

Contreo en surco y etapa de madurez sobre la producción y calidad del forraje de variedades de avena

Ramírez, S.¹*; Domínguez, D.²; Salmerón, J.J.³; Villalobos, G.² y Ortega, J.A.²

¹Universidad del Papaloapan. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Loma Bonita. Oaxaca. México.

²Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia y Ecología. Chihuahua. México.

³Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Cuauhtémoc. Chihuahua. México.

RESUMEN

El déficit hídrico es uno de los principales factores que limitan la producción de forrajes en las zonas áridas y semiáridas del mundo. Nuestra hipótesis fue que el sistema de labranza de captación de agua surcos con contras (SCC), podría incrementar el rendimiento de forraje de avena (*Avena sativa* L.), y que cosechar el forraje en la etapa de madurez fisiológica mejora su calidad. Del año 2005 al 2007, se midió el efecto del sistema de siembra: surcos con contras (SCC) y la etapa de madurez al corte: grano lechoso masoso (LM) y madurez fisiológica (MF), sobre el rendimiento y calidad de forraje, de cinco variedades de avena, establecidas bajo condiciones de temporal, en el noroeste del estado de Chihuahua, México. El diseño fue parcelas sub-subdivididas en bloques completos al azar, la parcela grande fue el sistema de siembra, la mediana la etapa de madurez al corte, y la parcela chica la variedad, los sitios (n=14) fueron las repeticiones. La composición química y la materia seca digestible (MSD) del heno de avena fueron medidas, sin tomar en cuenta el efecto de sistema de siembra SCC. La producción de materia seca fue 8,7% mayor (p<0,05) en SCC vs el tradicional plano sin surcos (PSS), y fue mayor para las variedades Karma y Cevamex. En LM y MF, el contenido de proteína bruta fue similar (p>0,05) con 9,50 y 9,20%; la fibra detergente neutro varió (p<0,05) de 54,9 a 50,2%; la fibra detergente ácido de 30,6 a 27,7% (p<0,05); la lignina de 3,1 a 2,8% (p<0,05) y la MSD de 65,0 a 67,3% (p<0,05), respectivamente. El sistema SCC, incrementó la producción de heno de avena. El valor nutricional fue igual entre las variedades. El heno de avena cosechado en MF rindió mayor producción de forraje con menor contenido de pared celular.

Forrow diking and maturity stage on yield and quality of varieties of oat fodder

SUMMARY

The water deficit is one of the main factors limiting agricultural production in arid and semi-arid areas of the world. Our hypothesis was that the furrow diking (FD) planting system could increase oat fodder (*Avena sativa* L.) yield, and that harvesting fodder at physiological maturity stage improves its quality. From 2005 to 2007, the furrow diking (FD) planting system and harvesting at milk dough (MD) and physiological maturity (PM) stages were measured for their effects on yield and fodder quality of five varieties of oats grown under rainfed conditions in the northwest region of the state of Chihuahua, Mexico. The design was sub-subdivided plots in random complete blocks; site was repetition, the large plot was the planting system, the medium-size plot the maturity stage at harvest, and the small plot the variety. The chemical composition and dry matter digestibility (DMD) of the oat hay were measured without taking into account the effect of the planting system FD. Dry matter yield was 8.7% higher (p<0.05) in FD vs the traditional flat planting (FP), and was higher for the varieties Karma and Cevamex. In MD and PM, crude protein content was similar (p>0.05) with 9.50 and 9.20%; neutral detergent fiber varied (p<0.05) from 54.9 to 50.2%; acid detergent fiber from 30.6 to 27.7% (p<0.05); lignin from 3.1 to 2.8% (p<0.05) and DMD from 65.0 to 67.3% (p<0.05), respectively. The FD system increased production of oat hay. The nutritional value was similar for the varieties. Oat hay harvested at PM provided greater fodder production with lower content of cell wall.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Cereales de grano pequeño.
Composición química.
Heno.
Labranza.
Secano.

ADDITIONAL KEYWORDS

Small grain cereals.
Chemical composition.
Hay.
Tillage.
Rainfed.

INFORMACIÓN

Cronología del artículo.
Recibido/Received: 11.12.2014
Aceptado/Accepted: 15.6.2015
On-line: 16.9.2015
Correspondencia a los autores/Contact e-mail:
sramirez_28@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La avena (*Avena sativa* L.) es un cultivo que puede utilizarse para la producción de grano y forraje. Como forraje, la avena puede ofrecerse en pastoreo, como heno o como ensilaje. Durante el invierno, la avena forrajera representa una fuente de alimento de excelente calidad nutricional para el ganado cuando otros fo-

rrajes son escasos. En México, el estado de Chihuahua es la entidad del país que más superficie destina para cultivar avena forrajera, solo en el año 2012 se establecieron 261636 ha, lo que representó el 29,1% del total nacional, con un rendimiento local promedio de 11,4 t ha⁻¹ de forraje (SIACON, 2012). En la región noroeste del estado, el heno de avena se cultiva principalmente bajo condiciones de secano y es el principal recurso

forrajero con el que se cuenta para alimentar al ganado, cuyo principal propósito es la producción de leche (Jurado y Lara, 2014). Sin embargo, estas zonas presentan pobre distribución de lluvias, con uno o dos eventos fuertes e intensos en la mayoría de los años (CONAGUA, 2011), lo que puede limitar el rendimiento de los cultivos. Como alternativa, se ha sugerido la implementación de surquearías con contras (pileteo); que permite mayor captación de agua, disminuye los escurrimientos y previene la erosión del suelo (Ortíz, 2004). Con esta práctica se ha logrado incrementar la producción de los cultivos de sorgo y trigo en 62,0 y 23,0% (Tewelde *et al.*, 1993), de maíz en 13,2% (Howell *et al.*, 2002), en grano y forraje de sorgo en 48,4 y 46,7% (Brhane *et al.*, 2006). Aunque esta técnica se ha aplicado mayormente para producir granos, es evidente que también puede implementarse en la producción de forrajes.

Otro factor que influye sobre la producción y valor nutricional del forraje es la etapa de madurez. Típicamente conforme la planta madura se reduce la relación hoja/tallo, se incrementa el contenido de materia seca y de las paredes celulares, y se disminuye la digestibilidad y el contenido de proteína. Se asume que manipulando la etapa de madurez de las plantas al corte se pueden obtener forrajes con una composición química variable (Coblentz *et al.*, 2000), adecuados para sistemas de alimentación y/o estado fisiológico diferentes en rumiantes. En avena, se ha mencionado que ésta debe ser cosechada en la etapa de grano lechoso a masoso para maximizar la producción de nutrientes y biomasa en el forraje (Collar y Akslan, 2001; Fohner, 2002; Espitia *et al.*, 2012), debido a que no se observan ventajas en valor nutricional al retrasar la cosecha más allá de estas etapas de madurez (Kilcher y Troelson, 1973). Sin embargo, en otros estudios se ha observado que cuando la avena es cosechada en etapas más avanzadas de madurez se puede mejorar el valor nutricional del forraje (Khorasani *et al.*, 1997; Chatterton *et al.*, 2006; Rosser *et al.*, 2013).

En México existe escasa investigación orientada al empleo de tecnologías que maximicen la producción y el valor nutricional del forraje de avena. Dada la escasa

y mala distribución de la lluvia en las zonas agrícolas áridas y semiáridas del país, se requiere de sistemas de labranza de captación de agua para incrementar la producción de forraje, así como la evaluación de la etapa de madurez al corte en que el forraje cosechado contiene mayor cantidad de nutrientes. Por lo anterior, el objetivo fue evaluar el impacto del sistema de siembra en surco con contras y de la etapa de madurez al corte sobre la producción y el efecto de la etapa de madurez sobre el valor nutricional del heno de cinco variedades de avena cultivadas bajo condiciones de secano en el noroeste del estado de Chihuahua.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se efectuó en el noroeste del Estado de Chihuahua, en la región conocida como la Baja Babócora, principal zona productora de avena en México. Esta región se ubica entre las 28° 15' a 29° 16' LN, y 106° 50' a 107° 29' LO; con altitudes entre 1423 y 2210 msnm. Los suelos dominantes son del tipo leptosol y phaeozem; con estructura arcillo arenoso (85%), arcilloso (10%) y arenoso (5%). La precipitación promedio anual es de 438,8 mm, con isoyetas de 280 a 600 mm durante la estación de crecimiento que inicia la tercera semana de junio (Ramírez y Ávila, 1996). El clima dominante de la región es semiseco y templado [BS₁kw(e)], la temperatura media anual es de 13,7°C, con mínima de 6,2°C y máxima de 20,8°C; con enero como mes más frío (INEGI, 2014).

El experimento fue conducido en los años 2005, 2006 y 2007, en cada sitio (n= 14) se establecieron las variedades de avena *Bachíniva*, *Karma*, *Cevamex*, *Cuauhtémoc* y *Babócora* del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), siempre establecidas en el mes de julio, en dos sistemas de siembra: convencional con superficie plana sin surcos (PSS) y en surcos con contras (SCC); bajo condiciones de temporal en cinco (n= 5), seis (n= 6) y tres (n= 3) sitios por año, respectivamente. Los sitios se encuentran localizados en los municipios de Cuauhtémoc, Bachíniva y Namiquipa del estado de Chihuahua (**tabla I**).

Tabla I. Descripción de las variables de suelo y precipitación pluvial total ocurrida en los sitios durante la estación de crecimiento de las variedades de avena para los años 2005, 2006 y 2007 (Description of the variables of soil and rainfall occurred in all sites during the growing season of oat varieties for the years 2005, 2006, and 2007).

Sitio (año)	Nitratos (kg ha ⁻¹)	Fósforo (ppm)	Materia orgánica (%)	Saturación (%)	pH H ₂ O (01:20)	Textura	Precipitación (mm)
Teseachi (2005)	37,6	19,28	1,815	61,5	7,92	franco	503
Sto. Tomás (2005)	9,5	29,88	0,838	27,5	5,36	franco arenoso	278
Sta. Ana (2005)	10,8	50,12	1,466	34,5	5,11	franco arcillo arenoso	260
Chopeque (2005)	38,9	36,22	1,815	30,0	5,11	franco arenoso	180
L. Cárdenas (2005)	15,2	21,34	1,745	35,0	5,26	franco	150
Campo 73 (2006)	8,0	32,63	0,698	27,5	4,95	franco arenoso	280
Campo 60 (2006)	16,6	50,40	0,977	32,0	5,07	franco arcillo arenoso	541
Campo 36 (2006)	20,3	37,59	1,047	32,5	5,93	franco arenoso	331
El Solito, Gro. (2006)	10,5	27,40	2,233	25,0	4,93	franco arenoso	328
Páramo (2006)	5,3	35,66	1,326	31,5	5,06	franco arcillo arenoso	332
Campo 26 (2006)	24,3	17,21	1,745	33,5	5,13	franco arcillo arenoso	267
Sta. Maria (2007)	8,3	30,98	1,117	31,5	5,21	franco arcillo arenoso	346
Campo 36 (2007)	—	—	—	—	—	—	407
Páramo (2007)	—	—	—	—	—	—	467

Tabla II. Significancia de efectos principales y sus interacciones en el análisis de varianza (Significance of main effects and interactions in the analysis of variance).

Efecto	Producción de forraje		Composición química							
	GL	MS	GL	PB	FDN	FDA	LDA	Hemicelulosa	Celulosa	MSD
Sistema de siembra (Ss)	1	*	—	—	—	—	—	—	—	—
Etapa de madurez (Edo)	1	*	1	ns	*	*	*	*	*	*
Variedad (Var)	4	*	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ss x Edo	1	ns	—	—	—	—	—	—	—	—
Ss x Var	4	ns	—	—	—	—	—	—	—	—
Edo x Var	4	ns	4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ss x Edo x Var	4	ns	—	—	—	—	—	—	—	—
Observaciones totales	—	280	—	140	140	140	140	140	140	140

* y ns= significativo y no significativo a un nivel de probabilidad de 5%, respectivamente; GL= grados de libertad; MS= materia seca; PB= proteína bruta; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; LDA= lignina detergente ácido; MSD= materia seca digestible.

En cada sitio se establecieron dos parcelas de 1190 m²; en una, la siembra se hizo en suelo plano sin surcos (PSS) y en la otra en surcos con contras (SCC); las parcelas se dividieron en dos sub-parcelas de 595 m² a las que se les asignó al azar dos etapas de corte. En cada sub-parcela se delimitaron sub-sub-parcelas de 119 m² donde las cinco variedades se distribuyeron al azar. Las etapas de corte fueron grano lechoso masoso (LM); alcanzada a los días 78±4, 88±2,1 y 76,3±0,6 y madurez fisiológica del grano (MF); alcanzada a los días 92±3, 103±2,1 y 90,3±1,5, para los respectivos años 2005, 2006 y 2007. El diseño original fue de parcelas sub-sub-divididas en bloques completos al azar, considerando cada sitio como la repetición (n= 14), al sistema de siembra como la parcela grande, al estado de madurez al corte como la mediana y a la variedad como la parcela chica. De acuerdo a lo recomendado por Jurado y Lara (2014), para esa región se usó la misma densidad de siembra y dosis de fertilización para los tres años y en todos los sitios: 100 kg ha⁻¹ de semilla y 30-40-00 NPK kg ha⁻¹; utilizando urea (del 46% de riqueza) y fosfato diamónico (18-46-00). La precipitación pluvial total ocurrida durante el desarrollo de los cultivos fue registrada para cada sitio en los respectivos años 2005, 2006 y 2007 (**tabla I**).

Para determinar el rendimiento de materia seca (MS) en kilogramos por hectárea (MS kg ha⁻¹), en cada parcela se lanzó al azar, en cinco ocasiones, un marco cuadrado de madera de 1x1 m. El total de plantas (planta entera; tallos, hojas y granos) ubicadas dentro del cuadro se cortaron y pesaron; posteriormente se mezclaron y una submuestra de 1000 g se dejó en la parcela para simular su henuficación. El secado se completó en una estufa de aire forzado a 60°C por 24 h. Posteriormente, las muestras fueron molidas en un molino Wiley® con malla de 1 mm (Arthur H. Tomas, Philadelphia, PA, USA).

A las muestras molidas a 1 mm se les determinó: materia seca total a 105°C por 12 h (método 967.03), materia orgánica y cenizas a 600°C por 2 h (método 942.05) y proteína bruta (PB) (método 984.13) de acuerdo a la AOAC (1990). Las concentraciones de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) (Van Soest *et al.*, 1991) y lignina detergente ácido (LDA) (Goering y Van Soest, 1970) se obtuvieron secuencial-

mente en el analizador de fibras ANKOM²⁰⁰® (Ankom Technology, Fairport, NY, USA), mediante el uso de bolsas filtro Ankom® F57 con un tamaño de poro de 30 micrones. Para la FDN se utilizó sulfito de sodio (Na₂SO₃) y α-amilasa para remover el N y el almidón de la muestra, respectivamente. La hemicelulosa y celulosa se calcularon mediante la diferencia entre FDN y FDA, y entre FDA y LDA, respectivamente. La materia seca digestible (MSD) se estimó por la ecuación:

$$MSD (\%) = 88,9 - [0,779x(FDA, \%MS)] \text{ (Moore y Undersander, 2002).}$$

Los datos de producción de MS fueron analizados a través de un diseño en parcelas sub-subdivididas con bloques al azar, el modelo incluyó como efectos fijos a la variedad, sistema de siembra y estado de madurez de la planta en un arreglo factorial 5x2x2 y como efectos aleatorios el año y sitio anidado en año con el procedimiento MIXED del SAS 9.1 (SAS, 2004). Para la composición química y MSD del forraje, solo los datos del sistema PSS fueron considerados en el análisis estadístico, debido a que no se contó con los datos del sistema SCC de los años 2006 y 2007; para esto se usó un diseño en parcelas subdivididas con arreglo factorial 5x2 entre variedad y etapa de madurez, considerando como efectos aleatorios al año y sitio anidado en año. La comparación de medias fue mediante la diferencia mínima significativa y el nivel de significancia se fijó a un $\alpha \leq 0,05$ (Infante y Zárate, 2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA (MS)

Para el rendimiento de MS (kg ha⁻¹), sólo los efectos principales, sistema de siembra, etapa de madurez y variedad fueron significativos (**tabla II**). El rendimiento de MS fue 8,7% mayor ($p < 0,05$) en SCC vs PSS (**tabla III**). Lo anterior confirma que los sistemas de siembra que promueven la captación y retención de agua, potencialmente pueden incrementar la producción de forraje. En dos estudios llevados a cabo durante el 2003 y 2004 Brhane *et al.* (2006) reportaron un aumento del 43 y 56% en biomasa de sorgo en favor del sistema surco con contras. Los autores concluyeron que el sistema de siembra en surco con contras rindió

Tabla III. Efecto del sistema de siembra, etapa de madurez y variedad sobre producción de materia seca (kg ha⁻¹) del heno de avena. Promedio de tres años de evaluación (Effect of planting system, maturity stages and variety on dry matter yield (kg ha⁻¹) of oat hay. Average of three years evaluation).

Parámetro	Media
SISTEMA DE SIEMBRA	
Surco con contras (SCC)	4976 ^a
Plano sin surco (PSS)	4542 ^b
Error estándar	129
p	0,002
ETAPA DE MADUREZ AL CORTE	
Lechoso masoso (LM)	4311 ^b
Madurez fisiológica (MF)	5207 ^a
Error estándar	129
p	<0,001
VARIEDAD DE AVENA (CICLO VEGETATIVO)	
Bachíniva (precoz)	4511 ^b
Karma (intermedio)	5211 ^a
Cevamex (semitardío)	4803 ^{ab}
Cuauhtémoc (tardío)	4730 ^b
Babícora (intermedio)	4541 ^b
Error estándar	204
p	0,012

la mayor producción de sorgo en comparación con otros métodos evaluados.

El mayor rendimiento de MS se observó hasta MF ($p < 0,05$), y fue similar a los 5000 kg ha⁻¹ observados en el estudio de Salmerón *et al.* (2003) en la misma etapa de corte. Con estos resultados se puede afirmar que la producción promedio de forraje de avena de secano en esta región del estado de Chihuahua es alrededor de los 5000 kg ha⁻¹ cuando es cosechada en MF, y que, a diferencia de *Karma* y *Cevamex*, el resto de las variedades evaluadas no muestran diferencias significativas en rendimiento (**tablas II y III**). Por otra parte, en la **tabla IV** se observa un mayor rendimiento cuando las variedades de avena son cosechadas en la etapa de MF en SCC, no obstante en la **tabla II** se observa que esta interacción no fue significativa.

Tabla IV. Rendimiento de materia seca (kg ha⁻¹) en cinco variedades de avena establecidas bajo dos sistemas de siembra (SCC o PSS) y cosechadas en dos etapas de madurez (LM o MF). Promedio de tres años de evaluación (Dry matter yield (kg ha⁻¹) on five oat varieties established under two planting systems (FD or FP) and harvested at two maturity stages (MD or PM). Average of three years evaluation).

Variedad	SCC		PSS	
	LM (Media±DE)	MF (Media±DE)	LM (Media±DE)	MF (Media±DE)
Bachíniva	4298±1135	5321±1052	3744±1020	4681±1192
Karma	4824±1973	5883±2095	4413±1852	5723±2092
Cevamex	4442±1458	5662±1529	4144±1357	4965±1592
Cuauhtémoc	4690±1362	5196±1332	4196±1337	4839±1444
Babícora	4347±1176	5097±1508	4015±1016	4703±1298
Promedio	4520±1424	5432±1528	4102±1331	4982±1556

SCC= surco con contras; PSS= plano sin surco; LM= grano lechoso-masoso; MF= madurez fisiológica; DE= desviación estándar.

La producción de forraje está en función del ciclo vegetativo de la planta de avena, por lo que se esperaría que las variedades de ciclo tardío e intermedio sean las más productivas (Salmerón *et al.*, 2003). La variedad *Karma* y *Cevamex*, que son de ciclo intermedio y semitardío, presentaron mayor producción ($p < 0,05$) de MS (**tabla III**). *Karma* es una variedad que presenta mayor grado de amacollamiento y relación grano/follaje que las demás variedades, lo que puede explicar su alto rendimiento. Por otro lado, aunque la variedad *Cuauhtémoc*, que es de ciclo tardío, igualó la producción de *Cevamex*, no superó el rendimiento de *Karma*, comportamiento que ha sido reportado por Salmerón *et al.* (2003).

COMPOSICIÓN QUÍMICA

No se observó efecto de variedad ($p > 0,05$), ni interacción etapa de madurez x variedad ($p > 0,05$) sobre la composición química del heno de las variedades de avena. Con excepción de la PB, estas variables sólo fueron afectadas por la etapa de madurez ($p < 0,05$) al corte (**tabla II**).

PROTEÍNA BRUTA (PB)

No se observó diferencia significativa del efecto de la etapa de madurez ($p = 0,2621$), variedad ($p = 0,5445$) o su interacción ($p = 0,3647$) sobre el contenido de PB (**tabla II**). La media y la desviación estándar (Media±DE) del contenido de PB fue de 9,5±2,3% en LM y 9,2±2,4% en MF. El contenido de PB observado en este estudio en la etapa de LM fue mayor al 7,9% observado por Espitia *et al.* (2012) en la región de los Valles Altos de México. En el estudio de Salmerón *et al.* (2003), se observa que las mismas variedades presentaron en promedio 10,9% de PB cuando fueron cosechadas en etapa de MF. Estas variaciones en el contenido de PB pueden ser atribuidas a la varianza por efecto de localidad y su interacción con otros factores, principalmente medio ambientales, que influyen de manera significativa sobre la composición química del forraje, aun dentro de la misma variedad de avena (Espitia *et al.*, 2012). Por otro lado, se observó que el contenido de PB fue similar entre variedades y etapa de madurez (**tabla II, figura 1**), esto implica que el heno de las variedades de avena cultivadas en esta región del estado de Chihuahua presentan igual contenido de PB, debido, probable-

mente, a la poca variabilidad genética que existe entre las variedades.

En general, se puede afirmar que el contenido de PB del heno de las variedades de avena evaluadas en este estudio, está por arriba de 9,0%, y supera al nivel considerado como crítico (7,0%) requerido para una óptima función del rumen y consumo de alimento en rumiantes (Van Soest, 1982; Dovel *et al.*, 1995). Por otra parte, es probable que gran parte de la PB presente en la planta de avena cuando es cosechada en la etapa de MF, se debe a una mayor relación grano/follaje, cuyo contenido de PB en el grano (hasta 15%) supera a la PB presente en el follaje (4,0%), según lo reportado por Ramírez *et al.* (2013).

MATERIA SECA DIGESTIBLE (MSD)

La MSD del heno de avena fue similar ($p=0,3442$) entre variedades y tampoco mostró efecto de interacción ($p=0,2536$) (tabla II). Fue observado un efecto de la etapa de madurez ($p<0,0001$) sobre MSD del heno con medias de $65,0\pm 2,6\%$ en LM y $67,3\pm 2,5\%$ en MF. En promedio, la MSD de todas las variedades de avena estuvo por arriba del estándar ($>65\%$) reportado para forrajes de buena calidad (Redfearn y Zhang, 1994), pero fue inferior al 73,8% reportado por Coblenz *et al.* (2000) en etapa de grano maduro. Por otra parte, se ha reportado una correlación negativa entre la FDA y lignina con la digestibilidad de un forraje (Edmisten *et al.*, 1998), esto implica que el porcentaje de MSD del forraje está en función del contenido de FDA y lignina que éste tenga. Dado que los datos de MSD fueron estimados con los datos de FDA, el contenido de MSD de las variedades mostró un comportamiento similar a la FDA (figura 1). Como fue señalado antes, esta relación implica que a un menor contenido de FDA mayor será la MSD del forraje.

CONTENIDO DE FDN Y FDA

No se encontró efecto de variedad ($p=0,5628$ y $p=0,3442$) o de la interacción variedad por etapa de madurez ($p=0,3402$ y $p=0,2536$) para el contenido de FDN y FDA, respectivamente (tabla II). El contenido de FDN y FDA mostró efecto de etapa de madurez ($p<0,0001$), siendo la media y desviación estándar de $54,9\pm 4,9$ y $30,6\pm 3,4\%$ en LM y $50,2\pm 5,1$ y $27,7\pm 3,3\%$ en MF, respectivamente. En forraje de avena cosechado en la etapa de grano masoso, Baron *et al.* (2000) reportaron un promedio de 55 y 34% de FDN y FDA, mientras que MF, con las mismas variedades, Salmerón *et al.* (2003) reportaron un promedio de 61,4 y 30,5%; 11,0 y 2,8 unidades porcentuales más que el promedio observado en este estudio. La figura 2 muestra que la variedad *Bachíniva* presentó mayor cambio por efecto de madurez en su contenido de FDN y FDA, así como en el resto de los componentes fibrosos y la MSD, esto implica que esta variedad presenta mayor proporción de grano en la etapa de MF. Contrariamente, la variedad *Cuauhtémoc* presentó menor efecto de la etapa de madurez, siendo muy similar su contenido de componentes fibrosos y MSD.

En general, el contenido de FDN estuvo por debajo del nivel reportado como crítico (55-60%) para reducir el consumo voluntario y eficiencia alimenticia (Shirley,

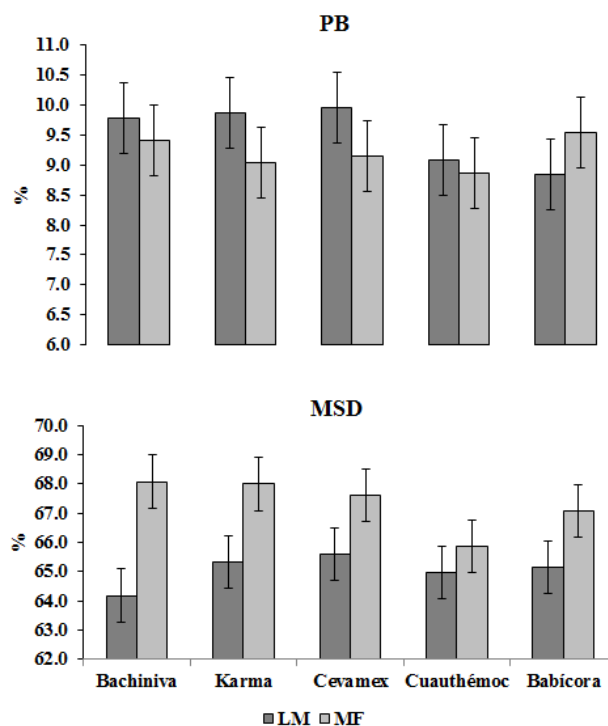


Figura 1. Contenido en base seca de proteína bruta (PB) y materia seca digestible (MSD) en el heno de variedades de avena, cosechadas en las etapas de madurez de grano lechoso (LM) y madurez fisiológica (MF), en el noroeste del estado de Chihuahua, Méx. Promedio de tres años de evaluación (Dry basis content of crude protein (CP) and digestible dry matter (DDM) in oat hay varieties, harvested in maturity stages of milky dough (MD) and physiological maturity (PM), in the northwest of the state Chihuahua, Mex. Average three years of evaluation).

1986), y fue menor al 58,0% reportado en el NRC (2001) para heno de avena. Por su parte, el contenido de FDA en todas las variedades de avena estuvo por debajo del 41-42% reportado para forrajes de alta calidad (Redfearn y Zhang, 1994), y fue menor al requerimiento reportado como adecuado (55% de la MS) para vacas secas gestantes (Dovel *et al.*, 1995).

El contenido relativamente bajo de FDN y FDA, observado particularmente en MF, implican un mayor consumo y digestibilidad del heno de avena comparado con otros forrajes. Estas diferencias se deben a una considerable contribución de valor nutricional del grano, que se magnifica cuando inicia su llenado por almidón después de que emerge la panoja (Beck *et al.*, 2009). Como es típico, el contenido de FDN y FDA cambian al avanzar la madurez de la planta y, en heno de avena, se ha afirmado que la FDN y FDA aumentan hasta la etapa de grano masoso y que la calidad y digestibilidad declinan al iniciar la etapa de floración (Johnston *et al.*, 1998; Coblenz *et al.*, 2000). Por otro lado, es sabido que en avena, el contenido de proteína bruta se reduce al avanzar la madurez de la planta y el contenido de fibra se incrementa hasta iniciada la formación del grano; posteriormente la fibra tiende a decrecer en las siguientes etapas fenológicas como resultado del llenado del grano y la consecuente acumulación de almidón, pero mantiene su calidad (Khorasani *et al.*, 1997; Rosser *et al.*, 2013). Esto se explica por el aumento en la proporción de grano y su bajo contenido de fibra (Ramírez

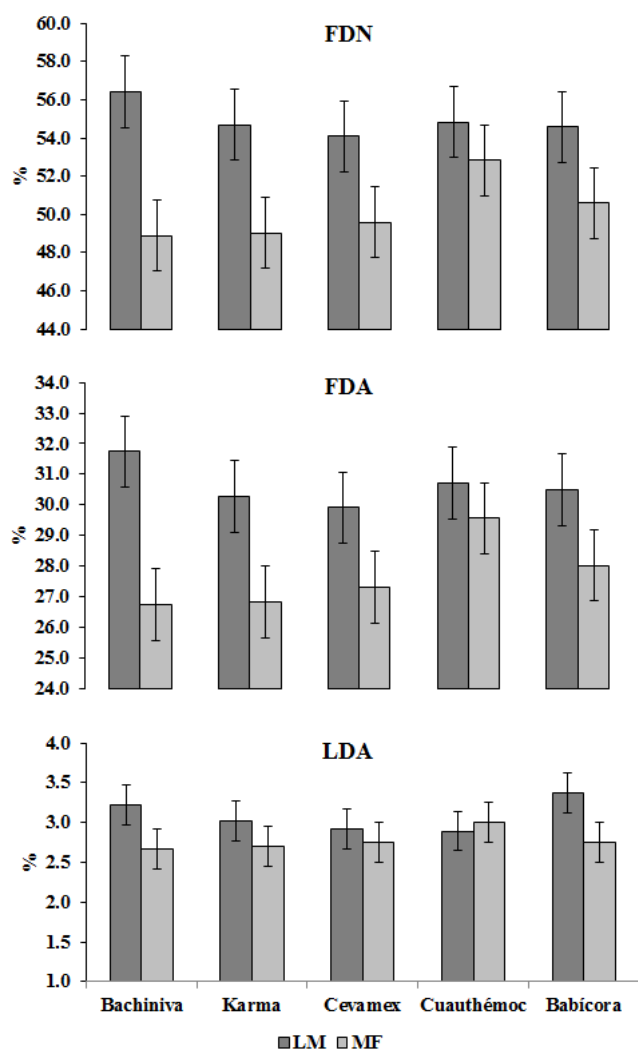


Figura 2. Contenido en base seca de fibra detergente neutro (FND), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) en el heno de variedades de avena, cosechadas en las etapas de madurez de grano lechoso masoso (LM) y madurez fisiológica (MF), en el noroeste del estado de Chihuahua, Méx. Promedio de tres años de evaluación (Dry basis content of neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF) and acid detergent lignin (ADL) in oat hay varieties, harvested in maturity stages of milky dough (MD) and physiological maturity (PM), in the northwest of the state Chihuahua, Mex. Average three years of evaluation).

et al., 2013), que superan al aumento del contenido de FND y FDA en el follaje (Cherney y Marten, 1982; Ramírez *et al.*, 2013), por lo que en la planta completa la fibra se diluye al pasar de LM a MF.

LIGNINA DETERGENTE ÁCIDO (LDA)

Similar a la FND y FDA, el contenido de LDA no mostró efecto de variedad ($p=0,7556$) o de la interacción variedad por etapa de madurez ($p=0,2939$) (tabla II). La LDA fue afectada por la etapa de madurez ($p=0,0136$) con medias de $3,1\pm 0,8$ y $2,7\pm 0,4\%$, respectivamente. La LDA observada en LM o MF fue menor al rango de 3,2 a 11,0% reportado para forrajes de alta calidad (Feyissa *et al.*, 2007). La LDA fue similar en las variedades Karma, Cevamex y Cuauthémoc en ambas etapas de madurez, mientras que en Bachiniva y

Babícora fue diferente (figura 2). Esto podría significar que estas dos variedades presentan mayor proporción de grano en la etapa de MF lo que causa una marcada disminución de LDA en la planta completa. Debido a la relación inversa que existe entre el contenido de lignina y la digestibilidad de la materia seca, el bajo contenido de lignina observado en todas las variedades de avena, implica una mayor digestibilidad del forraje.

CELULOSA Y HEMICELULOSA

De la misma forma, la celulosa y la hemicelulosa no mostraron efecto de variedad ($p=0,3905$ y $p=0,9163$) o de la interacción ($p=0,3615$ y $p=0,6347$). Ambas fracciones fueron afectadas por la etapa de madurez ($p<0,0001$) con medias de $27,8\pm 3,1$ y $25,1\pm 2,0\%$ en LM y $25,2\pm 2,9$ y $23,1\pm 2,3\%$ en MF, respectivamente. La celulosa y la hemicelulosa son los componentes mayores de la pared celular y su digestibilidad (50-90 y 20-80%, respectivamente) depende de su grado de relación con la lignina. Las gramíneas tienen mayor contenido de FND que las leguminosas pero menor contenido de lignina. Esto implica un menor consumo de alimento pero mayor contenido de celulosa digestible debido a que la celulosa está menos enlazada con la lignina (Jung y Allen, 1995). Así, el menor contenido de hemicelulosa y celulosa observado en la etapa de MF en la planta completa implica un potencial aumento en el consumo y digestibilidad del forraje en las variedades de avena; sin embargo, la elevada lignificación que presenta la fracción follaje (hojas y tallos) en la etapa de MF (Ramírez *et al.*, 2013), puede limitar su tasa de digestión y tasa de pasaje.

El incremento en la calidad del forraje de avena después de alcanzada la etapa de grano masoso, como ocurrió en este estudio, ha sido reportado en otras investigaciones (Khorasani *et al.*, 1997; Edmisten *et al.*, 1998; Coblenz *et al.*, 2000; Ramírez *et al.*, 2013). Este comportamiento se ha relacionado con el inicio del llenado del grano por almidón, lo cual ocurre después de la floración (Coblenz *et al.*, 2000). Así, se sucede un incremento en la relación grano/follaje que en MF puede llegar a ser de 50/50 o mayor (Coblenz *et al.*, 2000; Ramírez *et al.*, 2013). Esta relación hace que el contenido de FND, FDA, y LDA en la fracción grano pueda ser de 19,1, 8,2 y 1,0% y en la fracción follaje de 67,5, 40,3 y 4,2%, respectivamente (Ramírez *et al.*, 2013), de esta manera ocurre un efecto de dilución de la fibra en la muestra completa. Este comportamiento se ha relacionado con un incremento en el total de nutrientes digestibles debido a un importante incremento en la relación grano/follaje. Lo anterior sugiere un mejor desempeño productivo de los animales cuando son alimentados con heno de avena cosechado en la etapa de MF vs LM.

En los actuales sistemas de producción animal, el rendimiento de forraje por hectárea no debe ser el único factor a considerar, sino que debe combinarse con la calidad del forraje, lo cual está determinado por un mayor contenido y digestibilidad de la proteína y menor contenido de fibra. En nuestro estudio, el sistema de siembra con contras mejoró ligeramente la producción de heno de avena. En el estado de madurez fisiológica se redujeron los componentes fibrosos, por

lo que se incrementó la calidad del heno sin observarse diferencia entre variedades. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el contenido de proteína y minerales como el potasio, el calcio y el fósforo, también son considerados en la calidad de un forraje, nutrientes que varían de acuerdo a la etapa de madurez. Además, es importante determinar su efecto *in vivo*, ya que la cantidad y calidad de la fibra detergente neutra, así como el alto grado de lignificación que presentan las hojas y tallos a esta etapa de corte, pueden limitar el consumo y la disponibilidad de los nutrientes.

CONCLUSIONES

El sistema de siembra con contras incrementó la producción de forraje, siendo mayor en las variedades *Karma* y *Cevamex*. En la etapa de corte, de madurez fisiológica, se redujeron los componentes fibrosos, por lo que se incrementó la calidad del heno, sin observarse diferencia entre variedades. Cosechar la avena en la etapa de madurez fisiológica implica un mayor rendimiento de materia seca y mejor calidad del heno por su menor contenido de fibra en la planta completa, atribuido a un incremento en la proporción de grano.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce, Chihuahua A. C., por el apoyo económico brindado para la realización de esta investigación a través de los proyectos 08-2005-0982 y 08-2006-0809.

A la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH), Facultad de Zootecnia y Ecología.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

BIBLIOGRAFÍA

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA.
- Baron, V.S.; Okine, E. and Dick, A.C. 2000. Optimizing yield and quality of cereal silages. Proc. 2000 Western Canadian Dairy Seminar. *Adv Dairy Tech*, 12: 351-367.
- Beck, P.A.; Stewart, C.B.; Gray, H.C.; Smith, J.L. and Gunter, S.A. 2009. Effect of wheat forage maturity and preservation method on forage chemical composition and performance of growing calves fed mixed diets. *J Anim Sci*, 87: 4133-4142.
- Brhane, G.; Wortmann, C.S.; Mamo, M.; Gebrekidan, H. and Belay, A. 2006. Micro-basin tillage for grain sorghum production in semiarid areas of northern Ethiopia. *Agron J*, 98: 124-128.
- Chatterton, N.J.; Watts, K.A.; Jensen, K.B.; Harrison, P.A. and Horton, W.H. 2006. Nonstructural carbohydrates in oat forage. *J Nut*, 136: 2111S-2113S.
- Cherney, J.H. and Marten, G.C. 1982. Small grain crop forage potential: II. Interrelationships among biological, chemical, morphological and anatomical determinants of quality. *Crop Sci*, 22: 240-245.
- Coblentz, W.K.; Coffey, K.P.; Turner, J.E.; Scarbrough, D.A.; Weyers, J.S.; Harrison, K.F.; Johnson, Z.B.; Daniels, L.B.; Rosenkrans, C.F. Jr.; Kellogg, D.W. and Hubbell, D.S. 2000. Effect of maturity on degradation kinetics of sod-seeded cereal grain forage grown in Northern Arkansas. *J Dairy Sci*, 83: 2499-2511.
- Collar, C. and Aksland, G. 2001. Harvest stage effects on yield and quality of winter forage. 31th California Alfalfa & Forage Symposium. 12-13 December. Modesto, CA. University of California. Davis. pp.133-142.
- CONAGUA. Comisión Nacional del Agua. 2011. Atlas del agua en México 2011. Ed. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México D.F.
- Dovel, R.L.; Rainey, J. and Chilcote, G. 1995. Oat hay variety trial. Klamath Experiment Station, Oregon State University. pp. 61-65. http://oregonstate.edu/dept/kbrec/sites/default/files/07_-_95oathay.pdf (01/07/2015).
- Edmisten, K.L.; Green, J.T. Jr.; Mueller, J.P. and Burns, J.C. 1998. Winter annual small grain forage potential. II. Quantification of nutritive characteristics of four small grain species at six growth stages. *Commun Soil Sci Plan*, 29: 881-899.
- Espitia, R.E.; Villaseñor, M.H.; Tovar, G.R.; Olán, M. de la O y Limón, O.A. 2012. Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Rev Mex Cien Agric*, 3: 771-783.
- Feyissa, F.; Tolera, A. and Melaku, S. 2007. Nutritive value of different varieties and morphological fraction of oats harvested at the soft dough stage. *Trop Sci*, 47: 188-196.
- Fohner, G. 2002. Harvesting maximum value from small grain cereal forages. 32nd Proceedings, Western Alfalfa & Forage Conference, 11-13 December. Reno, NV. University of California. Davis. pp. 111-116.
- Goering, H.K. and Van Soest, P.J. 1970. Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agric. Handbook No. 379. USDA-ARS, Washington, DC. 20 pp.
- Howell, T.A.; Schneider, A.D. and Dusek, D.A. 2002. Effects of furrow diking on corn response to limited and full sprinkler irrigation. *Soil Sci Soc Amer J*, 66: 222-227.
- INEGI. 2014. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. www.inegi.gob.mx (02/04/2014).
- Infante, G.S. y Zárate, G.P. 2003. Métodos estadísticos: un enfoque interdisciplinario. 2ª ed. Trillas, S.A. de C.V. México D.F. 643 pp.
- Johnston, J.; Wheeler, B. and McKinlay, J. 1998. Forage production from spring cereals and cereal-pea mixtures. Field crop recommendations, publication No. 75. OMAF Publications. Ontario, Can. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/field/forages.html> (02/07/2015).
- Jung, H.G. and Allen, M.S. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J Anim Sci*, 73: 2774-2790.
- Jurado, P.G. y Lara, C.R. 2014. Paquete tecnológico para la producción de avena forrajera en Chihuahua. INIFAP-CIRNOC. Folleto Técnico. No. 51. 35 pp. <http://biblioteca.inifap.gob.mx/portal> (03/07/2015).
- Khorasani, G.R.; Jedel, P.E.; Helm, J.H. and Kennelly, J.J. 1997. Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. *Can J Anim Sci*, 77: 259-267.
- Kilcher, M.R. and Troelson, J.E. 1973. Contribution and nutritive value of the major plant components of oats through progressive stages of development. *Can J Plant Sci*, 53: 251-256.
- Moore, J.E. and Undersander, D.J. 2002. Relative forage quality: an alternative to relative feed value and quality index. Proceedings, 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. 10-11 January. University of Florida. Gainesville. pp.16-32. <http://dairy.ifas.ufl.edu/rns> (03/07/2015).
- National Research Council-NRC. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. (revised). National Academy of Sciences. Washington, DC. 381 pp.
- Ortiz, H. 2004. Water and soil management practices: furrow dyking for soil and water conservation - Mexico, sharing innovative experiences. In: Examples of the successful conservation and sustainable use of dryland biodiversity. United Nations Development Pro. Vol. 9. p. 127. <http://tcdd2.undp.org/GSSDAcademy/SIE/VOL9.aspx> (09/04/2014).
- Ramírez, M.R. y Ávila, M.M. 1996. El agroecosistema temporalero de la baja Babicora y regiones similares: su estructura actual, algunos de sus biocomponentes y su diseño futuro. Folleto científico No. 3. CESICH-CIRNOC-INIFAP-SAGARPA. Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua. México. 46 pp.
- Ramírez, S.; Domínguez, D.; Salmerón, J.J.; Villalobos, G. y Ortega, 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. *Rev Fitotec Mex*, 36: 395-403.
- Redfearn, D. and Zhang, H. 1994. Forage quality interpretations. Oklahoma Cooperative Extension Service. PSS-2117. Oklahoma State University. <http://www.okrangelandswest.okstate.edu/GrazingManage.html> (03/07/2015).
- Rosser, C.L.; Górká, P.; Beattie, A.D.; Block, H.C.; McKinnon, J.J.; Lardner, H.A. and Penner, J.B. 2013. Effect of maturity at harvest on yield, chemical composition, and in situ degradability for annual cereals used for swath grazing. *J Anim Sci*, 91: 3815-3826.
- Salmerón, J.J.; Meda, F.J. y Barcena, J.R. 2003. Variedades de avena y calidad nutricional del forraje. INIFAP-CIRNOC-CESICH. Folleto Técnico. No. 17. 43 pp. <http://biblioteca.inifap.gob.mx/portal> (03/07/2015).
- SAS, Institute SAS/STAT® 9.1 2004. User's Guide. SAS Inst. Inc., Cary, NC. pp: 2659-2852.
- Shirley, R.L. 1986. Nitrogen and energy nutrition of ruminants. Academic Press. Orlando. Florida, USA. 358 pp.
- SIACON. 2012. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. México. www.siap.gob.mx (01/07/2015).
- Tewolde, H.; Mulkey, J.R. and Elledge, R.E. 1993. Furrow diking effects on yield of dryland grain sorghum and winter wheat. *Agron J*, 85: 1217-1221.
- Van Soest, P.J. 1982. Nutritional ecology of the ruminant. O & B Books, Inc. Corvallis, Oregon. 374 pp.
- Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J Dairy Sci*, 74: 3583-3589.