consideran de naturaleza aleatoria ( $\varepsilon_{ij}$ ). El modelo que describe la relación lineal mencionada es  $Y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}X + \varepsilon_{ij}$ , cuyas cualidades son, hay una función de probabilidad para el contenido de proteína cruda (Y) para cada porcentaje de ebo en el forraje cosechado, la media de esta distribución de probabilidad varía sistemáticamente con el porcentaje de ebo en el forraje cosechado debido a que la relación entre ambas variables es de naturaleza sistemática. Esta relación sistemática es llamada función de regresión del contenido de proteína cruda en porcentaje de ebo en el forraje cosechado. El modelo de esta relación estadística para predecir el contenido de proteína cruda es  $\hat{Y}_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}X_j + \varepsilon_{ij}$ , sus componentes son una variable independiente ( $\hat{Y}_i$ ), dos coeficientes de regresión ( $\beta_{0i}$  y  $\beta_{1i}$ ), una

variable dependiente ( $X$ ) y un término de error aleatorio ( $\varepsilon_{ij}$ ) con media  $E = \{\varepsilon_j\} = 0$  y varianza común para todos los valores del contenido de proteína cruda,  $\sigma^2 = \{\varepsilon_i\} = \sigma^2$ ,  $\varepsilon_i$  y  $\varepsilon_j$  no están correlacionados; así que su covarianza es igual cero ( $\sigma = \{\varepsilon_j, \varepsilon_i\} = 0$ ). El valor promedio estimado para el contenido de proteína ( $\hat{Y}_i$ ) es la suma de los dos términos constantes ( $\beta_{0i} + \beta_{1i}X$ ) ya que la esperanza del término aleatorio es igual a cero ( $E = \{\varepsilon_j\} = 0$ ). Los parámetros  $\beta_0$  y  $\beta_1$  son llamados coeficientes de regresión. La  $\beta_1$  es la pendiente de la línea cuyo valor indica la tasa de cambio constante en la media de la distribución probabilística, contenido de proteína cruda, por cada unidad porcentual que aumenta el porcentaje de ebo en el forraje cosechado. La  $\beta_0$  es el intercepto de la línea de regresión en el eje para contenido de proteína cruda ( $Y$ ) cuando el porcentaje de ebo en el forraje cosechado es cero ( $X=0$ ) y en este caso corresponde al contenido promedio de proteína cruda, de la materia seca del cereal. Ambos parámetros deben ser calculados con el conjunto de valores apareados ( $Y_i, X_j$ ). Con el procedimiento para estimar mínimos cuadrados, empleado en el procedimiento de regresión lineal simple de SAS 9.4, se estima los valores de  $\beta_0$  y  $\beta_1$  que minimicen la suma de cuadrados de los residuales o componente aleatorio,  $SCR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum e_i^2$  (Kutner et al., 2005; Myers, 1990; Rawling, Pantula, & Dickey, 1998).

Con base en los anteriores autores el valor del coeficiente de determinación,  $R^2 = SCR / \sum Y_i^2$  para el modelo de regresión de asociación cereal-ebo, se interpreta como la contribución del porcentaje de ebo al contenido de proteína cruda en el forraje cosechado. Desde el punto de vista estadístico es la proporción de la suma de cuadrados del contenido de proteína cruda en la materia seca, atribuible al porcentaje de ebo en el forraje cosechado del cultivo cereal-ebo. Desde el punto de vista práctico, al multiplicar el valor de este coeficiente ( $R^2$ , valor entre 0 y 1) por 100, obtiene el porcentaje de la variación en el contenido de proteína cruda, que puede ser explicada con el modelo estadístico para la relación lineal, contenido de proteína cruda con porcentaje de ebo en el forraje cosechado.

A un modelo de regresión lineal simple,  $Y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}X + \varepsilon_{ij}$ , con una sola variable continua ( $X_i$ ), se le puede agregar una variable cualitativa o categórica ( $D$ ) con dos o más niveles, esta variable categórica toma valores de 0 o 1 (Kutner et al., 2005; Rawling et al., 1998; Myers, 1990). El modelo de regresión que resulta incluye una variable continua y una variable categórica con tres niveles,  $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1X_i + \beta_2D_1 + \beta_3D_2 + \varepsilon_{ij}$ . Si los valores para la variable categórica son  $D_1 = 1$  y  $D_2 = 0$  para el nivel uno,  $D_1 = 0$  y  $D_2 = 1$  para el nivel dos y  $D_1 = 0$  y  $D_2 = 0$  para el nivel tres, resultarán tres modelos de regresión con la misma pendiente y variable continua:  $Y_i = (b_0 + b_2) + b_2X_i + \varepsilon_i$  para el nivel uno,  $Y_i = (b_0 + b_3) + b_2X_i + \varepsilon_i$  para el nivel dos, y  $Y_i = b_0 + b_2X_i + \varepsilon_i$  para el nivel tres.

Este procedimiento estadístico, para regresión lineal simple o múltiple, es equivalente a un análisis de varianza convencional para probar el efecto simple de un factor o variable independiente. En este caso, si el nivel de significancia de los coeficientes de regresión para  $D_1$  y  $D_2$  es menor a 0.05, se acepta la hipótesis estadística nula que “las líneas para los tres modelos de regresión son paralelas y por lo tanto tienen la misma pendiente”; por el contrario, si el nivel de significancia de uno o de los dos coeficiente de regresión de la variable categórica es mayor a 0.05, una de las líneas no es paralela a las otras o ninguna línea es paralela y se rechaza la hipótesis nula. La conclusión al respecto es que las líneas al menos una línea tienen una pendiente diferente o que la pendiente de las tres líneas es diferente.

Al incluir en el modelo de regresión el término  $\beta_4(D_1 * D_2)$  resultará el siguiente modelo  $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1X_i + \beta_2D_1 + \beta_3D_2 + \beta_4(D_1 * D_2) + \varepsilon_{ij}$ , con el cual se puede confirmar una posible interacción debido al rechazo de la hipótesis nula de líneas paralelas, La existencia de una interacción se declarará si el nivel de significancia para el coeficiente de regresión del  $\beta_4(D_1 * D_2)$ , es menor a 0.05. La solución de este modelo de regresión equivale a un análisis de varianza convencional para probar efectos simples y su interacción. Este procedimiento se emplea cuando se planifica un experimento cuya respuesta es lineal o curvilíneas y no es posible tener repeticiones en campo o laboratorio.

## 2.5. Literatura Citada

- Adesogan, A. T., Sollenberger, L. E., Newman, Y. C., & Vendramini, J. M. (2002). Factors affecting forage quality. Florida Forage Handbook, *Department of Agronomy, University of Florida, Gainesville, FL, 32611*.
- Aguilar, L. E. Y., Borquez, J. L., Domínguez-Vara, I. A., Morales, A. O., Gutiérrez, M. D. G., Castelan-Ortega, O., & Gonzalez, R. M. (2014). Evaluación del rendimiento, composición química y producción de gas In Vitro de gramíneas de grano pequeño (X triticosecale Wittmack y *Hordeum vulgare*) asociadas con ebo (*Vicia sativa*) y conservadas como ensilaje o henificado. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México).
- Ansar, M., Ahmed, Z. I., Malik, M. A., Nadeem, M., Majeed, A., & Rischkowsky, B. A. (2010). Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(1), 25-36.
- Ansar, M., Mukhtar, M. A., Sattar, R. S., Malik, M. A., Shabbir, G., Sher, A., & Irfan, M. (2013). Forage yield as affected by common vetch in different seeding ratios with winter cereals in Pothohar region of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 45, 401-408.
- Azcón-Bieto, J., & Telón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*, (2a ed.). McGraw-Hill. Interamericana. Madrid, España.
- Bakoğlu, A., Kökten, K., & Kilic, Ö. (2016). Yield and nutritive value of common vetch (*Vicia sativa* L.) lines and varieties. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Science*, 3(1), 33-37.
- Baron, S. V., Okine, E., & Dick, A. C. (2000). Optimizing yield and quality of cereal silage. *Advances in Dairy Technology*, 12, 351-367.
- Bianchi, D., Felgueras, S., Pantuso, F., & Boyadjian, A. (2013). Evaluación de cultivares de triticale (x Triticosecale wittmack) forrajeros. *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias*, 4 (7), 27-38.
- Budakli, C. E., & Melis, M. T. (2012). Effects of mixture rates on forage yield and quality of mixtures of common vetch combined with oat, barley and wheat under a winter intercropping system of southern Marmara Region. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 10 (2), 649-652.
- Caballero, R., & Goicoechea, E. L. (1986). Utilization of winter cereals as companion crops for common vetch and hairy vetch. In Proceedings of the 11th General Meeting of the European Grass. Fed, 379-38
- Caffall, K. H., & Mohnen, D. (2009). The structure, function, and biosynthesis of plant cell wall pectic polysaccharides. *Carbohydrate research*, 344(14), 1879-1900.

- Carpici, E. B., & Celik, N. (2014). Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(1), 66-69.
- Chaves, A., Waghorn, G. C., & Tavendale, M. H. (2002). A simplified method for lignin measurement in a range of forage species. *In proceedings of the conference-New Zealand Grassland Association*, 129-133.
- del Río, A. J. L., Rodríguez, S. A. H., Díaz, H. S., Fuentes, J. M. R., Fernández, J. M. B., Narváez, J. M. F. M., & Zamora, V. M. V. (2002). Producción de forraje y calidad nutritiva en mezclas de triticale (X Triticosecale Wittmack) y ballico anual (*Lolium multiflorum* L.) en Navidad, NL. *Técnica Pecuaria en México*, 40(1).
- Elizalde, J. C., Merchen, N. R., & Faulkner, D. B. (1999). In situ dry matter and crude protein degradation of fresh forages during the spring growth. *Journal of Dairy Science*, 82(9), 1978-1990, doi:10.3168/jds.S0022-0302(99)75434-2
- Erol, A., Kaplan, M., & Kizilsimsek, M. (2009). Oats (*Avena sativa*)-Common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *TG: Tropical Grasslands*, 43(3), 191.
- Espitia, R. E., Villaseñor, M. H. E., Tovar, G. R., de la O, O. M., & Limón, O. A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 771-783.
- Fick, G. W., & Mueller, S. C. (1989). Alfalfa: Quality, maturity, and mean stage of development. Disponible en <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/38142>. Consultado el 20 de noviembre de 2018.
- Grains Research and Development Corporation (GRDC), (2005). Cereals growth stages: The link to crop management. ISBN1-875477-40-3. 40
- George, M. R., & Bell, M. E. (2001). Using stage of maturity to predict the quality of annual range forage. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources.
- Hancock, D. W. (2009). What is the nutritional value of corn fodder/stover? What is it worth?. *Collage of Agricultural and Environmental Science and Family and Consumer Science*, 2.
- Jackson, L. & Williams, J. (2006). Pt.2 Growth and development of small grains. Small Grain Production. University of California: UCANR Publications.
- Jung, H. G., & Vogel, K. P. (1986). Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *Journal of Animal Science*, 62(6), 1703-1712.
- Jung, H. G., & Casler, M. D. (2009). Maize stem tissues: cell wall concentration and composition during development. *Crop Science*, 49(6), 2412-2412.

- Karn, J. F., Berdahl, J. D. & Frank, A. B. (2006). Nutritive quality of four perennial grasses as affected by species, cultivar, maturity and plant tissue. *Agronomy Journal*. 98 (6), 1400 -1409.
- Kutner H. M., Nachsheim, Neter J., & LI W. (2005). Applied linear statistical models. (4a ed.). McGraw-Hill Irwin. New York. 1415 pp.
- Lauk, R. & Lauk, E. (2009). Dual intercropping of common vetch and wheat or oats, effects on yields and interspecific competition. *Agronomy Research*, 7(1), 21-32.
- Limin, K. J. (2014). The Role of Fiber in Ruminant Ration Formulation. Consultado en: <https://cdn.canr.udel.edu/wp-content/uploads/2014/02/The-Role-of-Fiber-in-Ruminant-Ration-Formulation.pdf>
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2), 106-113.
- Loučka, R., Tyrolová, Y., Jančík, F., Kubelková, P., Homolka, P., & Jambor, V. (2017). Variation for in vivo digestibility in two maize hybrid silages. *Czech Journal of Animal Science*, 63(1), 17-23.
- McDonald, P. R. S., Edwards, J. F. D., Greenhalgh, & Morgan, C. A. (2002). Animal Nutrition. (5 th edition). New York: Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons. Inc.
- Mirzaei-Aghsaghali, A., & Maheri-Sis, N. (2011). Importance of “physically effective fibre” in ruminant nutrition: A review. *Annals of Biological Research*, 2 (3), 262-270.
- Moore, K. J., & Jung, H. J. G. (2001). Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Management*, 420-430.
- Mowat, D. N., Fulkerson, R. S., Tossell, W. E., & Winch, J. E. (1965). The in vitro digestibility and protein content of leaf and stem portions of forages. *Canadian Journal of Plant Science*, 45(4), 321-331.
- Myers H. R. (1990). Classical and modern regression with applications. (2<sup>nd</sup> ed.). Duxbury Press. 488 pp.
- Najera, M. J. F., Ricardo, A. S. G., Francisco, G. E. C., Ramon, G. L., Cesar, A. R. N., & Homero, S. G. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(3), 275-291.
- Nykänen, A., Jauhiainen, L., & Rinne, M. (2009). Biomass production and feeding value of whole-crop cereal-legume silages. *Agronomy Research*, 7(Special issue II), 684-690.
- Putnam, H. D., & Orloff, S. (2016). Agronomic factors affecting forage quality in alfalfa. In proceeding, 2016, California alfalfa and forage symposium. Reno

Nevada. November 29 to december 1, 2016. UC Cooperative Extension, Plant Science Department, University of California, Davis. CA. Consultado en:

<https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2016/PDFfiles/12%20Putnam%20Forage%20Quality.pdf>

- Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 395-403.
- Rawling, O. J., Pantula, S. G., & Dickey. (1998). Applied regression analysis: A research tool. (2nd ed.). Springer New York.
- Robles, L. E. J., Morales-Osorio, A., Gutiérrez, M. D. G. M., Osorio, J. A., Castelan, O. A. O., & González-Ronquillo, M. (2018). Forage yield, chemical composition and in vitro gas production of triticale varieties (x Triticosecale Wittmack) preserved by silage or hay. *Acta Agronómica*, 67(3), 431-437.
- Rodríguez, P. I. F. & Moreno, G. R. (1994). Secano, variedad de triticale para áreas de temporal. XV Congreso de Fitogenética: Sociedad Mexicana de Fitogenética A. C.
- Rojas, C. G., Catrileo, A. S., Manríquez, M. B., & Calabí, F. F. (2004). Una evaluación de la etapa de corte en triticale (X Triticosecale Wittmack) para ensilaje. *Agricultura Técnica*, 64 (1), 34-40.
- Salisbury, B. F., & Ross, C. W. (1992). Fisiología vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana, S. A. de C. V. 759 pp.
- Smit, H. J., Tamminga, S., & Elgersma, A. (2006). Dairy cattle grazing preference among six cultivars of perennial ryegrass. *Agronomy Journal*. 98, 1213 - 1220.
- Souza, A. X. F., Garcia, R. V. P., Resende, J. L. P., Costa, M., Vilela, A., & Castro, D. M. (2011). Influence of stage of maturity on bromatological quality of corn forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(9), 1894-1901.
- Sürmen, M., Yavuz, T., & Çankaya, N. (2011). Effects of phosphorus fertilization and harvesting stage on forage yield and quality of common vetch. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 9 (1), 353-355.
- Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.) oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2, 14-19.
- UC SAREP, (2006). Cover crop database. University of California, Sustainable Agriculture Research & Education Program, Davis.
- Uribe, M. B., & Rodríguez, R. G. (1995). Evaluación de la asociación del maíz (*Zea mays* L.) con veza común (*Vicia sativa* L.) y veza de invierno (*Vicia*



- villosa L.) para producir grano y forraje. (Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México).
- Van Soest. (1967). Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science*, 26(1), 119-128.
- Vasilakoglou, I., Dhima, K., Lithourgidis, A., & Eleftherohorinos, I. (2008). Competitive ability of winter cereal–common vetch intercrops against sterile oat. *Experimental Agriculture*, 44(4), 509-520.
- Yucel, C., & Avci, M. (2009). Effect of different ratios of common vetch (*Vicia sativa* L.)-triticale (*Triticosecale* Whatt) mixtures on forage yields and quality in Cukurova plain in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4), 323-332.
- Zamora, V. M. V., Lozano, A. J. R., López, A. B., Reyes, M. H. V., Díaz, H. S., Martínez, J. M. R., & Fuentes, J. M. R. (2002). Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 40(3).
- Zaragoza, R. J. L. (1987). Producción y calidad de dos pastos nativos de bosque de *Pinus hartwegii* Lind. en Zoquiapan, Edo. de México. (Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México).
- Zaragoza, J. L. R., Martínez-Hernández, P. A., Villaseñor, E. M. (2015). Forage quantity and quality of oats -common vetch mixture at different seeding proportions. New Delhi, India: XXIII International Grassland Congress.

### 3. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO<sup>1</sup>

#### 3.1. Resumen

El experimento consistió en estudiar el rendimiento de la materia seca (MS) de avena variedad Chihuahua y dos variedades de triticale (Bicentenario y Siglo XXI) asociados con ebo y seis cortes basados en la madurez fisiológica de las plantas de avena. El estudio se llevó a cabo en condiciones del temporal verano-otoño 2017. Se evaluaron cuatro asociaciones cereal-ebo (0-100, 75-25, 50-50 y 25-75%) y monocultivos de avena variedad Chihuahua, triticale variedad Bicentenario y variedad siglo XXI y ebo común, a una densidad de siembra de 100 kg de semilla ha<sup>-1</sup>, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones. Se tomaron muestras de cada asociación cereal-ebo y monocultivos en sept 03, sept 10, sept 15, sept 25, oct 07 y oct 21 de 2017. Se midió rendimiento total de materia seca (RTMS, cereal + ebo + maleza), del cultivo (RC, cereal + ebo) y de cada componente botánico (cereal, ebo y maleza). El RTMS y el RC aumentaron conforme las plantas del cereal maduraron ( $p < 0.05$ ). El cultivo avena-ebo produjo 1.9 t de materia seca (MS) ha<sup>-1</sup> más que con triticale-ebo ( $p < 0.05$ ). En la mayoría de las fechas de cosecha, el cereal fue el componente botánico más abundante ( $p < 0.05$ ), especialmente en la asociación avena-ebo (53.1 a 63.25%) que con las asociaciones triticale Bicentenario (18.52 a 35.96%) y Siglo XXI (18.03 a 38.54%). La maleza fue el segundo componente botánico en las asociaciones, particularmente en las triticale-ebo, Bicentenario (43 a 63%) y Siglo XXI (30 a 43.5%).

**Palabras clave:** *Avena sativa* L., *X triticosecale wittmack*, *Vicia sativa* L., rendimiento de materia seca, componente botánico, maleza.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: María de Lourdes Reyes Medel  
Director de Tesis: José Luis Zaragoza Ramírez

### 3.2. Abstract

#### Dry matter yield of cereal-vetch mixtures<sup>1</sup>

A field experiment to study dry matter yield of oats cultivar Chihuahua and two triticale cultivars (Bicentenario and Siglo XXI) mixtures with vetch and cut based on physiological maturity of the oats plants was conducted under rainfall conditions of summer-autumn 2007. Four oats and triticale mixtures (100-0, 75-25, 50-50 and 75-25%) and monocultures of oats cultivar Chihuahua, triticale cultivar Bicentenario, triticale cultivar Siglo XXI and common vetch were evaluated at seeding rate of 100 kg ha<sup>-1</sup> under completely randomized design with factorial arrangement and three replicates. Samples of each cereal-vetch mixture and monoculture at Sept 03, sept 10, Sept 15, Sept 25, Oct 07 and Oct 21 were taken. Total dry matter yield (TDMY, cereal + vetch + forbs), crop dry matter yield (CDMY, cereal + vetch), and dry matter yield of each botanical component (cereal, vetch and forbs) were measured. The TDMY and the CDMY increased as oats plant matured ( $p < 0.05$ ). On average, Oats-vetch mixtures as crop yielded 1.9 t dry matter (DM) ha<sup>-1</sup> than triticale-vetch mixtures ( $p < 0.05$ ). The cereal was the primary botanical component (53.1 to 63.25%) in all oats-vetch mixture most of the sampling dates ( $p < 0.05$ ) than triticale-vetch mixtures, Bicentenario (18.52 to 35.96%) and Siglo XXI (18.03 to 38.54%). Forbs were second botanical component in all cereal-vetch mixtures specially in the triticale mixtures, Bicentenario (43.3 to 62.7%) and Siglo XXI (30.5 to 43.3%).

**Key words:** *Avena sativa* L., *X triticosecale wittmack*, *Vicia sativa* L., dry matter yield, botanical component, forbs.

---

<sup>1</sup> Thesis, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: María de Lourdes Reyes Medel  
Advisor: José Luis Zaragoza Ramírez

### **3.3. Introducción**

Los cereales de grano pequeño tienen potencial para producir forraje (Carpici & Celik, 2014; Huebner, 2000; Mora, 2007). El cereal más cultivado, como monocultivos o en asociación con ebo (*Vicia sativa* L.) es la avena (*Avena sativa* L.), seguida del triticale (*X triticosecale wittmack*; Anil et al., 1998; Caballero, Goicoechea, & Hernaiz, 1995; Lithourgidis et al., 2006; Najera et al., 2016). Ambos cereales asociados con ebo, son buena alternativa para producir forraje en condiciones de temporal, en las tierras de labor que carecen de irrigación, para alimentar rumiantes en la temporada de sequía. Para incluirlos en un programa de alimentación es necesario conocer la cantidad de materia seca a cosechar en algún ambiente climático específico. La asociación avena-ebo o triticale-ebo produce más materia seca que el monocultivo de triticale y avena (Caballero et al., 1995; Carpici & Celik, 2014; Huebner, 2000; Lithourgidis et al., 2006; Mora, 2007). La cantidad de materia seca cosechada de la asociación cereal-ebo depende de la densidad de siembra total y de cada especie forrajera incluida en la asociación. La densidad de siembra para cereales varía desde 80 hasta 150 kg de semilla ha<sup>-1</sup> y para el ebo de 20 a 60 kg de semilla ha<sup>-1</sup> (Caballero et al., 1995). Un factor adicional que influye en el rendimiento de materia seca por hectárea es el momento de cosecha de la asociación cereal-ebo. Con la asociación avena-ebo o triticale-ebo se ha cosechado mayor cantidad de materia seca, cuando el cereal está en estado de desarrollo de grano maduro. Se ha establecido que conforme avanza el estado de madurez del cereal se cosecha mayor cantidad de materia seca de la asociación cereal-ebo (Carpici & Celik 2014; Lithourgidis et al., 2006; Najera et al., 2016; Tuna & Orak, 2007).

El objetivo de este experimento fue evaluar el rendimiento de la materia seca de la avena y dos variedades de triticale asociados con cinco niveles de ebo, en seis cosechas próximas a madurez fisiológica de las plantas del cereal.

### **3.4. Materiales y métodos**

El estudio se realizó en la tabla agrícola "San Juan" del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de

México. El sitio se ubica a 19° 29' 39" de latitud norte y 98° 51' 40.2" de longitud oeste, a 2310 msnm. El clima es templado subhúmedo, el menos húmedo de los subhúmedos (CbW<sub>0</sub>wi'g), con lluvias en verano desplazadas hacia el otoño. Precipitación promedio anual de 618.5 mm, temporada de lluvias de junio a octubre (77.94% de la precipitación total) y 5.2% de la precipitación total en el invierno, con verano fresco largo, temperatura media anual es 16.4 °C, siendo los meses calurosos abril (28.1 °C) y mayo (28.0 °C) y los meses más fríos diciembre (3.4 °C) y enero (2.9 °C; García, 1987).

Los cereales estudiados fueron avena variedad Chihuahua, y triticale variedad Siglo XXI y variedad Bicentenario, asociados a cinco niveles de ebo: 100-0, 75-25, 50-50, 25-75 y 0-100% (cereal-ebo), en condiciones de temporal del verano-otoño del año 2017, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones (Gomez & Gomez, 1984). Se sembraron 45 parcelas experimentales de 6 m de largo y 4 m de ancho (área de 24 m<sup>2</sup>). En total se sembró 240 g de semilla cereal-ebo (equivalente a 100 kg de semilla ha<sup>-1</sup>), al voleo el día 7 de julio de 2017; la semilla se tapó a mano con rastrillo. Se tomaron muestras del forraje en pie en septiembre 3, septiembre 10, septiembre 15, septiembre 25, octubre 7 y octubre 21 de 2017. Para coleccionar muestras del forraje se colocó al azar, en dos ocasiones, una unidad de muestreo de forma circular de 30 cm de diámetro (0.071 m<sup>2</sup>). Se cortó el forraje dentro de la unidad de muestreo a nivel del suelo. El forraje se colocó en bolsas de plástico las cuales se identificaron con el nombre del cereal, el porcentaje de ebo en la combinación y fecha de muestreo.

Las muestras de forraje se transportaron al laboratorio del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, para separar los componentes botánicos, cereal, ebo y maleza. Cada componente botánico se colocó en bolsas de papel para ser deshidratado, a una temperatura de 55 °C durante 72 h, en una estufa de aire forzado; una vez secas las muestras, se registró su respectivo peso seco. Con la suma del peso seco de los tres componentes botánicos se calculó el rendimiento total de materia seca por hectárea (t MS ha<sup>-1</sup>) y el porcentaje de

cada componente botánico en el forraje cosechado. A la suma del rendimiento de materia seca del cereal y ebo se le llamó rendimiento del cultivo.

Los datos se analizaron con un modelo estadístico, para un diseño aleatorizado con arreglo factorial. El rendimiento de materia seca total, el porcentaje de cada componente, y el peso seco de cada componente botánico, fueron las variables de respuesta. Cada combinación de cereal-ebo, fecha de cosecha y su respectiva interacción fueron las variables independientes, o variables clasificatorias. La comparación de medias fue con la prueba de rango múltiple Tukey a un nivel de significancia de 0.05, usando el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2013).

### **3.5. Resultados y discusión**

Independientemente del genotipo del cereal y nivel de ebo en la asociación, el rendimiento total de materia seca (cereal + ebo + maleza) aumentó con el avance en la madurez fisiológica de las plantas forrajeras ( $p < 0.0001$ ; Figura 2), confirmando que conforme progresa la madurez fisiológica, se acumuló más materia seca, como se ha observado en investigaciones similares (Carpici & Celik 2014; Lithourgidis et al., 2006; Najera et al., 2016; Tuna & Orak, 2007). La primera cosecha, se realizó cuando la mayoría de las plantas de avena estaban en estado de desarrollo de embuche (septiembre 3) y la última cosecha fue cuando la

mayoría de las plantas de avena estaban en estado de desarrollo de grano masoso (octubre 21).

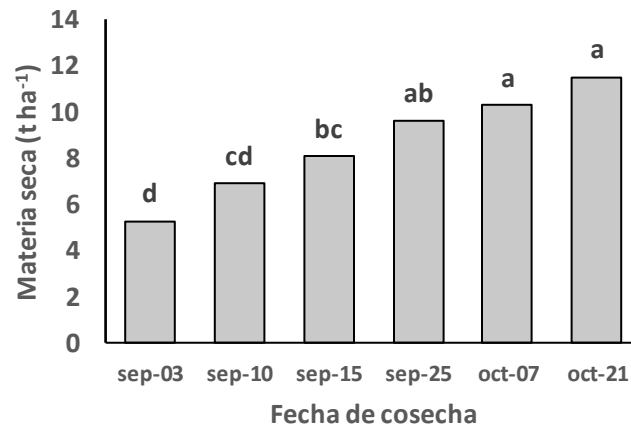


Figura 2. Rendimiento de materia seca ( $t\ ha^{-1}$ ) de la asociación cereal-ebo en seis fechas de cosecha.

En promedio, en 53 días se acumuló  $110 \pm 10$  kg de materia seca por día transcurrido ( $p=0.0019$ ), para sumar al final  $6.24\ t\ MS\ ha^{-1}$ , resultando en un incremento de 1.2 veces del rendimiento cosechado en septiembre 3. Considerando como rendimiento base  $11.51\ kg\ MS\ ha^{-1}$ , se calculó el rendimiento relativo de materia seca cosechada de septiembre 3 hasta octubre 7, siendo 45.79, 59.77, 70.00, 83.40 y 89.31% del rendimiento registrado para octubre 21, la última cosecha ( $p<0.0001$ ).

La cantidad de materia seca cosechada del cultivo de interés, cereal + ebo, fue mayor con avena que con las dos variedades de triticale ( $p<0.0001$ ; Figura 3), superando en  $1.69\ t\ MS\ ha^{-1}$  el rendimiento promedio de las dos variedades de triticale ( $7.98\ t\ MS\ ha^{-1}$ ). La diferencia a favor de la asociación avena-ebo se atribuyó a la capacidad de amacollar y al tamaño de las plantas de avena; estos resultados confirman hallazgos previos sobre mayor rendimiento de materia seca con la asociación avena-ebo (Ghanbari-Bonjar & Lee, 2003; Roberts et al., 1989).

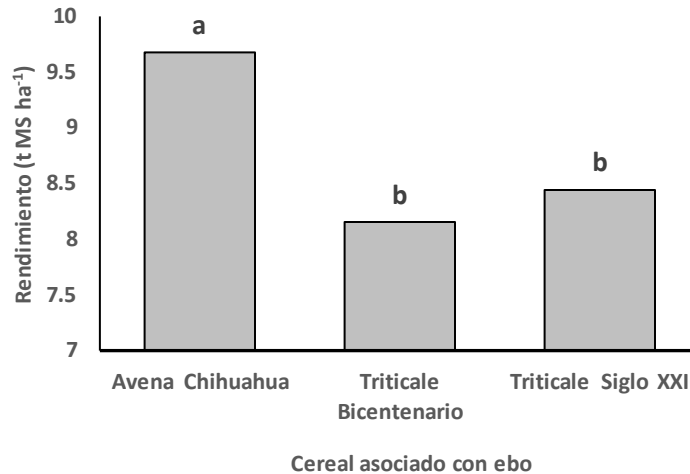


Figura 3. Rendimiento de materia seca (t ha<sup>-1</sup>) de los tres cereales asociados con ebo.

Los rendimientos de materia seca del cultivo cereal-ebo fueron muy cercanos a los reportados en diversas investigaciones (Carpici & Celik, 2014; Lithourgidis et al., 2006; Najera et al., 2016); las diferencias entre la avena y el triticale revelan la influencia de condiciones ambientales de la temporada de lluvias sobre su rendimiento de materia seca, y del genotipo del cereal asociado con el ebo.

El componente botánico dominante cosechado de la asociación cereal-ebo fue el cereal ( $p < 0.05$ ; Figura 4). En condiciones de temporal es difícil evitar el crecimiento de plantas nativas y combatirlas con algún producto químico, sin riesgo de eliminar al ebo de la asociación. Por lo que las plantas de las hierbas anuales nativas fueron el segundo componente botánico del rendimiento. La asociación avena-ebo fue la menos invadida por las hierbas nativas (18.7 a 29.6%) en comparación con la asociación triticale-ebo. La asociación con mayor invasión de hierbas nativas anuales fue la de triticale variedad Bicentenario (43.3 a 62.7%) y la asociación triticale variedad Siglo XXI fue la menos invadida (30.5 a 43.3%). La menor incidencia de hierbas anuales nativas en la asociación avena-ebo se atribuyó al hábito de amacollamiento y tamaño de las plantas de avena (Ansar et al., 2010; Jackson & Willians, 2006).



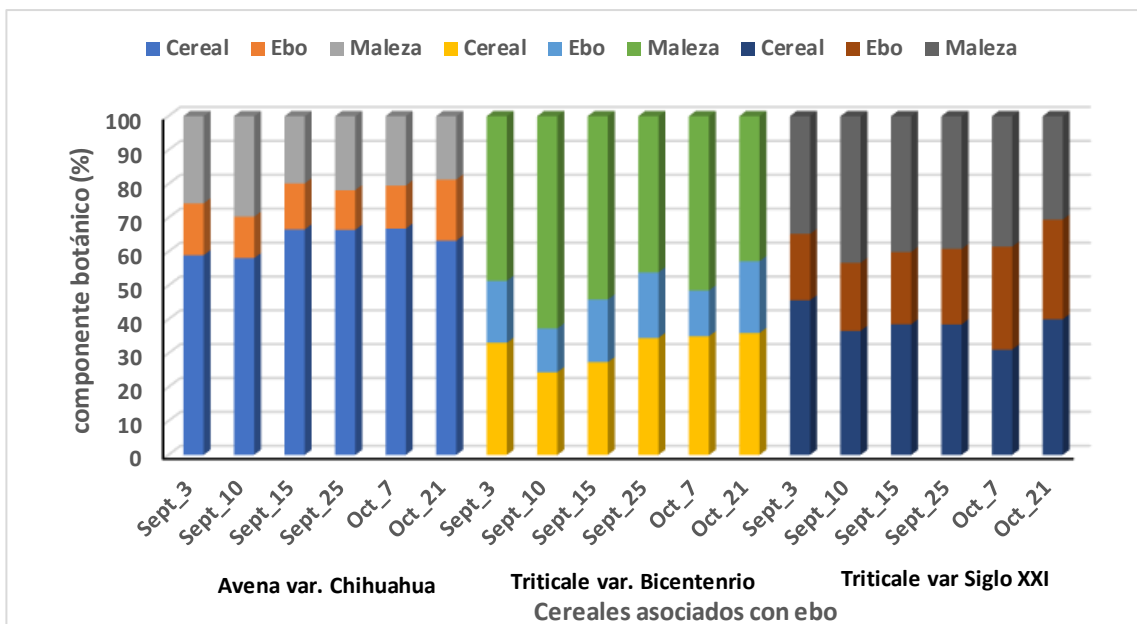


Figura 4. Porcentaje de componentes botánicos (cereal, ebo y maleza) en el cultivo cereal-ebo según fecha de corte, en condiciones de secano para la temporada de crecimiento verano-otoño de 2017.

La distribución de los componentes botánicos en las cosechas realizadas fue variable (Figura 4). Se cosechó mayor cantidad de materia seca del componente botánico avena, siendo menos variable su presencia en el rendimiento (53.1 a 63.25%) que el componente triticale variedad Bicentenario (18.52 a 35.96%). Entre las asociaciones de triticale-ebo se cosechó más cereal y fue menos variable con la variedad Siglo XXI (18.03 a 38.54%).

Independientemente del porcentaje de avena y ebo en la asociación, se cosechó más cereal a todos los niveles de ebo, la cantidad cosechada fue del 62 al 88%, en ningún caso los porcentajes de avena y ebo no correspondieron al esperado (Cuadro 2), al porcentaje de semilla sembrada de cada especie forrajera.

Cuadro 2. Rendimiento de materia seca promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) por componente botánico para avena variedad Chihuahua asociado con ebo a diferentes porcentajes de siembra, con base en una densidad de siembra equivalente a  $100\ kg\ ha^{-1}$ .

Corte	25			50			75			100	
	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Maleza
sep-03	3.443	1.388	1.671	3.254	1.226	1.259	3.560	0.779	1.095	4.120	1.208
sep-10	3.620	2.111	2.414	3.818	0.991	3.219	3.571	0.637	2.412	6.891	1.278
sep-15	5.976	1.820	1.572	5.156	1.942	1.329	6.143	1.124	2.324	8.930	2.102
sep-25	5853	2.439	2.160	6.745	1.953	2.851	6.889	0.918	2.228	10.478	2.162
oct-07	5.8999	2.928	2.886	8.309	1.635	2.294	5.699	1.059	2.032	9.686	1.851
oct-21	5.139	3.016	2.784	7.453	4.168	1.970	7.614	1.977	1.313	9.316	2.092

Para la asociación triticale Siglo XXI con ebo, la cantidad del cereal y leguminosa no observó el patrón detectado para la asociación avena variedad Chihuahua con ebo. La cantidad de triticale y ebo no correspondió al porcentaje de semilla sembrada de cada especie forrajera, como se esperaba. El porcentaje del cereal varió del 12 al 76%, y del ebo de 24 al 88% (Cuadro 3).

Cuadro 3. Rendimiento de materia seca promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) por componente botánico para Triticale variedad Siglo XXI asociado con ebo a diferentes porcentajes de siembra, con base en una densidad de siembra equivalente a  $100\ kg\ ha^{-1}$ .

Corte	25			50			75			100	
	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Maleza
sep-03	1.009	1.236	2.996	2.180	1.270	1.620	3.407	1.094	1.457	5.870	2.146
sep-10	0.320	2.377	4.556	3.444	1.576	1.880	2.730	1.419	1.683	4.420	4.242
sep-15	0.833	1.958	4.454	3.572	2.466	2.766	2.770	1.893	2.367	6.124	3.042
sep-25	2.121	1.970	3.866	2.364	3.321	1.430	3.330	1.797	3.407	7.683	5.768
oct-07	1.985	3.746	4.419	2.865	3.895	2.371	1.760	3.832	3.187	6.789	4.552
oct-21	2.516	3.490	3.325	3.513	5.697	2.977	2.966	4.128	3.118	7.802	2.773

En el caso de la asociación triticale variedad Bicentenario con ebo, la cantidad de materia seca cosechada para cada componente botánico fue variable y no correspondió al porcentaje de semilla sembrada. El porcentaje del cereal osciló entre el 6.6 al 58% y para el ebo del 42 al 93%.

Cuadro 4. Rendimiento de materia seca promedio ( $t\ ha^{-1}$ ) por componente botánico para Triticale variedad Bicentenario asociado con ebo a diferentes porcentajes de siembra, con base en una densidad de siembra equivalente a  $100\ kg\ ha^{-1}$ .

Corte	25			50			75			100	
	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Ebo	Maleza	Cereal	Maleza
sep-03	0.888	1.948	2.129	1.745	1.680	1.927	1.042	0.765	2.054	1.669	2.169
sep-10	0.391	1.415	5.117	1.691	1.882	3.668	0.899	0.817	3.225	1.932	4.587
sep-15	0.241	2.878	3.806	2.630	2.438	3.938	1.264	1.769	4.091	2.874	3.661
sep-25	0.399	3.839	3.730	2.253	2.918	3.550	1.548	2.218	4.720	3.406	3.495
oct-07	1.905	3.181	5.971	1.469	5.228	4.840	2.320	1.977	4.365	3.824	4.416
oct-21	0.343	4.853	4.099	3.315	3.947	3.700	2.421	4.961	3.601	3.778	4.004

Para todos los casos, múltiples factores pudieron estar involucrados en el resultado final, como número de semillas por kilogramo de semilla sembrado, diferencias en la capacidad para germinación de las semillas, la habilidad de las plántulas para sobrevivir a condiciones de estrés hídrico, y la capacidad de las plántulas del cereal y ebo para competir con las plantas de maleza.

### 3.6. Conclusión

Los cereales como monocultivo produjeron mayor cantidad de materia seca que las asociaciones, pero las asociaciones produjeron más cantidad de materia seca que el monocultivo de ebo. El rendimiento de materia seca del cultivo asociado aumentó conforme las plantas del cereal maduraron.

El componente botánico dominante en el forraje cosechado de la asociación avena-ebo, fue el cereal. Y como monocultivo la avena tuvo el mayor rendimiento de materia seca.

### 3.7. Literatura citada

- Anil, L., Park, J., Phipps, R. H., & Miller, F. A. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53(4), 301-317, doi: 10.1046/j.1365-2494.1998.00144.x
- Ansar, M., Ahmed, Z. I., Malik, M. A., Nadeem, M., Majeed, A., & Rischkowsky, B. A. (2010). Forage yield and quality potential of winter cereal-vetch mixtures under rainfed conditions. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 22(1), 25.

- Caballero, R., Goicoechea, E. L., & Hernaiz, P. J. (1995). Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field Crops Research*, 41(2), 135-140.
- Carpici, E. B., & Celik, N. (2014). Forage yield and quality of common vetch mixtures with triticale and annual ryegrass. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(1), 66-69.
- Ghanbari-Bonjar, A., & Lee, H. C. (2003). Intercropped wheat (*Triticum aestivum* L.) and bean (*Vicia faba* L.) as a whole-crop forage: effect of harvest time on forage yield and quality. *Grass and Forage Science*, 58(1), 28-36.
- García, E. (1987). Modificaciones al sistema climático de Koopen para la República Mexicana. UNAM. México, D.F.
- Gomez A. K y A. A. Gomez. (1984). *Statistical procedures for agricultural research*. (2<sup>nd</sup> ed). John Wiley and Sons, Inc
- Jackson, L. & Williams, J. (2006). *Pt.2 Growth and development of small grains. Small Grain Production*. University of California: UCANR Publications.
- Huebner, G. (2000). Triticale forage. Yield and feed value compare to traditional cereal grains. *Manitoba Agriculture*, Canada.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2), 106-113.
- Mora G. M. (2007). Ebo+Avena, forraje para el ciclo otoño-invierno en el estado de Querétaro. *Ficha Tecnológica por Sistema Producto*. INIFAP. Querétaro.
- Najera, M. J. F., Ricardo, A. S. G., Francisco, G. E. C., Ramon, G. L., Cesar, A. R. N., & Homero, S. G. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(3), 275-291.
- Roberts, C. A., Moore, K. J., & Johnson, K. D. (1989). Forage quality and yield of wheat-vetch at different stages of maturity and vetch seeding rates. *Agronomy Journal*, 81(1), 57-60, doi:10.2134/agronj1989.00021962008100010010x.
- SAS Institute. (2013). The SAS system for windows. Release 9.4 Cary, NC.
- Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.) oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 2, 14-19.

## 4. CONTENIDO DE PROTEÍNA CRUDA DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO<sup>1</sup>

### 4.1. Resumen

El objetivo fue estimar el contenido de proteína cruda (PC) del forraje de tres genotipos de cereal asociados con ebo común (100:00, 75:25, 50:50, 25:75 y 00:100 %) cosechados en septiembre 3, septiembre 25 y octubre 21 de 2017. Las asociaciones avena (*Avena sativa* L.) variedad Chihuahua, triticale (*X Triticosecale witmack*) variedades Bicentenario y Siglo XXI con ebo común, fueron sembrados en un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones. Se colectaron tres muestras de forraje de cada asociación cereal-ebo para estimar el porcentaje de ebo, con base en el peso total (g del cereal + g del ebo). Se observó amplia variabilidad en el porcentaje de ebo, por lo tanto, se formaron cinco combinaciones de cereal con el ebo (100:00, 75:25, 50:50, 25:75 y 00:100 gramos) con muestras del forraje de los monocultivos de cereales y del ebo. Se ajustó un modelo de regresión ( $Y_i = b_{0i} + b_{1i}X_i$ ) para estimar PC ( $Y_i$ ) con base en el porcentaje de ebo ( $X_i$ ) en las muestras colectadas de cada genotipo de cereal y fecha de cosecha. Independientemente del genotipo de cereal y de la madurez de las plantas del cereal, el contenido de PC aumentó con incrementos en el porcentaje de ebo. Conforme la madurez de las plantas de los cereales (13.56 a 8.77% para avena, 10.6 a 7.58% para triticale Bicentenario y 12.67 a 4.30 para triticale Siglo XXI) y del ebo (22.85 a 16.12%) pasó de estado de inflorescencia a grano maduro, el contenido de PC disminuyó en los monocultivos y las asociaciones cereal-ebo.

**Palabras clave:** proteína cruda, avena, triticale, ebo, madurez de las plantas, porcentaje de ebo.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: María de Lourdes Reyes Medel  
Director de Tesis: José Luis Zaragoza Ramírez

## 4.2. Abstract

### Crude protein yield of mixtures cereals-common vetch<sup>1</sup>

The objective was to estimate crude protein (CP) of the forage from three cereal genotypes growing mixed with common vetch (100:00, 75:25, 50:50, 25:75 and 00:100 kg of commercial seed/ha) and harvested on September 3, September 25 and October 21, 2017. The mixtures of oats (*Avena sativa* L.) cultivar Chihuahua, triticale (X *Triticosecale witmack*) cultivars Bicentenario and Siglo XXI with common vetch were sown accordingly to experimental design complete randomized with three replications. Samples of forage for each cereal-common vetch mixture were collected to estimate the percentage of common vetch in the forage harvested, based on their total weight (gram of cereal + grams common vetch). It was observed wide variability therefore five cereal-common vetch (100:00, 75:25, 50:50, 25:75 and 00:100 grams) were made with the forage harvested from monocultures of each cereal and common vetch. A linear regression model was built, ( $Y_i = b_{0i} + b_{1i}X_i$ ), to estimate CP content ( $Y_i$ ) base on the percentage of common vetch ( $X_i$ ) in the forage harvested of each cereal genotype and of each harvest date. Independent of the cereal genotype and maturity of the plants of the cereals and common vetch, the CP content increased as common vetch percentage increased. The CP content of monocultures and cereal-common vetch mixtures decreased as maturity of cereal plants (13.56 to 8.77% for oats, 10.60 to 7.58% for triticale Bicentenario and 12.67 to 4.30 for triticale Siglo XXI) and common vetch plants (22.85 to 16.12%) passed from flowering stage to ripped stage.

**Key words:** Crude protein, oats, cultivar of triticale, common vetch, plant maturity, percentage of common vetch.

---

<sup>1</sup> Thesis, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: María de Lourdes Reyes Medel  
Advisor: José Luis Zaragoza Ramírez

### 4.3. Introducción

La materia seca de los cereales tiene menor contenido de proteína cruda (PC) que cualquier leguminosa, razón por la cual se recomienda asociarlos con ebo (Altinok *et al.*, 1997; Haynes, 1980; Lawes & Jones, 1971; Tuna y Orak, 2007; Umnuna *et al.*, 1995). Con la asociación cereal-ebo, se ha cosechado forraje con mayor contenido de PC que con un cereal como monocultivo (Arzani *et al.*, 2003; Lithourgidis *et al.*, 2006; Nykänen, Jauhiainen, & Rinne, 2009; Yucel & Avci, 2009; Zaragoza *et al.*, 2015). La cantidad de PC en el forraje de asociación cereal-ebo depende de dos factores, de la cantidad de ebo en la asociación y del estado de desarrollo de las plantas del cereal, al momento de la cosecha (Aguilar *et al.*, 2014; Erol *et al.*, 2009; Lithourgidis *et al.*, 2006; Najera *et al.*, 2016; Yucel & Avci 2009; Zaragoza *et al.*, 2015). Las plantas de avena llegan a madurez fisiológica cuando el grano o semilla alcanza su máximo peso, está seco y duro al tacto (Bruns, 2009; Calderini, Abeledo, & Slafer, 2000); las glumas han perdido su color verde y las plantas están senescentes (Malarkodi & Srimathi, 2007).

La avena y el triticale son cereales que comúnmente se asocian con el ebo (Aguilar *et al.*, 2014; Anil *et al.*, 1998; Caballero *et al.*, 1996; Carr *et al.*, 2004; Haymes & Lee, 1999; Ross *et al.*, 2004) como cultivo de temporal o riego (García, 1965), para cosechar forraje con mayor contenido de PC (Enneking, 1994; Kaya *et al.*, 2013; Zaragoza *et al.*, 2015). Es necesario relacionar el estado de desarrollo de las espigas de las plantas del cereal, tales como embuche, grano lechoso, grano masoso y grano maduro, con el contenido de PC, dado que es el criterio para decidir la cosecha del cereal como monocultivo (Carpici & Celik 2014; Lithourgidis *et al.*, 2006; Najera *et al.*, 2016; Tuna & Orak, 2007). Con el progreso del estado de desarrollo de la espiga del cereal, el contenido de PC disminuyó (Najera *et al.*, 2016).

El objetivo del presente estudio fue determinar el contenido de proteína cruda del forraje, de la asociación avena-ebo y triticale-ebo, cosechado en tres fechas próximas a madurez fisiológica de las plantas de avena.

#### 4.4. Materiales y métodos

El estudio se realizó en la tabla agrícola “San Juan” del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. El sitio se ubica a 19° 29' 39" de latitud norte y 98° 51' 40.2" de longitud oeste, a 2310 msnm. El clima es templado subhúmedo, el menos húmedo de los subhúmedos (CbW<sub>0</sub>wi'g), con lluvias en verano desplazadas hacia el otoño. Precipitación promedio anual de 618.5 mm, temporada de lluvias de junio a octubre (77.94% de la precipitación total) y 5.2% de la precipitación total en el invierno, con verano fresco largo, temperatura media anual es 16.4 °C, siendo los meses calurosos abril (28.1 °C) y mayo (28.0 °C) y los meses más fríos diciembre (3.4 °C) y enero (2.9 °C; García, 1987).

Los cereales estudiados fueron avena variedad Chihuahua, y triticale variedad Siglo XXI y variedad Bicentenario, asociados a cinco niveles de ebo: 100-0, 75-25, 50-50, 25-75 y 0-100% (cereal-ebo), en condiciones de temporal del verano-otoño de 2017, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones (Gomez & Gomez, 1984). Se sembraron 45 parcelas experimentales de 6 m de largo y 4 m de ancho (área de 24 m<sup>2</sup>). En total se sembró 240 g de semilla cereal-ebo (equivalente a 100 kg de semilla ha<sup>-1</sup>), al voleo el día 7 de julio de 2017; la semilla se tapó a mano con rastrillo. Se tomaron muestras del forraje en pie en septiembre 3, septiembre 10, septiembre 15, septiembre 25, octubre 7 y octubre 21 de 2017. Para coleccionar muestras del forraje se colocó al azar, en dos ocasiones, una unidad de muestreo de forma circular de 30 cm de diámetro (0.071 m<sup>2</sup>). Se cortó el forraje dentro de la unidad de muestreo a nivel del suelo. El forraje se colocó en bolsas de plástico, las cuales se identificaron con el nombre del cereal, el porcentaje de ebo en la combinación y fecha de muestreo.

Para conocer cambios en el contenido de proteína cruda se seleccionaron las muestras del forraje de la avena variedad Chihuahua, y triticale variedades Siglo XXI y Bicentenario asociadas con ebo y de sus respectivos monocultivos; coleccionadas en septiembre 3, septiembre 25 y octubre 21 de 2017. Para controlar



el porcentaje del cereal y el ebo se hicieron cinco combinaciones para avena y para las dos variedades de triticale con ebo (100-00, 75-25, 50-50, 25-75, 00-100%), con base a 100 g de materia seca total. La función de las combinaciones es simular el porcentaje de los cereales y ebo en el forraje cosechado en campo y controlar la combinación del porcentaje de ambos componentes de las asociaciones objeto de estudio.

A cada combinación avena-ebo, triticale Bicentenario y triticale Siglo XXI se le determinó el contenido de nitrógeno total con el método de micro-Kjeldahl (Bremner, 1965; Guebel, Nudel, & Giuliatti, 1991; PanReac-AppliChem, 2018; Undersander, Mertens, & Thiex, 1993). El contenido de nitrógeno obtenido se multiplicó por 6.25, para calcular el contenido de proteína cruda (AOAC, 1980; FAO, 2011; Undersander et al., 1993) en cada combinación cereal-ebo.

Con los datos para contenido de proteína cruda ( $Y$ ) y el porcentaje de ebo en la combinación avena-ebo o triticale-ebo ( $X$ ), se obtuvo un modelo de regresión (Kutner, Nachtsheim, Neter, & Li, 2005; Myers, 1990; Rawling, Pantula, & Dickey, 1998), para describir la tasa de cambio en el contenido de proteína cruda por unidad porcentual de aumento en el porcentaje de ebo, de las combinaciones simuladas del cultivo cereal-ebo ( $Y_i = a_0 + b_1x_i + E_{ij}$ ). En este modelo estadístico, el contenido de proteína ( $Y_i$ , en %) fue la variable dependiente o de respuesta y el porcentaje de ebo de cada combinación cereal-ebo simulada, fue la variable independiente. El valor del coeficiente de regresión ( $b_1$ ) reveló la tasa de cambio en el contenido de proteína cruda, como consecuencia del aumento en el porcentaje ebo ( $x_i$ ), en la asociación.

Para estimar el contenido de proteína en el forraje cosechado en campo para cada asociación cereal-ebo, se calculó el porcentaje de ebo en la muestra colectada en cada repetición o parcela experimental. El porcentaje de ebo se calculó con base en el peso seco del ebo y del cereal en cada muestra, se dividió el peso seco del ebo entre la suma del peso del ebo y cereal. El cociente de esta división se multiplicó por 100, para obtener el porcentaje de ebo.

En los modelos de regresión obtenidos para avena-ebo, triticale Bicentenario-ebo y triticale Siglo XXI, se ingresaron los valores para porcentaje de ebo calculados para cada repetición de campo, para estimar el contenido de proteína cruda, en función de ebo en cada muestra de las asociaciones. Los datos obtenidos fueron analizados con un modelo estadístico para un diseño completamente al azar (Gomez & Gomez, 1984). En este modelo las variables clasificatorias fueron: porcentaje de ebo en la asociación cereal-ebo, fecha de corte (cosecha) y sus respectivas interacciones; y el contenido de proteína fue la variable de respuesta. La separación de medias fue con la prueba de t y prueba de rango múltiple Tukey a un nivel de significancia de 0.05, usando el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS, 2013).

#### **4.5. Resultados y discusión**

El porcentaje de ebo en el forraje cosechado de las asociaciones cereal-ebo fue variable entre cosechas, revelando una distribución heterogénea de la leguminosa y gramíneas en las parcelas experimentales (Figura 5); especialmente en las asociaciones triticale-ebo. El porcentaje de ebo fue más variable con el triticale variedad Bicentenario (36.29 a 94.57%) que con el triticale variedad Siglo XXI (27.24 a 65.01%). Entre todos los cereales, la menor variabilidad del porcentaje de ebo fue con la avena variedad Chihuahua (18.96 a 36.98%), posiblemente debido a su hábito de amacollamiento y mayor tamaño de sus hojas.

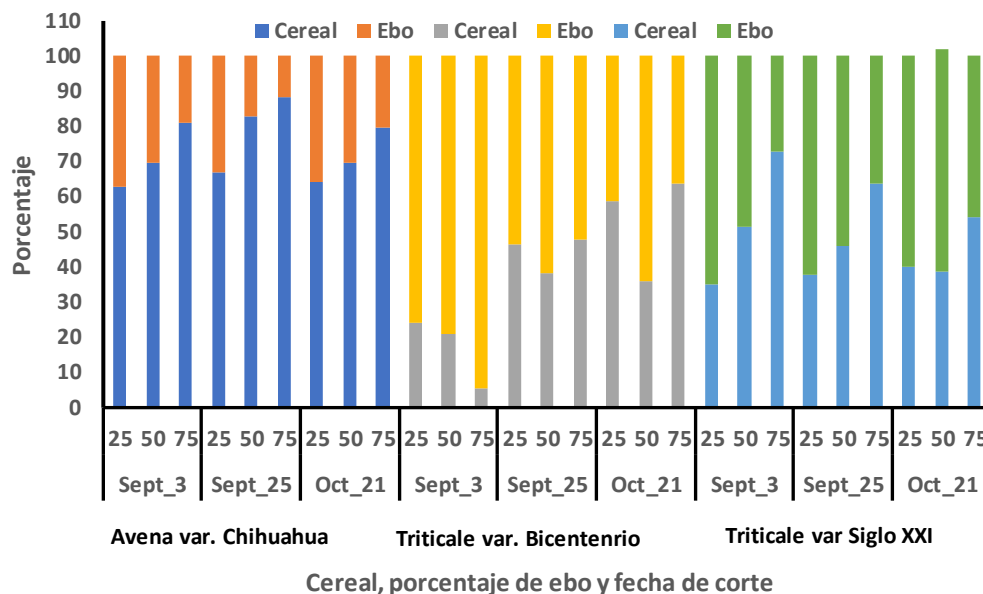


Figura 5. Porcentaje de componentes botánicos (cereal y ebo) en el cultivo cereal-ebo según el porcentaje de ebo en la asociación y fecha de corte, en condiciones de secano para la temporada de crecimiento verano-otoño de 2017.

El porcentaje de ebo en el forraje cosechado no se asoció estadísticamente con el porcentaje de semilla de ebo sembrada (25, 50 y 75%) como se esperaba (Cuadro 5). La hipótesis a probar fue que “a mayor porcentaje de semilla de ebo sembrada, mayor el porcentaje de materia seca de ebo, en el forraje cosechado”, debido quizás a diferencias en el número de semilla de cada cereal y de ebo por kilogramo de semilla comercial y al peso individual de las semillas. Las semillas de ebo son más pesadas y menos numerosas en un kilogramo (21,739 semillas  $\text{kg}^{-1}$ ; Goicochea & Caballero, 1984), por lo que es posible que fueran menos numerosas que las de los cereales en las parcelas experimentales (Triticale 41,667 semillas  $\text{kg}^{-1}$ ; avena 27,027 semillas  $\text{kg}^{-1}$ ; Bobadilla et al., 2013; Moreira, 1984).

Cuadro 5. Coeficientes de correlación para porcentaje de semilla de ebo sembrada y porcentaje de ebo cosechado, en las asociaciones cereal ebo.

	Avena	Bicentenario	Siglo XXI
Septiembre 03	-0.9902 <sup>ns</sup>	0.9374 <sup>ns</sup>	-0.9976*
Setiembre 25	-0.9611 <sup>ns</sup>	-0.1183 <sup>ns</sup>	-0.9762 <sup>ns</sup>
Octubre 21	-0.9989 <sup>ns</sup>	-0.1665 <sup>ns</sup>	-0.7621 <sup>ns</sup>

ns = coeficiente no significativo ( $p > 0.05$ )

\* Coeficiente significativo ( $p < 0.0438$ )

Como se esperaba, se estimó mayor contenido de proteína cruda en forraje de la asociación cereal-ebo, con mayor porcentaje de ebo. Se observó que a menor porcentaje de ebo, menor contenido de proteína cruda y un patrón de disminución del contenido de proteína cruda del forraje cereal-ebo con el decremento en el porcentaje de ebo ( $p < 0.05$ ; Cuadro 6). En relación con el estado de desarrollo de las espigas, se cosechó forraje cereal-ebo con mayor contenido de proteína cruda en septiembre 3, cuando las plantas de los cereales estaban en embuche y disminuyó conforme las plantas pasaron de embuche a grano maduro, y las plantas de ebo de desarrollo vegetativo a ejote o semilla inmadura ( $p < 0.05$ ). El contenido de proteína cruda del forraje de ebo y de los cereales disminuyó con la madurez de las plantas, en 6.63, 4.79 y 8.37%, para ebo, avena, triticale Bicentenario y triticale Siglo XXI, respectivamente.

Cuadro 6. Contenido de proteína cruda (%) en las asociaciones cereal-ebo.

	Avena variedad Chihuahua			Triticale variedad Bicentenario		
	Sept 03	Sept 25	Oct 21	Sept 03	Sept 25	Oct 21
0	22.85	18.98	16.12	22.85	18.98	16.12
25	16.88 ± 0.45	12.82 ± 0.34	11.34 ± 0.29	17.14 ± 0.57	17.43 ± 0.63	16.9 ± 0.33
50	16.27 ± 0.31	11.23 ± 0.30	10.93 ± 0.50	15.22 ± 0.46	15.93 ± 0.53	12.33 ± 0.29
75	15.26 ± 0.13	10.67 ± 0.38	10.23 ± 0.51	14.17 ± 0.70	16.13 ± 1.03	10.89 ± 0.71
100	13.56 ± 0.00	9.53 ± 0.00	8.77 ± 0.00	10.60 ± 0.00	10.60 ± 0.00	7.58 ± 0.00
	Triticale variedad Siglo XXI					
	Sept 03	Sept 25	Oct 21			
0	22.85	18.98	16.12			
25	16.81 ± 0.49	16.62 ± 0.51	10.95 ± 0.56			
50	15.75 ± 0.48	16.12 ± 0.40	11.32 ± 0.55			
75	14.41 ± 0.45	14.98 ± 0.17	9.40 ± 1.10			
100	12.67 ± 0.00	12.67 ± 0.00	4.30 ± 0.00			

Los cereales como monocultivo tuvieron menor contenido de proteína que el monocultivo de ebo (Cuadro 6). La diferencia calculada fue variable sin tendencia

a disminuir con respecto a la madurez de las plantas de los cereales. La diferencia parece ser mayor cuando las plantas de cereal están en embuche y las plantas del ebo asociado en estado vegetativo, que cuando las plantas de cereal están en grano maduro y las plantas del ebo asociado están en ejote o semilla inmadura (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diferencia en el porcentaje de proteína cruda en el forraje de monocultivo de los cereales con respecto al monocultivo de ebo.

Cereal/fecha	Septiembre 3	Septiembre 25	Octubre 21
Avena variedad Chihuahua	7.29	9.45	7.35
Triticale variedad Bicentenario	12.25	8.38	5.52
Triticale variedad Siglo XXI	10.18	6.31	11.82

El contenido de proteína cruda de un forraje es uno de los criterios empleados para evaluar la calidad del forraje cosechado (Assefa & Ledin, 2001; Caballero et al., 1995), que puede ser mejorado al asociar un cereal con el ebo, ya que en el forraje cosechado de todas las asociaciones cereal-ebo, el contenido de proteína cruda aumentó a medida que la proporción de ebo en la mezcla aumentó; como ha sido observado en similares trabajos de investigación (Khorasani et al., 1997; Ramirez et al., 2013). El mayor de contenido de proteína cruda en etapa de embuche, se encontró cuando se sembró el 75% de ebo, debido a que, en el forraje cosechado de las tres asociaciones, el porcentaje de materia seca del ebo fue mayor.

#### **4.6. Conclusión**

Los cereales como monocultivo produjeron menor cantidad de proteína que las asociaciones y que el ebo como monocultivo. El rendimiento de proteína del cultivo asociado disminuyó conforme las plantas de cereal maduraban, obteniéndose mayor rendimiento de proteína cuando las plantas de cereal estaban en estado de embuche. Se obtuvo un mayor rendimiento de proteína cuando se sembró un mayor porcentaje de ebo en la mezcla (75%).

#### 4.7. Literatura citada

- Aguilar, L. E. Y., Borquez, J. L., Domínguez-Vara, I. A., Morales, A. O., Gutiérrez, M. D. G., Castelan-Ortega, O., & González, R. M. (2014). Evaluación del rendimiento, composición química y producción de gas In Vitro de gramíneas de grano pequeño (X triticosecale Wittmack y *Hordeum vulgare*) asociadas con ebo (*Vicia sativa*) y conservadas como ensilaje o henificado. (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Estado de México)
- Altinok, S., Sampson, H., Martin, R. C., & Papadopoulos, Y. A. (1997). The morphology and yield of barley (*Hordeum vulgare* L.) and forage legumes in intercrops. *Turkish journal of Agriculture and Forestry*, 21(6), 605-613.
- Anil, L., Park, J., Phipps, R., & Miller, F. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and Forage Science*, 53, 301-317. doi: 10.1046/j.1365-2494.1998.00144.x
- Assefa, G., & Ledin, I. (2001). 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(1-2), 95-111, doi: 10.1016/S0377-8401(01)00242-5
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (1980). Official Methods of Analysis. (11th ed). AOAC, Washington, DC, p. 125.
- Bremner, J. M. (1965). Total Nitrogen 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilanb), 1149-1178.
- Bruns, A. H. (2009). A survey of factors involved in crop maturity. *Agronomy Journal*. 101(1), 60-66, doi:10.2134 / agronj2007.0271R
- Caballero, R., Rebolé, A., Barro, C., Alzueta, C., Trevino, J., & Garcia, C. (1996). Farming practices and chemical bases for a proposed quality standard of vetch-cereal hays. *Field Crops Research*, 47(2-3), 181-189, doi: 10.1016/0378-4290(96)00019-6
- Calderini, D. F., Abeledo, L. G., & Slafer, G. A. (2000). Physiological maturity in wheat based on kernel water and dry matter. *Agronomy Journal*. 92, 895-901, doi: 10.2134 / agronj2000.925895x.
- Carr, P. M., Horsley, R. D., & Poland, W. W. (2004). Barley, oat, and cereal-pea mixtures as dryland forages in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, 96(3), 677-684, doi: 10.2134/agronj2004.0677.
- Enneking, D. (1994). *The toxicity of Vicia species and their utilisation as grain legumes* (Doctoral dissertation, The University of Adelaide, Adelaide Australia Meridional, Australia).

- Erol, A., Kaplan, M., & Kizilsimsek, M. (2009). Oats (*Avena sativa*)-Common vetch (*Vicia sativa*) mixtures grown on a low-input basis for a sustainable agriculture. *TG: Tropical Grasslands*, 43(3), 191.
- FAO. (2011). Quality assurance for animal feed analysis laboratories. FAO Animal Production and Health Manual. No. 14. Rome.
- García, C. (1965). Alternativas en secano con mayor producción forrajera y posibilidad de suprimir el barbecho. *VI Reunión Científica de la SEEP Palencia-Valladolid*, 31-53.
- García, E. (1987). Modificaciones al sistema climático de Koopen para la República Mexicana. UNAM. México, D.F.
- Gomez, A. K., & Gomez, A. A. (1984). Statistical procedures for agricultural research. (2<sup>nd</sup> ed.). John Wiley and Sons, Inc.
- Guebel, D. V., Nudel, B. C., & Giuliatti, A. M. (1991). A simple and rapid micro-Kjeldahl method for total nitrogen analysis. *Biotechnology Techniques*, 5(6), 427-430, doi: 10.1007/BF00155487
- Haynes, R. J. (1980). Competitive aspects of the grass-legume association. In *Advances in Agronomy*, 33, 227-261, doi: 10.1016/S0065-2113(08)60168-6
- Kaya, A., Yörük, M. A., Esenbuga, N., Temelli, A., & Ekinci, Ö. (2013). Retraction: The effect of raw and processed common vetch seed (*Vicia sativa*) added to diets of laying hens on performance, egg quality, blood parameters and liver histopathology. *The Journal of Poultry Science*, 50(3), 228-236, doi: 10.2141/jpsa.0120013
- Khorasani, G. R., Jedel, P. E., Helm, J. H., & Kennelly, J. J. (1997). Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Canadian Journal of Animal Science*, 77(2), 259-267.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (5<sup>th</sup> ed.). Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Lawes, D., & Jones, D. (1971). Yield, nutritive value and ensiling characteristics of whole-crop spring cereals. *The Journal of Agricultural Science*, 76(3), 479-485, doi:10.1017/S0021859600069471
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113.
- Malarkodi, K., & Srimathi, P. (2007). A Review Seed physiological maturity. *International Journal Plant Science*, 2(1), 222-230.
- Myers, R. H., & Myers, R. H. (1990). Classical and modern regression with applications (2<sup>nd</sup> ed.). Belmont, CA: Duxbury press.

- Moreira, D. (1988). Evaluación de Niveles de Nitrógeno y Densidades de Siembra en Cuatro Genotipos de Triticale. (Tesis profesional, Escuela Agrícola Panamericana, Tegucigalpa, Honduras).
- Najera, M. J. F., Ricardo, A. S. G., Francisco, G. E. C., Ramon, G. L., Cesar, A. R. N., & Homero, S. G. (2016). Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7(3), 275-291.
- Nykänen, A., Jauhiainen, L., & Rinne, M. (2009). Biomass production and feeding value of whole-crop cereal-legume silages. *Agronomy Research*, 7(2), 684-690.
- PanReac-AppliChem. (2018). Nitrogen determination by Kjeldahl method. ITW Reagents. PanReac Quimica SLU. AppliChem GmbH. Nova Chimica Srl. Consultado en: [https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173\\_EN.pdf](https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf)
- Ramirez-Ordoñez, S., Dominguez-Diaz, D., Salmeron-Zamora, J. J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutierrez, J. A. (2013). Yield and quality of forage varieties of oats according to planting system and maturity stage at cutting. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(4), 395-403.
- Rawling, O. J., Pantula, S. G., & Dickey, d. A. (1998). Applied regression analysis: A research tool. (2nd ed.). Springer New York.
- Ross, S. M., King, J. R., O'Donovan, J. T., & Spaner, D. (2004). Intercropping berseem clover with barley and oat cultivars for forage. *Agronomy Journal*, 96(6), 1719-1729, doi: 10.2134 / agronj2004.1719.
- SAS Institute. (2013). The SAS system for windows. Release 9.4 Cary, NC.
- Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch (*Vicia sativa* L.) oat (*Avena sativa* L.) cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agricultural and Biological Science*, vol. 2, 14-19.
- Umunna, N. N., Osuji, P. O., Khalili, H., Nsahlai, I. V., & Crosse, S. (1995). Comparative feeding value of forages from two cereal-legume based cropping systems for beef production from crossbred (*Bos taurus* × *Bos indicus*) steers and subsequent performance of underfed and realimented steers. *Animal Science*, 61(1), 35-42.
- Undersander, D. J., Mertens, D. R., & Thiex, N. (1993). Forage Analysis Procedures. National Forage Testing Association, Omaha, NE, USA.
- Yucel, C., & Avci, M. (2009). Effect of different ratios of common vetch (*Vicia sativa* L.)-triticale (*Triticosecale* Whatt) mixtures on forage yields and quality in Cukurova plain in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4), 323-332.
- Zaragoza R. J. L., Martinez H. P. A. & Villaseñor M. E. (2015). Forage quantity and quality of oats-common vetch at different seeding proportions. XXIII



International Grassland Congress (IGC\_2015), November 20-24, New Dehli, India.

## 5. CALIDAD DEL FORRAJE DE LA ASOCIACIÓN CEREAL-EBO<sup>1</sup>

### 5.1. Resumen

El objetivo fue determinar algunos constituyentes químicos y la digestibilidad de la materia seca de la combinación de tres genotipos de cereal combinados con ebo común (100:00, 75:25; 50:50, 25:75 y 00:100%). La avena variedad Chihuahua, triticale variedad Bicentenario y triticale variedad Siglo XXI, y el ebo común fueron cosechados en septiembre 25 y octubre 17 de 2017. De cada combinación se determinó el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), materia orgánica (MO) y extracto etéreo (EE) por procedimientos convencionales; y la digestibilidad de la materia seca (DMS) por la técnica de producción de gas. Se probó el efecto de genotipo de cereal con un modelo de regresión con porcentaje de ebo como variable continua y genotipo de cereal como variable categórica. Para cada constituyente químico y DMS se ajustaron modelos de regresión lineal. El contenido de PC aumentó (10.8 a 18,98%), y la FDN (71.45 a 51.67%) y MO (83.91 a 73.25%) disminuyeron con el incremento de ebo en la combinación ( $p < 0.05$  y  $p < 0.10$ ), independientemente del genotipo de cereal. El aumento del porcentaje de ebo sobre EE no fue significativo ( $p > 0.05$ ). Con los triticales, el aumento en el porcentaje de ebo no influyó sobre la digestibilidad de la materia seca. Las combinaciones avena-ebo mostraron un aumento ligero en la DMS ( $p < 0.05$ ), y la DMS fue mayor cuando las plantas de avena estaban en plena floración, que cuando estaban en grano maduro.

**Palabras claves:** combinación cereal-ebo, ebo común, proteína cruda, digestibilidad de la materia seca, fibra detergente neutro.

---

<sup>1</sup> Tesis de Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Universidad Autónoma Chapingo  
Autor: María de Lourdes Reyes Medel  
Director de Tesis: José Luis Zaragoza Ramírez

## 5.2. Abstract

### Forage quality of mixtures cereals-common vetch<sup>1</sup>

The objective was to determine some chemical constituents and the dry matter digestibility of three cereal genotypes combined with common vetch (100:00, 25:75, 50:50, 75:25 y 00:100%). The oats cultivar Chihuahua, triticale cultivar Bicentenario and triticale cultivar Siglo XXI, and common vetch were harvested from monocultures on September 25 and on October 17, 2017. Crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), organic matter (OM) and ether extract (EE) were determined by conventional methods; and dry matter digestibility (DMD) by gas technique. The genotype of cereal effect on chemical constituents and on DMD was tested by lineal regression model with percentage of vetch as continue variable and cereal genotype as categorical variable. Hypothesis of parallel lines with the same change rate on CP was rejected, therefore individual lineal regression models for CP, NDF, OM and EE were built and their parameter were compared using standard error of each parameters ( $b_0$  y  $b_1$ ), including the parameters of the logistic model ( $A$ ,  $\mu_m$  y  $\lambda$ ). The CP was increased (10.8 to 18.9%) and NDF (71.45 to %) and OM (83.91 to 73.25%) were decreased as percentage of vetch increased in the cereal-vetch combination ( $p < 0.05$  and  $p < 0.10$ ), regardless of the genotype cereal. The EE did not show a trend as percentage of vetch was increased ( $p > 0.05$ ). The DMD was not affected as the percentage of vetch increased with triticales ( $p > 0.0$ ). The oats-vetch combinations showed light effect of percentage of vetch on DMD and that the major effect on DMD was due to oats plant maturity (from flowering stage to ripening stage),

**Key words:** Cereal-vetch combinations, common vetch, crude protein, dry mater digestibility, neutral detergent fiber

---

<sup>1</sup> Thesis, Universidad Autónoma Chapingo  
Author: María de Lourdes Reyes Medel  
Advisor: José Luis Zaragoza Ramírez

### 5.3. Introducción

Las cualidades químicas de la materia seca del forraje de cereal-ebo, es el criterio ampliamente empleado para justificar su siembra. Este forraje contiene más proteína cruda y es más digestible que el forraje de cereales solos (Lithourgidis et al., 2006; Mowat et al., 1965; Nykänen et al., 2009; Zaragoza et al., 2015). El contenido de proteína cruda se incrementa (Yucel & Avci, 2009) y la digestibilidad de la materia seca parece mejorar, con el aumento en la cantidad de ebo en el forraje cereal-ebo (Yucel & Avci, 2009; Zaragoza et al., 2015). De manera individual ambos parámetros de calidad disminuyen con la madurez de las plantas de los cereales (Avci, 2009; Jung & Vogel, 1986; MacDonald et al., 2002). Para el contenido de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido no se ha establecido una tendencia clara para incrementos de ebo en el forraje de cereal-ebo (Yavuz & Çankaya, 2011; Yucel & Avci, 2009).

La digestibilidad de la materia seca de un forraje está asociada al consumo de forraje, por lo que sería conveniente analizar el proceso de digestión en condiciones in vitro o in vivo. Con las técnicas in vitro se obtienen resultados rápidos para distintas combinaciones de cereal-ebo, como con la técnica de producción de gas (Mertens, 1993; Van Soest, 1994). La producción de gas es producto de la degradación de la materia seca debido a la actividad de los microorganismos del rumen (Getachew et al., 2005; Posada y Noguera, 2005). Diversos microorganismos del rumen (bacterias, protozoarios, archaea y hongos) degradan la fibra de los forrajes, produciendo dióxido de carbono, metano, y ácidos grasos volátiles (Castillo-G., Burrola-B., Domínguez-V., & Chávez-M, 2014; Dayyani, Karkudi, & Zakerian, 2013; Getachew et al., 1998; McSweeney & Mackie, 2012; Mobasshar, Hummel, Blank, & Südekum, 2019; Rusell & Hespell, 1981); que en conjunto forman el gas que se mide con el progreso de la degradación durante un periodo de tiempo de incubación.

El objetivo de este trabajo fue determinar algunos constituyentes químicos de la materia seca del forraje cereal-ebo, frecuentemente empleados para calificar la calidad de un forraje.

#### 5.4. Materiales y métodos

El estudio se realizó en la tabla agrícola “San Juan” del Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México. El sitio se ubica a 19° 29' 39" de latitud norte y 98° 51' 40.2" de longitud oeste, a 2310 msnm. El clima es templado subhúmedo, el menos húmedo de los subhúmedos (CbW<sub>0</sub>wi'g), con lluvias en verano desplazadas hacia el otoño. Precipitación promedio anual de 618.5 mm, temporada de lluvias de junio a octubre (77.94% de la precipitación total) y 5.2% de la precipitación total en el invierno, con verano fresco largo, temperatura media anual es 16.4 °C, siendo los meses calurosos abril (28.1 °C) y mayo (28.0 °C) y los meses más fríos diciembre (3.4 °C) y enero (2.9 °C; García, 1987).

Los cereales estudiados fueron avena variedad Chihuahua, y triticale variedad Siglo XXI y variedad Bicentenario, asociados a cinco niveles de ebo: 100-0, 75-25, 50-50, 25-75 y 0-100% (cereal-ebo), en condiciones de temporal del verano-otoño de 2017, en un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial y tres repeticiones (Gomez & Gomez, 1984). Se sembraron 45 parcelas experimentales de 6 m de largo y 4 m de ancho (área de 24 m<sup>2</sup>). En total se sembró 240 g de semilla cereal-ebo (equivalente a 100 kg de semilla ha<sup>-1</sup>), al voleo el día 7 de julio de 2017; la semilla se tapó a mano con rastrillo. Se tomaron muestras del forraje en pie en septiembre 3, septiembre 10, septiembre 15, septiembre 25, octubre 7 y octubre 21 de 2017. Para colectar muestras del forraje se colocó al azar, en dos ocasiones, una unidad de muestreo de forma circular de 30 cm de diámetro (0.071 m<sup>2</sup>). Se cortó el forraje dentro de la unidad de muestreo a nivel del suelo. El forraje se colocó en bolsas de plástico las cuales se identificaron con el nombre del cereal, el porcentaje de ebo en la combinación y fecha de muestreo.

Con muestras del forraje de los monocultivos de avena variedad Chihuahua, triticale variedad Bicentenario, triticale variedad Siglo XXI y ebo, se elaboraron cinco combinaciones de cereal:ebo (100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100%) con el fin de determinar el contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro, materia

orgánica, extracto etéreo y la digestibilidad de la materia seca, en función del porcentaje del ebo en el forraje cosechado. Las combinaciones formadas con muestras de cada cereal y ebo, fueron molidas en un molino marca Willis equipado con una criba de 1 mm. Una vez molidas las muestras individuales se formaron las combinaciones avena-ebo y triticale-ebo para cumplir con los porcentajes mencionados.

Se determinó el contenido de nitrógeno total por el método micro-Kjeldahl (Bremner, 1965; Guebel, Nudel, & Giuliatti, 1991; PanReac-AppliChem, 2018; Undersander et al., 1993). El contenido de nitrógeno obtenido se multiplicó por 6.25, para calcular el contenido de proteína cruda (AOAC, 1980; FAO, 2011; Undersander et al., 1993), de cada combinación cereal-ebo. El contenido de materia seca, fibra cruda, materia orgánica y extracto etéreo se determinó siguiendo los procedimientos convencionales de laboratorios (AOAC, 1980; Undersander et al., 1993). Los resultados para proteína cruda, fibra detergente neutro y extracto etéreo se reportaron en base seca.

Para conocer cómo sería la digestión en el rumen de bovinos lecheros, las muestras de cada asociación y combinación cereal-ebo fueron incubadas con líquido ruminal de un bovino fistulado, para determinar la producción de gas. Una porción de 0.5 g de cada combinación (de las tres asociaciones cereal-ebo), se colocó en frascos de vidrio ámbar con capacidad de 125 mL. Se agregó 90 mL de líquido ruminal estandarizado con un flujo continuo de CO<sub>2</sub> y se cerraron herméticamente. Se incluyeron tres frascos como blancos, que sólo contenían inóculo ruminal. Los frascos se colocaron en un baño maría a 39 °C y se midió la presión de gas en los siguientes intervalos de tiempo 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72, 96 h de incubación, con un manómetro manual (escala de 0 a 1 kg cm<sup>-2</sup>). Las lecturas de presión (kg cm<sup>-2</sup>) se transformaron a volumen de gas con la ecuación de regresión lineal,  $V=(P+0.0145) (0.018)^{-1}$  (Orskov & McDonald, 1979). Los datos de volumen de gas y tiempo de incubación se usaron para obtener el volumen fraccional (Vf). Las variables de la cinética de producción de gas: volumen máximo de gas producido (Vmax), fase de retardo

(L) y tasa de producción de gas (S), se obtuvieron mediante un modelo logístico. El líquido ruminal se obtuvo de un bovino Holstein alimentado con forraje. El líquido ruminal se filtró con gasas y se mezcló con una solución mineral reducida en proporción de 1:9 v/v. La solución mineral reducida provee minerales y nutrientes al medio acuoso in vitro para el proceso fermentativo y contenía por L de solución: 4 g  $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ ; 0.45 g  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ; 0.45 g  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0.45g  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 0.90 g NaCl; 0.18 g  $\text{MgSO}_4$ ; 0.07 g  $\text{CaCl}_2$ ; 50 mL de agua destilada; 2 mL NaOH (1N); 0.5 g  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 0.5 g L-cisteína; una gota de rezarsurina. La incubación fue en baño maría a 39 °C con flujo continuo de  $\text{CO}_2$ . Al final de la incubación se filtró el contenido de los frascos con papel filtro y se secaron a 60 °C por 24 h; las muestras se pesaron para calcular la MS residual y calcular la DIVMS.

A falta de repeticiones de campo o de unidades experimentales, se elaboraron modelos de regresión lineal simple,  $Y_i = \beta_{0i} + \beta_{1i}X + \varepsilon_{ij}$ , para cada determinación química como variables continuas ( $X_i$ ), a los cuales se les agregó una variable cualitativa o categórica ( $D$ ) para las tres combinaciones con valores de 0 o 1 (Kutner et al., 2005; Myers, 1990; Rawling et al., 1998). El modelo de regresión que resultó fue  $Y_{ij} = \beta_0 + \beta_1X_i + \beta_2D_1 + \beta_3D_2 + \varepsilon_{ij}$ , sustituyendo los valores para la variable categórica,  $D_1 = 1$  y  $D_2 = 0$  para avena variedad Chihuahua,  $D_1 = 0$  y  $D_2 = 1$  para triticale variedad Bicentenario y  $D_1 = 0$  y  $D_2 = 0$  triticale variedad Siglo XXI, se obtuvieron tres modelos de regresión con la misma pendiente y variable continua:  $Y_i = (b_0 + b_2) + b_2X_i + \varepsilon_i$  para avena variedad Chihuahua,  $Y_i = (b_0 + b_3) + b_2X_i + \varepsilon_i$  para triticale variedad Bicentenario, y  $Y_i = b_0 + b_2X_i + \varepsilon_i$  para triticale variedad Siglo XXI.

El nivel de significancia de los coeficientes de regresión para  $D_1$  y  $D_2$  menor a 0.05, revela que “las líneas, para los tres modelos de regresión, son paralelas y por lo tanto tienen la misma tasa de cambio en el contenido de proteína, fibra detergente ácido, materia orgánica y extracto etéreo; por el contrario, un nivel de significancia mayor a 0.05, revela que una de las líneas no es paralela con respecto a otra y por lo tanto hay efecto de la asociación cereal-ebo.

Como las líneas no fueron paralelas y se rechazó la hipótesis nula respectiva, no se incluyó el término  $\beta_4(D_1 * D_2)$  en el modelo de regresión y se procedió a ajustar modelos de regresión individuales y a comparar los coeficientes de regresión por intervalo de confianza. El valor del intercepto, representó el contenido promedio del constituyente químico en el forraje de los cereales como monocultivos, y el valor de la pendiente, la tasa de cambio en el constituyente químico conforme aumentó el porcentaje de ebo en el forraje cosechado.

### **5.5. Resultados y discusión**

El contenido de materia seca, cenizas, materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro y extracto etéreo se presentan el Cuadro 8. A falta de repeticiones estadísticas se ajustaron los datos a un modelo de regresión simple, excepto para el contenido de cenizas. Esto con el fin de probar diferencias o similitudes estadísticas (Kutner et al., 2005; Myers, 1990; Rawling et al., 1998).

Se rechazó la hipótesis de las líneas paralelas con igual tasa de cambio en el contenido de materia orgánica, proteína cruda, fibra detergente neutro y extracto etéreo por cada unidad porcentual que incrementará el porcentaje de ebo, en el forraje cosechado de cada asociación (Figura 6 y 7). Por lo tanto, se ajustaron modelos individuales para cada constituyente químico y asociación cereal ebo (Cuadro 9 y 10).

Los modelos de regresión que describieron la tasa de cambio en el contenido de materia orgánica ( $b_1 X_i$ ) no fueron significativos a un valor de  $p < 0.05$ , pero sí a un valor de  $p > 0.10$ ; y explicaron más del 69% de la variabilidad observada, en este constituyente químico. La tendencia fue a disminuir el contenido de materia orgánica en 0.462, 0.608 y 0.603 kg por tonelada de materia seca, por cada unidad porcentual que aumentó el ebo en el forraje cosechado. El coeficiente de regresión para el intercepto ( $b_0$ ) fue diferente a una probabilidad de 0.05, revelando que se cosechó 2.59 kg menos de materia orgánica en el forraje del triticale variedad Siglo XXI que en el forraje de avena (Cuadro 9). Los modelos de regresión para el contenido de proteína cruda fueron significativos a una probabilidad de 0.10 y explicaron el 70.4, 99.2, 65.9% de la variabilidad



observada en el contenido de proteína cruda del forraje de avena, triticale bicentenario y triticale Siglo XXI, respectivamente. El incremento en el contenido de proteína cruda fue mayor en avena (0.99), seguido de triticale Bicentenario (0.86) y finalmente triticale Siglo XXI (0.64 kg t<sup>-1</sup> MS), por cada unidad porcentual de aumento en el porcentaje de ebo. Como monocultivos los triticales produjeron forraje con mayor contenido de proteína que el monocultivo de avena (95 kg t<sup>-1</sup> MS), 31.7 kg t<sup>-1</sup> MS el triticale Siglo XXI y 11.0 kg t<sup>-1</sup> MS el triticale Bicentenario. Para fibra detergente neutro la tendencia fue a disminuir conforme aumentó el porcentaje de ebo en el forraje cosechado.

Cuadro 8. Algunos constituyentes químicos de la materia seca del forraje cosechado de las asociaciones cereal-ebo, estudiadas en esta investigación.

Cereal	Ebo (%)	MS (%)	CEN (%)	MO (%)	PC (%)	FDN (%)S	EE (%)
Septiembre 25, 2017							
Avena	0	94.99	11.32	83.91	9.20	69.00	1.96
Avena	25	94.77	15.27	79.52	12.24	66.11	2.22
Avena	50	94.11	14.34	79.88	14.57	60.36	1.36
Avena	75	94.77	15.72	79.28	17.55	56.77	1.97
Triticale B	0	94.85	10.34	84.77	10.52	71.13	1.42
Triticale B	25	---	---	---	---	---	---
Triticale B	50	94.93	13.17	82.18	14.91	62.64	1.27
Triticale B	75	95.07	14.54	81.52	17.45	58.58	1.72
Triticale XXI	0	95.28	10.65	85.04	10.80	71.45	2.04
Triticale XXI	25	94.71	14.05	80.51	17.27	59.71	1.60
Triticale XXI	50	94.86	13.05	81.90	15.40	60.82	2.51
Triticale XXI	75	94.64	15.78	78.89	16.85	57.62	1.96
Ebo común	100	95.00	17.11	78.25	18.98	51.67	1.87
Octubre 17, 2017							
Avena	0	95.93	10.03	86.18	9.24	66.41	2.90
Avena	25	95.89	11.14	84.90	9.91	60.41	3.05
Avena	50	95.49	11.85	83.77	12.45	61.55	2.47
Avena	75	95.42	14.04	81.63	14.04	58.90	2.37
Triticale B	0	95.04	13.33	81.92	7.03	79.17	1.19
Triticale B	25	94.76	13.38	81.56	9.29	73.06	1.61
Triticale B	50	94.73	14.89	79.73	13.23	68.00	1.80
Triticale B	75	94.69	16.42	78.50	14.43	64.20	1.44
Triticale XXI	0	95.04	13.33	81.92	7.03	79.17	1.19
Triticale XXI	25	94.82	15.32	79.78	8.77	70.22	1.40
Triticale XXI	50	94.81	14.80	80.17	12.23	60.64	1.79
Triticale XXI	75	93.22	20.57	73.35	11.85	65.70	1.75
Ebo común	100	95.36	11.63	83.92	16.12	53.35	2.05

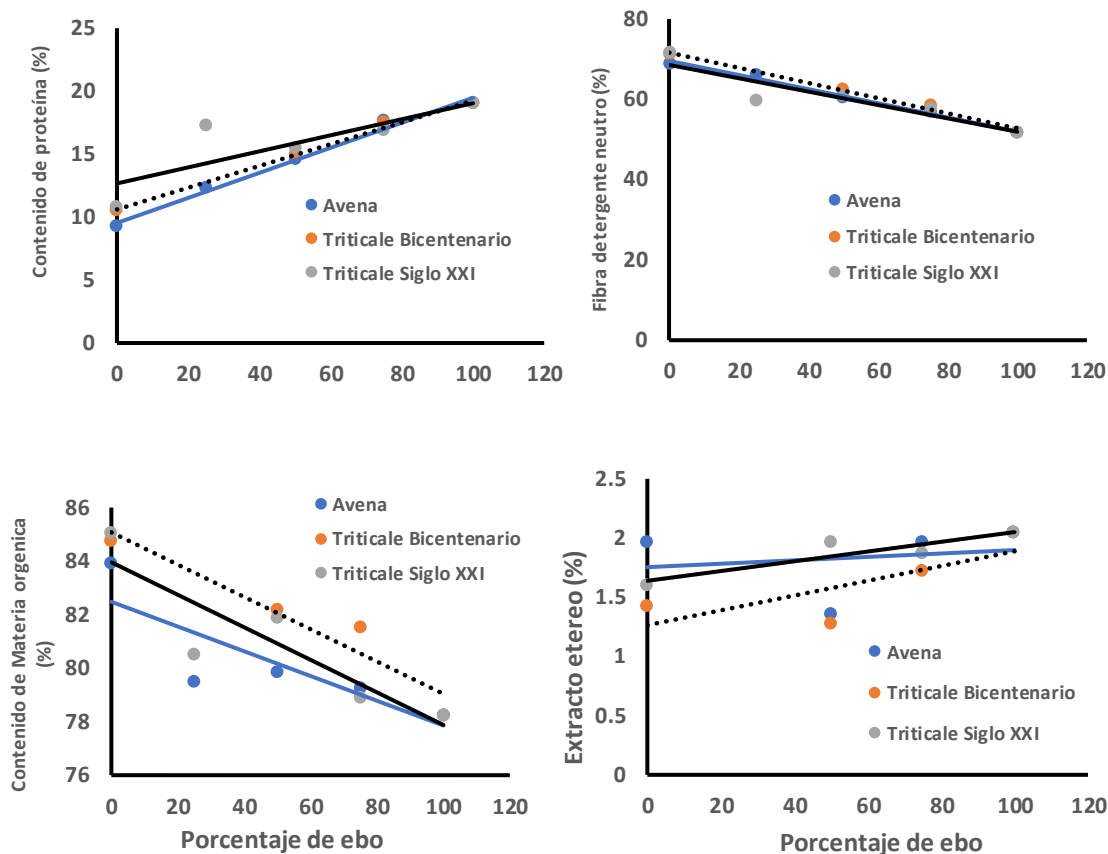


Figura 6. Contenido de proteína cruda, de fibra detergente neutro y de materia orgánica y extracto etéreo del forraje cosechado en septiembre 25 de 2017.

Solo los modelos de regresión para contenido de proteína en el forraje de avena y de triticale Siglo XXI fueron significativos ( $p < 0.05$ ) y explicaron el 98.6 y 83.01% de la variabilidad observada en el contenido de fibra detergente neutro. La disminución fue mayor en el forraje de triticale Siglo XXI ( $2.25 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ) y menor en el forraje de avena ( $1.89 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ). La cantidad de fibra detergente neutro por tonelada de forraje de avena, triticale Bicentenario y triticale Siglo XXI fue de 770.5, 685.8 y 716.4 kg. Los modelos de regresión para este constituyente químico en el forraje de avena y triticale Siglo XXI explicaron 98.6 y 83.01% ( $p < 0.05$ ). La tendencia fue a disminuir con el incremento en el porcentaje de ebo en 2.25 y  $1.89 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$  en la asociación triticale Bicentenario y avena (Cuadro 9).

Cuadro 9. Coeficientes de correlación de los modelos de regresión para algunos constituyentes químicos en la materia seca del forraje cosechado de la asociación cereal-ebo, en septiembre 25 de 2017.

Cereal asociado al ebo	a	b(%Ebo)	R2
Materia orgánica (%)			
Avena Chihuahua	82.48 ± 1.059 <sup>b</sup> (p<0.0001)	-0.0462 ± 0.0173 <sup>a</sup> (p=0.0775)	0.7043
Triticale Bicentenario	83.96 ± 1.12 <sup>ab</sup> (p<0.0001)	-0.0608 ± 0.018 <sup>a</sup> (p=0.0447)	0.7871
Triticale Siglo XXI	85.07 ± 0.83 <sup>a</sup> (p<0.0001)	-0.0603 ± 0.012 <sup>a</sup> (p=0.0396)	0.9224
Proteína cruda (%)			
Avena Chihuahua	9.53 ± 0.38 <sup>c</sup> (p<0.0001)	0.099 ± 0.006 <sup>a</sup> (p=0.099)	0.7043
Triticale Bicentenario	10.60 ± 0.29 <sup>b</sup> (p=0.0002)	0.086 ± 0.004 <sup>b</sup> (p=0.0072)	0.9923
Triticale Siglo XXI	12.67 ± 1.62 <sup>a</sup> (p=0.0043)	0.064 ± 0.026 <sup>c</sup> (p=0.0949)	0.6597
Fibra detergente neutro (%)			
Avena Chihuahua	71.64 ± 1.09 <sup>b</sup> (p=0.0002)	-0.189 ± 0.016 <sup>b</sup> (p=0.0072)	0.9856
Triticale Bicentenario	68.58 ± 2.57 <sup>b</sup> (p=0.0001)	-0.167 ± 0.042 <sup>b</sup> (p=0.949)	0.6597
Triticale Siglo XXI	77.05 ± 3.59 <sup>a</sup> (p=0.0002)	-0.225 ± 0.055 <sup>ab</sup> (p=0.0314)	0.8301
Extracto etéreo (%)			
Avena Chihuahua	1.96 ± 0.28 <sup>a</sup> (p=0.0058)	-0.002 ± 0.004 <sup>a</sup> (p=0.7286)	0.0462
Triticale Bicentenario	1.30 ± 0.20 <sup>b</sup> (p=0.0234)	-0.005 ± 0.003 <sup>a</sup> (p=0.2517)	0.5600
Triticale Siglo XXI	1.99 ± 0.30 <sup>a</sup> (p=0.0067)	0.00008 ± 0.0048 <sup>b</sup> (p=0.9879)	0.0001

En la Figura 7 se presentan las líneas de regresión que describieron la tendencia en el contenido de los constituyentes químicos analizados en el forraje cosechado en el mes de octubre. Claramente se observa que las pendientes son diferentes y por lo tanto las tasas de cambio del mismo constituyente en el forraje de las asociaciones cereal-ebo.

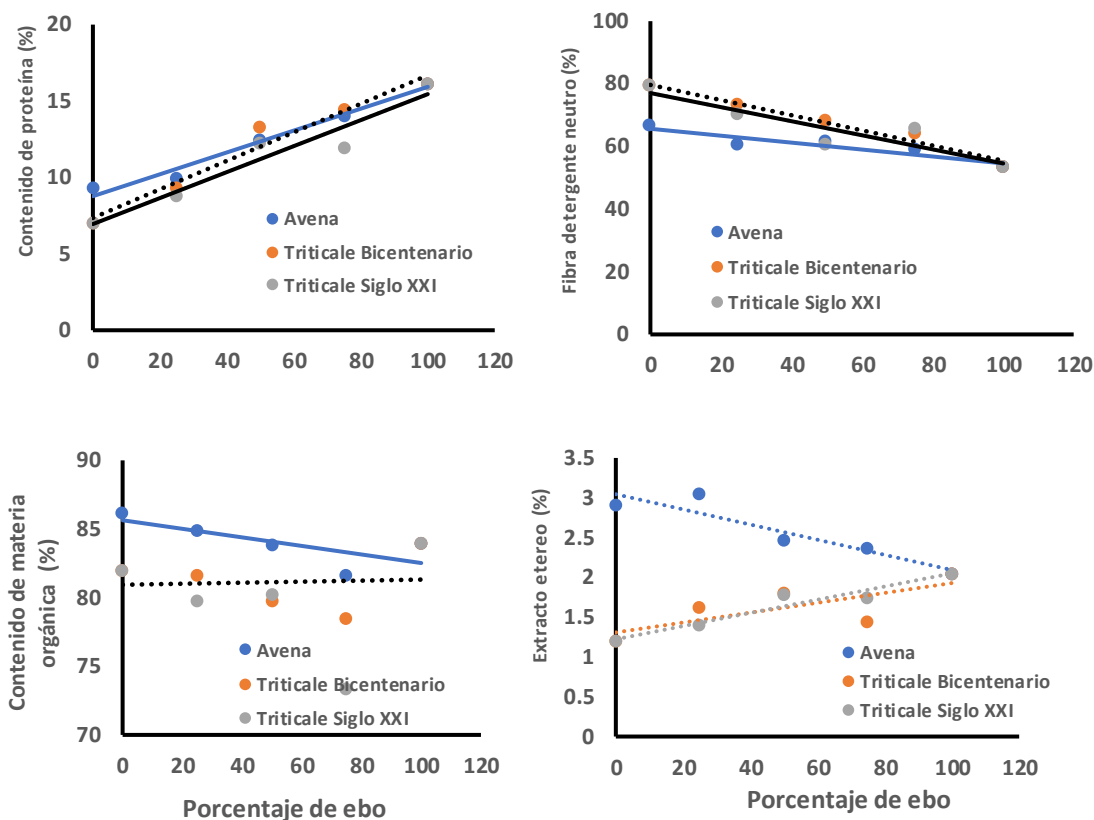


Figura 7. Contenido de proteína cruda, de fibra detergente neutro y de materia orgánica y extracto etéreo del forraje cosechado en octubre 21 de 2017.

No fue posible describir los cambios en el contenido de materia orgánica ( $b_1X_i$ ) con modelos de regresión como se esperaba, estos no fueron significativos ( $p>0.05$ ), por lo que se interpretan los resultados con base en el valor de los coeficientes de regresión de los modelos individuales ajustados. Aun así, con base en la interpretación de los coeficientes para el intercepto ( $b_0$ ), se puede mencionar que el contenido de materia orgánica fue mayor en el forraje de avena ( $856.5 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ) que en el forraje de los triticales Bicentenario ( $809.9 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ) y Siglo XXI ( $803.1 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ). Los modelos de regresión para proteína cruda explicaron el 97.8, 96.4 y 92.3% de la variabilidad observada en el forraje de avena, triticales Bicentenario y triticales Siglo XXI, para el contenido de proteína. En promedio, se cosecharon  $16.2 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$  de proteína cruda con el forraje del monocultivo avena ( $87.7$ ) que con los triticales Bicentenario ( $73.6$ ) y Siglo XXI ( $69.5 \text{ kg t}^{-1} \text{ MS}$ ). La tasa de aumento en el contenido de proteína cruda fue menor

en la asociación avena-ebo, 0.72 g de proteína por kilogramo de MS por unidad porcentual de aumento en el porcentaje de ebo, que en las asociaciones de ebo con los triticales Bicentenario (0.93) y Siglo XXI (0.85 g de proteína kg<sup>-1</sup> MS por cada unidad porcentual de aumento en el ebo).

Para el contenido de fibra cruda, los modelos de regresión explicaron el 85.8, 96.7 y 63.01% de la variabilidad observada en el forraje de la asociación avena-ebo, triticale Bicentenario-ebo y triticale Siglo XXI, respectivamente. La tendencia fue a disminuir con aumento en el porcentaje de ebo en 1.10, 2.42 y 2.25 kg t<sup>-1</sup> MS. En promedio, la disminución fue menor en el forraje del monocultivo de triticales Bicentenario (2.42) y del Siglo XXI (2.25 kg t<sup>-1</sup> MS). Los modelos de regresión para contenido de extracto etéreo en el forraje de la asociación avena-ebo y triticale Siglo XXI fueron significativos ( $p < 0.05$ ) y explicaron el 85.9 y 92.6% de la variabilidad observada en el forraje de ambas asociaciones cereal-ebo. El forraje del monocultivo de avena tuvo 19.2 kg más de extracto etéreo por tonelada de forraje cosechado (30.4 kg t<sup>-1</sup> MS) que el forraje del monocultivo de triticale Siglo XXI (12.2 kg t<sup>-1</sup> MS). La tasa de cambio con el aumento en el porcentaje de ebo, en la asociación cereal-ebo, fue a disminuir en 0.095 kg con avena y a aumentar en 0.083 kg con triticale Siglo XXI, un resultado inesperado para el cual no se tienen una explicación.

El perfil del gas producido por la materia seca de las combinaciones cereal-ebo, incubada en líquido ruminal de vacas lecheras, en función del tiempo se presenta en la Figura 8. Curvas de forma sigmoidea describieron la producción de gas acumulado, revelando tres fases: lenta o fase Lag, producción exponencial de gas, y máxima producción de gas con estabilización de la misma. Considerando que la mayor producción de gas en la fermentación *in vitro* de la materia seca, se originó por la liberación de CO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub> y ácidos grasos volátiles de cadena corta debido a la degradación de la celulosa, hemicelulosa y otros polisacáridos de la fibra del forraje incubado por la actividad de los microorganismos del rumen (Castillo-G., Burrola-B., Domínguez-V., & Chávez-M, 2014; Dayyani, Karkudi, & Zakerian, 2013; McSweeney & Mackie, 2012; Mobasshar, Hummel, Blank, &

Südekum, 2019; Rusell & Hespell, 1981), se interpretó que la producción de gas reflejó el proceso de digestión por los microorganismos del rumen de la materia seca cereal-ebo incubada.

Cuadro 10. Coeficientes de correlación de los modelos de regresión para algunos constituyes químicos en la materia seca del forraje cosechado de la asociación cereal-ebo, en octubre 21 de 2017.

Cereal asociado al ebo	a	b(%Ebo)	R2
----- Materia orgánica (%) -----			
Avena Chihuahua	85.65 ± 1.014 <sup>a</sup> (p<0.001)	-0.031 ± 0.02 <sup>a</sup> (p=0.1563)	0.01563
Triticale Bicentenario	80.94 ± 1.86 <sup>b</sup> (p=0.0014)	0.0038 ± 0.0304 <sup>c</sup> (p=0.9095)	0.9636
Triticale Siglo XXI	80.31 ± 3.54 <sup>b</sup> (p=0.0002)	-0.0097 ± 0.0578 <sup>b</sup> (p=0.8771)	0.0093
----- Proteína cruda (%) -----			
Avena Chihuahua	8.77 ± 0.37 <sup>a</sup> (p=0.0002)	0.072 ± 0.006 <sup>b</sup> (p=0.0013)	0.9786
Triticale Bicentenario	7.36 ± 0.64 <sup>b</sup> (p=0.0014)	0.093 ± 0.010 <sup>a</sup> (p=0.0030)	0.9636
Triticale Siglo XXI	6.95 ± 0.87 <sup>b</sup> (p=0.0041)	0.085 ± 0.014 <sup>a</sup> (p=0.0093)	0.9227
----- Fibra detergente neutro (%) -----			
Avena Chihuahua	65.65 ± 1.59 <sup>b</sup> (p<0.0001)	-0.110 ± 0.026 <sup>b</sup> (p=0.0239)	0.8576
Triticale Bicentenario	79.65 ± 1.58 <sup>a</sup> (p=0.0001)	-0.242 ± 0.026 <sup>a</sup> (p=0.0025)	0.9672
Triticale Siglo XXI	77.05 ± 3.59 <sup>a</sup> (p=0.0002)	0.225 ± 0.059 <sup>a</sup> (p=0.0314)	0.8301
----- Extracto etéreo (%) -----			
Avena Chihuahua	3.04 ± 0.14 <sup>a</sup> (p=0.0002)	-0.0095 ± 0.0022 <sup>a</sup> (p=0.0236)	0.8587
Triticale Bicentenario	1.31 ± 0.19 <sup>b</sup> (p=0.0070)	0.0062 ± 0.0032 <sup>a</sup> (p=0.1498)	0.5527
Triticale Siglo XXI	1.22 ± 0.08 <sup>b</sup> (p=0.0007)	0.0083 ± 0.0013 <sup>a</sup> (p=0.0087)	0.9260

Con base en lo anterior, para ambas curvas la fase lag representó una acción lenta de los microorganismos del rumen sobre la fibra del forraje cereal-ebo, las primeras horas de incubación de las combinaciones triticale bicentenario-ebo, avena-ebo y ebo como monocultivo. La fase de digestión exponencial reveló la mayor actividad de los microorganismos del rumen sobre la fibra del forraje cereal-ebo durante un periodo de tiempo considerable, alrededor de 48 h, que

gradualmente fue disminuyendo conforme el tiempo se aproximó a las 72 h de incubación. Para las tres fases de digestión de la materia seca, del forraje cosechado en septiembre 25, se formados dos grupos: un primer grupo con combinaciones dos triticales Bicentenario-ebo (25 y 100%) y triticales Siglo XXI-ebo (50 y 100%) y otro avena-ebo y el resto de los triticales-ebo. Para el primer grupo la fase inicial de la digestión fue de 3 h y para el segundo de 8 h, representando el 4.2 y 11.1% del tiempo de incubación (72 h). La fase de mayor digestión fue 33 y 38 h, equivalente al 45.8 y 52.8% del tiempo de incubación, y a la fase de disminución en la digestión de la materia seca fue 36 y 30 h, siendo el 50.0 y 47.2% del tiempo de incubación, respectivamente. La duración de las fases inicial, exponencial y disminución de la digestión, de la materia seca para el corte de octubre 17, fue de 4, 38 y 30 h equivalentes al 5.5, 52.8 y 41.7% del tiempo de incubación, respectivamente.

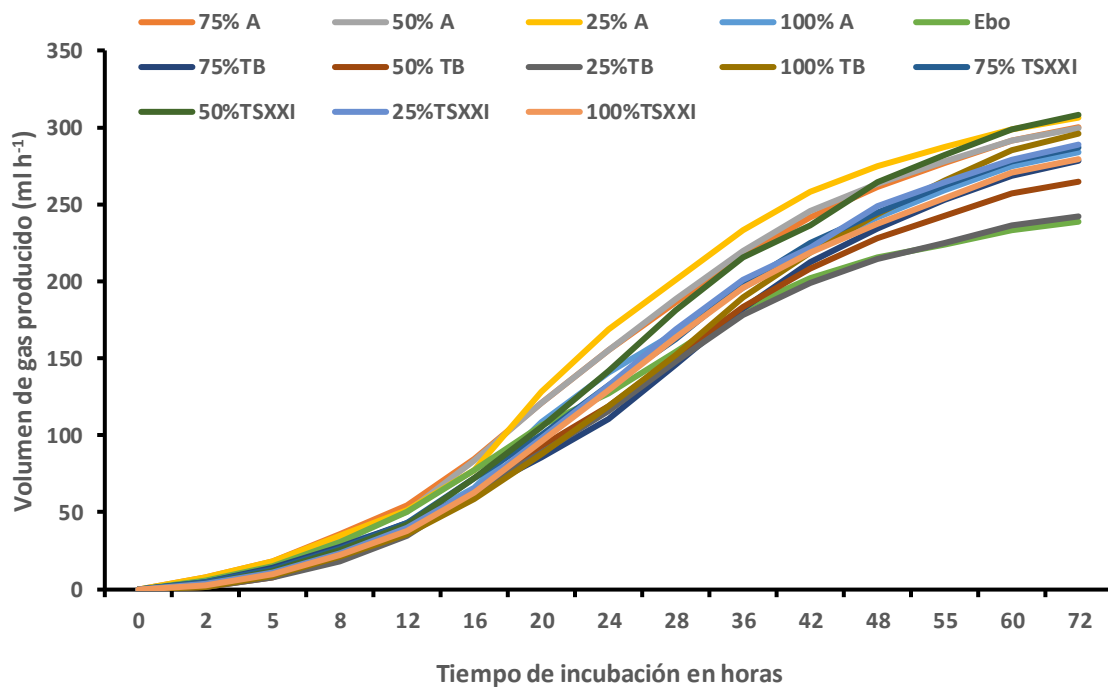
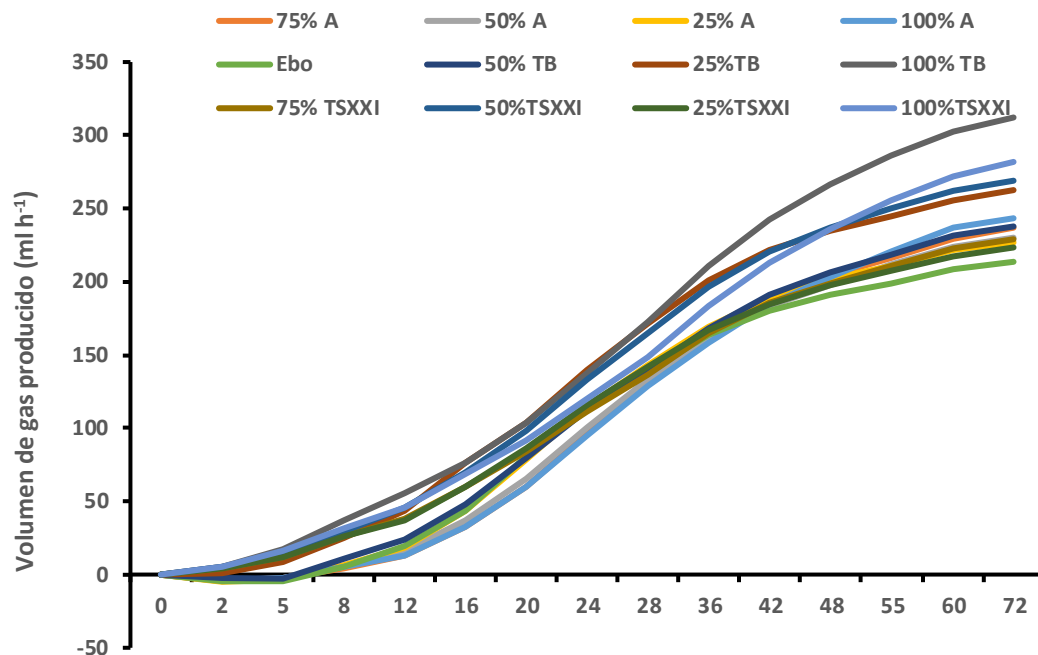


Figura 8. Curvas para producción de gas del forraje avena variedad Chihuahua-ebo, triticale variedad Bicentenario-ebo y triticale variedad Siglo XXI-ebo, cosechado en septiembre 25 y octubre 21 de 2017.



Los parámetros a, b y c para el modelo no lineal logístico ajustado a los datos de las curvas de producción de gas, se cambiaron por los símbolos: A,  $\mu_m$  y  $\lambda$  empleados al describir el crecimiento de bacterias, con el modelo logístico. El símbolo A se empleó para la máxima producción de gas con un continuo decremento en la tasa de producción de gas, el símbolo  $\mu_m$  para la máxima tasa creciente de la actividad de los microorganismos del rumen sobre la fibra del forraje de la asociación cereal-ebo y el símbolo  $\lambda$  para la fase lag que revela la actividad de los microorganismos en el proceso de digestión, ya que según Zwietering, Jongenburger, Rombouts y Triet (1990) tienen significado biológico.

Cuadro 11. Parámetros para los modelos de producción de gas (ml h<sup>-1</sup>) acumulado durante 72 horas de incubación del forraje cosechado en septiembre 25 de 2017, de las asociaciones cereal-ebo.

Parámetros					
Cereal: Ebo	a	b	c	Error estándar	Coficiente de determinación (R <sup>2</sup> )
Avena variedad Chihuahua					
75:25	223.70±6.18 <sup>a</sup>	49.20±17.53	0.142±0.015	10.5692	0.9894
50:50	216.31±5.99 <sup>a</sup>	45.52±16.72	0.145±0.016	10.6743	0.9885
25:75	237.23±5.92 <sup>b</sup>	43.97±15.66	0.153±0.016	11.233	0.9895
100:0	231.48±7.43 <sup>ab</sup>	40.04±13.72	0.129±0.014	11.6132	0.9875
Triticale variedad Bicentenario					
50:50	223.97±6.14 <sup>a</sup>	33.10±10.65	0.138±0.014 <sup>a</sup>	10.8764	0.9884
25:75	248.84±5.03 <sup>b</sup>	23.87±5.42	0.139±0.011 <sup>a</sup>	9.5000	0.9924
100:0	304.29±7.42 <sup>c</sup>	16.89±2.77	0.105±0.007 <sup>b</sup>	10.4631	0.9929
Triticale variedad Siglo XXI					
75:25	219.43±4.80 <sup>a</sup>	18.68±3.45	0.118±0.009 <sup>a</sup>	7.8546	0.9928
50:50	258.28±5.22 <sup>b</sup>	19.79±3.59	0.122±0.008 <sup>a</sup>	8.8043	0.9935
25:75	212.48±4.33 <sup>a</sup>	20.56±4.11	0.128±0.009 <sup>a</sup>	7.7186	0.9928
100:0	276.58±7.16 <sup>c</sup>	16.36±2.56	0.099±0.007 <sup>b</sup>	9.3347	0.9929

A = Fase final de la producción de gas debido a la disminución en la tasa de degradación de la materia seca.  $\mu_m$  = Fase de aceleración en la producción de gas a causa de la máxima actividad de los microorganismos de rumen sobre la materia seca del forraje incubado.  $\lambda$  = Fase inicial de producción de gas como consecuencia del inicio de la colonización y actividad de los microorganismos del rumen sobre la fibra del forraje incubado. EEE = Error estándar de la estimación  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}$ . R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación para el modelo exponencial.

Los modelos de regresión logística para la producción de gas por digestión *in vitro* de las combinaciones cereal-ebo explicaron el 98% de la variabilidad observada en la producción de gas, aceptándose que el modelo ajustado ayudó a entender el proceso de digestión de la materia seca de las combinaciones cereal-ebo, especialmente para las combinaciones triticale Siglo XXI, debido al menor valor para el error estándar de la estimación, por el modelo logístico (Cuadro 11). La materia seca de la avena sola y combinada con 50% de ebo tuvo la menor digestión a 72 h (A,  $p < 0.05$ ), la máxima tasa de digestión fue similar para todas las combinaciones de avena-ebo ( $\mu_m$ ), y menor digestión inicial fue para avena sola y combinada con 25% de ebo.

Para la materia seca del forraje cosechado en octubre 21, los modelos de regresión logística explicaron el 99% de la variación observada en la producción de gas. Los errores estándar de los modelos oscilaron de 8.60 a 12.54 ml h<sup>-1</sup> revelando desviaciones ligeras entre los valores observados y valores predichos (Cuadro 12). Las combinaciones de avena con ebo tuvieron similar tasa de digestión inicial ( $\lambda$ ) y tasa máxima de digestión ( $\mu_m$ ), y máxima digestión ( $p < 0.05$ ). En este caso se evidenció que la materia seca del ebo solo tuvo menor digestión que la materia seca de avena sola ( $p < 0.0$ ). La materia seca de los triticale Bicentenario y siglo XX1 combinada con ebo tuvo similar tasa de digestión inicial ( $\lambda$ ). Para triticale Bicentenario, la materia seca de la combinación con 75% de ebo fue más digerida que la materia seca del triticale sola ( $p < 0.05$ ). Sin embargo, ambas materias secas tuvieron la mayor digestión hasta las 72 h. La materia seca del triticale Siglo XXI con 50% de ebo tuvo la mayor digestión que la materia seca del triticale sola y combinada con 75% de ebo ( $p < 0.05$ ).

La digestibilidad de la materia seca de cada combinación de cereal-ebo en función del porcentaje de ebo se presenta en la Figura 9. La hipótesis para líneas paralelas y misma tasa de cambio en la digestibilidad de la materia seca por unidad porcentual de incremento en el ebo no fue aceptada ( $p > 0.05$ ), por lo que se ajustaron modelos individuales para cada genotipo del cereal asociado con el ebo, en cada fecha de cosecha.

Cuadro 12. Parámetros para los modelos de producción de gas (ml h<sup>-1</sup>) acumulado durante 72 horas de incubación del forraje cosechado en octubre 21 de 2017, de las asociaciones cereal-ebo.

Parámetros					
Avena:ebo	a	b	c	Error estándar	Coefficiente de determinación (Rr <sup>2</sup> )
Avena variedad Chihuahua					
75:25	285.47±6.41 <sup>a</sup>	16.60±3.36	0.118±0.009	11.6577	0.9905
50:50	284.95±6.41 <sup>a</sup>	18.77±3.91	0.125±0.010	11.2415	0.9914
25:75	291.38±5.71 <sup>a</sup>	21.92±4.62	0.136±0.010	10.7145	0.9928
100:0	264.63±7.72 <sup>b</sup>	18.53±4.36	0.116±0.011	12.4013	0.9882
0:100	228.76±4.59 <sup>c</sup>	16.43±2.98	0.125±0.009	8.2619	0.9926
Triticale variedad Bicentenario					
75:25	272.99±6.44 <sup>a</sup>	18.45±2.84	0.103±0.007 <sup>a</sup>	8.5873	0.9940
50:50	254.32±6.44 <sup>b</sup>	20.40±4.26	0.116±0.009 <sup>ab</sup>	10.0479	0.9913
25:75	231.41±4.92 <sup>c</sup>	23.89±5.16	0.129±0.010 <sup>b</sup>	8.6042	0.9927
100:0	286.89±8.24 <sup>a</sup>	21.47±4.35	0.107±0.008 <sup>a</sup>	11.1266	0.9913
Triticale variedad Siglo XXI					
75:25	275.71±6.94 <sup>a</sup>	18.84±3.69	0.112±0.009	10.6015	0.9916
50:50	293.99±7.88 <sup>b</sup>	20.97±4.81	0.118±0.010	12.5421	0.9899
25:75	275.54±7.23 <sup>c</sup>	21.44±4.84	0.118±0.010	11.4874	0.9904
100:0	265.17±6.86 <sup>a</sup>	22.13±5.13	0.121±0.010	11.1276	0.9904

A = Fase final de la producción de gas debido a la disminución en la tasa de degradación de la materia seca.  $\mu_m$  = Fase de aceleración en la producción de gas a causa de la máxima actividad de los microorganismos de rumen sobre la materia seca del forraje incubado.  $\lambda$  = Fase inicial de producción de gas como consecuencia del inicio de la colonización y actividad de los microorganismos del rumen sobre la fibra del forraje incubado. EEE = Error estándar de la estimación  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}}$ . R<sup>2</sup> = Coeficiente de determinación para el modelo exponencial.

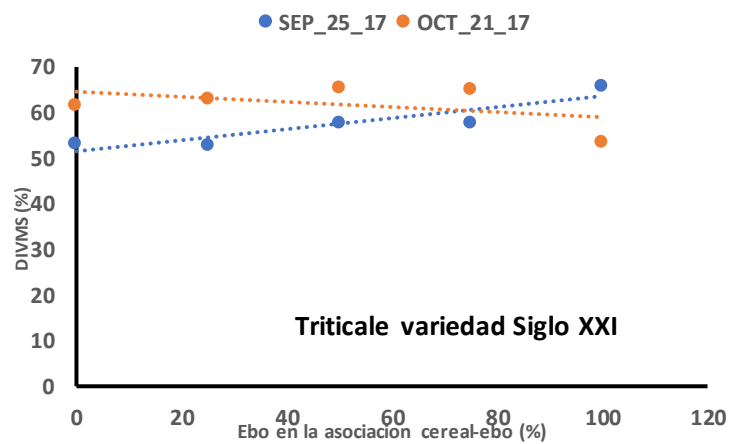
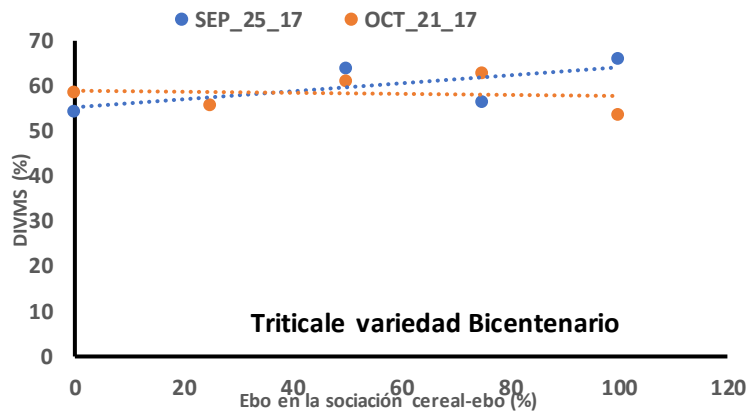
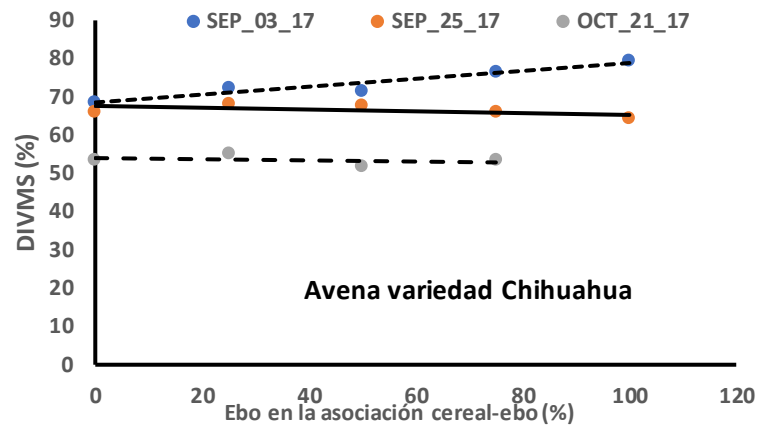


Figura 9. Líneas de regresión para digestibilidad in vitro por la técnica de producción de gas para cada genotipo de cereal combinado con ebo.

La mayoría de los modelos de regresión para la digestibilidad de la materia seca en función del porcentaje de ebo, en la combinación cereal-ebo, no fueron significativos ( $p > 0.05$ ), interpretándose que la digestibilidad de la materia seca de los cereales no fue afectada por la presencia de ebo, salvo excepciones para avena y el triticale Siglo XXI ( $p < 0.0$ ) cuyos modelos explicaron el 91.6 y 82.5% de la variabilidad observada en la digestibilidad in vitro y evidenciaron aumentos de 0.103 y 0.121 unidades porcentuales por cada unidad porcentual que aumenta el ebo, en la combinación.

### **5.6. Conclusión**

La combinación avena y triticale con ebo demostró que al aumentar el porcentaje de ebo se incrementó el contenido de proteína cruda, y disminuyó el contenido de materia orgánica y de fibra detergente neutro, independientemente del estado de madurez de las plantas del cereal al momento de la cosecha.

El combinar ebo con la avena, triticale Bicentenario y triticale Siglo XXI no tuvo efecto sobre el contenido de extracto etéreo.

El aumento en el porcentaje de ebo no tuvo efecto sobre la digestibilidad de la materia seca de los triticales Bicentenario y Siglo XXI. Sin embargo, las combinaciones avena-ebo causaron un aumento ligero en digestibilidad de la materia seca avena-ebo. Además, la digestibilidad de la materia seca fue mayor cuando las plantas de avena estaban en plena inflorescencia, que cuando estaban en grano maduro.

### **5.7. Literatura citada**

Association of Official Analytical Chemists (AOAC), (1980). Official Methods of Analysis, (11th ed). AOAC, Washington, DC, p. 125.

Bremner, J. M. (1965). Total Nitrogen 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methodsofsoilanb), 1149-1178.

Castillo-González, A., Burrola-Barraza, M., Domínguez-Viveros, J., & Chávez-Martínez, A. (2014). Rumen microorganisms and fermentation. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 46(3), 349-361.

Dayyani N., Karkudi K. & Zakerian A. (2013). International Journal of Advance *Biological and Biomedical Research*. 1(11):1397-1402.

- FAO. (2011). Quality assurance for animal feed analysis laboratories. FAO Animal *Production and Health Manual*. No. 14. Rome.
- García, E. (1987). Modificaciones al sistema climático de Koopen para la República Mexicana. UNAM. México, D.F.
- Guebel, D. V., Nudel, B. C., & Giuliatti, A. M. (1991). A simple and rapid micro-Kjeldahl method for total nitrogen analysis. *Biotechnology Techniques*, 5(6), 427-430.
- Jung, H. G., & Vogel, K. P. (1986). Influence of lignin on digestibility of forage cell wall material. *Journal of Animal Science*, 62(6), 1703-1712.
- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., & Li, W. (2005). *Applied linear statistical models* (5th ed.). Boston: McGraw-Hill Irwin.
- Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113.
- McDonald, P. R. S., Edwards, J. F. D., Greenhalgh & Morgan, C. A. (2002). *Animal Nutrition*. (5th ed.). New York: Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons. Inc.
- McSweeney, C., & Mackie, R. (2012). Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture. Micro-organisms and ruminant digestion: State of knowledge, trends and future prospects. *Background Study Paper (FAO)*, 61, 1-62.
- Mertens, D. R. (1993). Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. *Forage cell wall structure and digestibility*, (foragecellwalls), 535-570.
- Mobashar, M., Hummel, J., Blank, R., & Südekum, K. H. (2019). Contribution of different rumen microbial groups to gas, short-chain fatty acid and ammonium production from different diets-an approach in an in vitro fermentation system. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 103(1), 17-28.
- Mowat, D. N., Fulkerson, R. S., Tossell, W. E., & Winch, J. E. (1965). The in vitro digestibility and protein content of leaf and stem portions of forages. *Canadian Journal of Plant Science*, 45(4), 321-331.
- Myers, R. H. (1990). Classical and modern regression with applications, Raymond H. Myers. *Duxbury Classic Series*.
- Nykänen, A., Jauhiainen, L., & Rinne, M. (2009). Biomass production and feeding value of whole-crop cereal-legume silages. *Agronomy Research*, 7(2), 684-690.

- Orskov, E. R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(2), 499-503.
- PanReac-AppliChem. (2018). Nitrogen determination by Kjeldahl method. ITW Reagents. PanReac Quimica SLU. AppliChem GmbH. Nova Chimica Srl. Disponible en: [https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173\\_EN.pdf](https://www.itwreagents.com/uploads/20180114/A173_EN.pdf)
- Rawling O. J., Pantula S. & Dickey A. (1998). Applied regression analysis: A research tool. (2nd ed.). Springer New York.
- Undersander, D. J., Mertens, D. R., & Thiex, N. J. (1993). Forage analyses procedures. National Forage Testing Association, Omaha, NE, USA.
- Van Soest. (1967). Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science*, 26(1), 119-128.
- Yucel, C., & Avcı, M. (2009). Effect of different ratios of common vetch (*Vicia sativa* L.)-triticale (*Triticosecale* Whatt) mixtures on forage yields and quality in Cukurova plain in Turkey. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15(4), 323-332.
- Zaragoza, J. L. R., Martínez-Hernández, P. A., Villaseñor, E. M. (2015). Forage quantity and quality of oats -common vetch mixture at different seeding proportions. New Delhi, India: XXIII International Grassland Congress.
- Zwietering, M. H., Jongenburger, I., Rombouts, F. M., & Van't Riet, K. (1990). Modeling of the bacterial growth curve. *Appl. Environ. Microbiol.*, 56(6), 1875-1881.