



## EVALUACIÓN NUTRICIONAL *IN VITRO* DE FORRAJES DE CEREALES DE GRANO PEQUEÑO PARA SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA <sup>1</sup>

### [*IN VITRO* NUTRITIONAL EVALUATION OF SMALL-GRAIN CEREAL FORAGE FOR SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS]

Maria Danaee Celis-Alvarez<sup>1</sup>, Felipe López-González<sup>1\*</sup>,  
 Julieta Gertrudis Estrada-Flores<sup>1</sup>, Ignacio Arturo Domínguez-Vara<sup>2</sup>,  
 Darwin Heredia-Nava<sup>3</sup>, Adrián Munguía-Contreras<sup>1</sup>  
 and Carlos Manuel Arriaga-Jordán<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Email:  
 flopezg@uaemex.mx

<sup>2</sup> Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,  
 Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario # 100, Col.  
 Centro, Toluca, Estado de México, C.P. 50000, México.

<sup>3</sup> Cátedra CONACYT, Centro Universitario de los Altos (CUALTOS), Universidad  
 de Guadalajara. Carretera a Yahualica, km 7.5, Tepatitlán de Morelos, Jalisco,  
 C.P.: 47600, México.

Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex), Instituto Literario # 100,  
 Col. Centro, Toluca, Estado de México, México. Código Postal 50000. Tel. y Fax:  
 +52 (722) 296 5552.

\*Corresponding author

#### SUMMARY

Small-grain cereals are promoted as forage alternatives that may substitute for other traditional crops when short cycle forages are required for cattle feeding. The objective of the work was to assess *in vitro* the nutritive quality, ruminal fermentation kinetics and digestibility by the gas production technique of forage from common oat (*Avena sativa* cv. Canadiense) = AC, black oat (*Avena strigosa* cv. Saia) = AN, Triticale ( $\times$ *Triticosecale* Wittm. cv. Criollo) = T, and rye (*Secale cereale* of national production) = C. The forage crops were sown in 250 m<sup>2</sup> plots, harvested and sampled 72 days after sowing in a completely randomised design with five replicates. Both oat species (AC and AN) had significantly higher crude protein and neutral detergent fibre contents ( $P < 0.05$ ) compared to T and C. *In vitro* gas production showed a higher fermentation rate for black oat and common oat, with no differences for *in vitro* digestibility ( $P > 0.05$ ) for the evaluated forages. There were also no differences in the estimated ME content ( $P > 0.05$ ). Results indicate that black and common oats are forages with a better nutritive quality when harvested at a similar time compared to triticale and rye forage.

**Key words:** *In vitro* gas Production; *Avena sativa*; *Avena strigosa*;  $\times$  *Triticosecale*; *Secale cereale*

#### RESUMEN

Los cereales de grano pequeño son promovidos como alternativas forrajeras que pueden sustituir otros cultivos tradicionales, en el caso que se requieran forrajes de ciclos cortos en las estrategias de alimentación del ganado. El trabajo tuvo como objetivo evaluar *in vitro* la calidad nutritiva, la cinética de fermentación ruminal y la digestibilidad *in vitro* usando la técnica de producción de gas en avena común (*Avena sativa* cv. Canadiense) = AC, avena negra (*Avena strigosa* cv. Saia) = AN, Triticale ( $\times$ *Triticosecale* Wittm. cv. Criollo) = T y centeno (*Secale cereale* de producción nacional) = C. Se establecieron los cultivos en lotes de 250 m<sup>2</sup>, cosechados y muestreados a 72 días post-siembra en un diseño completamente al azar con cinco repeticiones. Las avenas (AC y AN) presentaron mayor contenido de proteína cruda y fibra detergente neutro ( $P < 0.05$ ) comparado con T y C. La producción de gas *in vitro* indicó una mayor tasa de fermentación de la avena negra y avena común, no se observaron diferencias en la digestibilidad *in vitro* ( $P > 0.05$ ) de los forrajes evaluados, tampoco hubo diferencias en el contenido de EM ( $P > 0.05$ ). Los resultados indican que la AN y AS son forrajes con la mejor calidad nutritiva al ser cosechadas en una fecha de corte similar en comparación con el T y C.

**Palabras clave:** Producción de gas *in vitro*; *Avena sativa*; *Avena strigosa*;  $\times$  *Triticosecale*; *Secale cereale*.

<sup>1</sup> Submitted June 06, 2017, – Accepted October 18, 2017. This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) son de gran importancia a nivel mundial, porque son una opción para reducir la pobreza rural (Mc Dermott *et al.*, 2010) por la producción y venta de leche, además de ser una alternativa importante para el desarrollo de las comunidades rurales (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

Por lo tanto, en cuanto a la tecnología, se requieren mejoras en los aspectos de alimentación del ganado y opciones de manejo ambiental con diferentes combinaciones adecuadas de cultivos forrajeros para estos sistemas, que les permita enfrentar y adaptar sus estrategias de alimentación a posibles escenarios por el cambio climático como escasez de lluvias y regímenes pluviales erráticos (Thornton *et al.*, 2009).

La alimentación de los hatos representa el mayor rubro de los costos de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Fadul-Pacheco *et al.*, 2013). Resultados de estudios sobre la sustentabilidad de SPLPE, confirman que la escala económica es la principal área de debilidad particularmente debido a los altos costos de alimentación del ganado. Los costos por concepto de alimentación representan entre el 52 y el 70% de los costos totales de producción, y de éstos, entre el 37 y el 54% corresponden a la compra de granos y alimento concentrado comercial (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala, la adopción de estrategias y prácticas de adaptación en la alimentación de sus hatos, que permitan prepararse y hacer frente a los efectos del cambio climático están encaminadas a la búsqueda de desarrollos tecnológicos como cultivos y nuevas variedades de forrajes de ciclos de crecimiento más cortos y por lo tanto, adaptadas a regímenes de lluvia de menor precipitación o temporales erráticos, así como en el manejo y conservación de agua y suelo; generando con ello una gama de opciones de adaptación que ayuden a hacer frente a los efectos del cambio climático y aseguren la sostenibilidad de los SPLPE (INECC, 2007). Los cereales de grano pequeño (avena, cebada, centeno, trigo y el híbrido intergenérico triticale) se caracterizan por su ciclo corto de crecimiento, por lo que cumplen con estas premisas.

En México la superficie destinada en 2014 para la avena forrajera fue de aproximadamente 58,000 ha y una producción de 4 millones de t, seguidos en menor proporción por la siembra de triticale y centeno (SIAP, 2015). En la zona centro del país, la avena común (*Avena sativa*) es el segundo cultivo más utilizado y sembrado tradicionalmente por los productores después del maíz (Hellin *et al.*, 2013). Hay diferentes estudios que muestran interés por evaluar el potencial productivo y el valor nutritivo del forraje de cereales

de grano pequeño como el triticale, centeno y avena negra que puede representar una alternativa ante posibles escenarios de sequías y escasez de lluvias (Murillo *et al.*, 2001; Salgado *et al.*, 2013).

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el valor nutritivo del forraje de cuatro cereales de grano pequeño como alternativa para la alimentación de vacas productoras de leche de sistemas de producción en pequeña escala en el altiplano central de México usando su composición química, digestibilidad y su cinética de producción de gas *in vitro*.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Establecimiento y manejo de los cultivos

El experimento se llevó a cabo en la comunidad de San Jerónimo, municipio de Aculco en el Estado de México (entre 20° 00' y 20° 17' N, y entre 99° 40' y 100° 00' W). El clima es templado sub húmedo, con lluvias en verano y una precipitación anual de 700-1000 mm. El área de estudio fue dividida en cuatro lotes (250 m<sup>2</sup> cada uno) con cuatro tratamientos asignados al azar y cinco muestras cortadas a ras de suelo utilizando un cuadrante de 0.5 m<sup>2</sup>. Los datos fueron analizados con análisis de varianza en un diseño completamente al azar. Los tratamientos fueron AN: avena negra (*Avena strigosa* cv. Saia), C: centeno (*Secale cereale* cv. Criollo de producción nacional) y T: triticale (*X Triticosecale wittmack* cv. Criollo de producción nacional) los cuales se evaluaron como posibles alternativas forrajeras a la AC: avena común (*Avena sativa* cv. Canadiense) utilizada frecuentemente en la región.

La densidad de siembra fue de 120 kg de semilla/ha, la fertilización consistió en 100 kg de urea (46 kg N/ha), 80 kg/ha de superfosfato de calcio triple (37 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha), y 80 kg/ha de cloruro de potasio (48 kg de K/ha). El cultivo se llevó a cabo en la unidad de producción de un productor de la región bajo un enfoque de investigación participativa rural para el desarrollo de tecnología pecuaria (Conroy, 2005); dentro de un proyecto que se ha venido desarrollando durante varios años en esta región.

El rendimiento de cada cultivo fue determinado a los 72 días post-siembra encontrándose en una etapa fenológica de engrosamiento de la caña y embuche con un 10% de plantas con espiga cortado con tijeras a ras de suelo en cinco áreas de 0.5 m<sup>2</sup> (2.0 x 0.25 cm). Las muestras fueron secadas a 65°C a peso constante para expresar los rendimientos en kg de MS/ha, posteriormente fueron molidas a 2.0 mm para realizar los análisis químicos.

## Producción de gas *in vitro* (PGIV) y digestibilidad *in vitro* (DIV)

Para determinar la cinética de fermentación ruminal del forraje mediante la técnica de producción de gas *in vitro* (PGIV) (Theodorou *et al.*, 1994), se recolectó líquido ruminal de dos vacas fistuladas, a las cuales se les ofreció una dieta compuesta de 80% forraje y 20% de concentrado comercial dos veces al día. Se pesaron muestras de aproximadamente 990 mg de los forrajes dentro de botellas con tapa de crimpado de 160 ml, se les adicionó una mezcla de 90 ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal en una proporción de 9:1 (vol/vol) e incubadas a 39°C. Cada muestra fue analizada por cuadruplicado donde las incubaciones (120 h) fueron repetidas en tres tiempos en diferentes días.

Las mediciones de producción de gas se tomaron con un transductor de presión (DO Delta Ohm modelo 9704) a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 52, 60, 72, 84, 96 y 120 h post incubación. Después de las 120 h, los residuos de incubación fueron analizados para evaluar la digestibilidad de la MS, MO y FDN. Para el cálculo de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) el sustrato residual de dos frascos se removió con agua destilada y filtrado con crisoles Schott Duran (#1) donde se determinó por diferencia de peso MS inicial y MS final. Posteriormente la MS residual se colocó en una mufla a 450°C durante 4 h, para determinar el contenido de cenizas y posteriormente calcular la materia orgánica (MO) residual; y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO). Para el cálculo de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN), se utilizó la microtécnica propuesta por Pell and Schofield (1993).

### Composición química

El contenido de cenizas se determinó incinerando las muestras a 550°C en una mufla durante 4 horas (AOAC, 1990), se utilizó el Método Kjeldahl (Unidad de digestión K-435) que determina el nitrógeno total y multiplicando el valor obtenido por el factor 6.25 se obtuvo el contenido de proteína (PC) mediante las fórmulas del AFRC (AFRC, 1993). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se determinó a través del método Ankom-Daisy (Ankom, 2005) (Digestor/Analizador ANKOM200) basando en la técnica de Van Soest *et al.* (1994). El contenido de energía metabolizable (EM) se estimó multiplicando la digestibilidad de la materia orgánica x 0.0157 (AFRC, 1993).

### Cálculo y análisis estadístico

Las lecturas de presión se convirtieron en volumen (ml) usando una regresión lineal en la presión

registrada en el tipo de botellas utilizadas y los volúmenes de aire inyectados.

Los valores de producción de gas fueron corregidos por la cantidad de gas producida en los blancos y el acumulado de gas liberado de los frascos con sustrato. Los valores de producción de gas se ajustaron al modelo de Jessop y Herrero (1996) usando el algoritmo Marquart en el programa Grafit (Grafit, 1992) (Aragadvay-Yungán *et al.*, 2015), con el fin de considerar la fracción soluble de granos, el modelo es el siguiente  $GP = a \times (1 - \exp(-c_a \times t)) + b \times (1 - c_b \times (t - \text{lag})) \times (t > \text{lag}) \times -1$ , donde  $a$  es la producción de gas a las cuatro horas (ml);  $b$  es la producción potencial de gas (ml),  $c_a$  es la tasa fraccional de la producción de gas  $a$  (por h),  $c_b$  es la tasa fraccional de la producción de gas  $b$  (por h), lag fase antes de iniciar la fermentación de la FDN (h) y  $t$  es el tiempo de incubación.

Las variables de rendimiento, composición química, producción de gas y digestibilidad *in vitro* fueron procesados en el programa para análisis estadístico Minitab V14, bajo un diseño experimental completamente al azar mediante un análisis de varianza. Cuando existieron diferencias significativas a un nivel  $\alpha = 0.05$ , las medias de los tratamientos fueron comparadas con una prueba de Tukey (Kaps, 2004).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Rendimiento del forraje

En el Tabla 1 se observa que la producción de materia seca no presentó diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Los forrajes evaluados tuvieron un rendimiento promedio de 5399 kg MS/ha. Espitia *et al.* (2012) en el altiplano semiárido de México reporta producciones de avena y triticale de 2305 y 2249 kg MS/ha respectivamente, los cuales son menores a los encontrados en este trabajo, atribuidos a la baja cantidad de humedad. En un estudio realizado en Coahuila (Zamora *et al.*, 2002) reportan valores de 4830 y 6370 kg MS/ha en triticale, mientras que Murillo *et al.* (2001) reportan mayores rendimientos de centeno, debido a las mejores características genéticas del centeno.

### Composición química

En cuanto a la composición química (Tabla 2), la PC (g/kg MS) presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ). Triticale y centeno tuvieron un promedio 15% menor al contenido de PC con respecto a ambas avenas. Uno de los factores que afecta el contenido de nutrientes en el forraje es su estado de madurez, el cual conforme avanza afecta varias de sus componentes entre ellos la proteína, el fósforo y la vitamina A (Horrocks and

Valentine, 1999). Espitia *et al.* (2012) trabajo con diferentes etapas de crecimiento, donde la calidad del forraje estuvo determinada por su estado de madurez, entre ellas la disminución de la proteína. Las diferencias encontradas en la presente investigación se deben a que se muestrearon en la misma fecha, el centeno y el triticale se encontraban en una etapa fenológica más avanzada por tener un ciclo de cultivo ligeramente menor a las avenas; y por lo tanto existió una madurez más rápida. En un estudio realizado en Chihuahua (Ramírez-Ordóñez *et al.*, 2013) evaluaron siete variedades de avenas comunes donde reportan valores de PC de 174 g/kg MS los cuales son menores a los encontrados en este trabajo para AN, mientras que en Grecia (Lithourgidis *et al.*, 2006) presenta valores menores de PC en triticale y avena (63 y 78 g/kg MS). La avena negra junto con la avena común obtuvo un menor contenido de FDN, presentando diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto al centeno y el triticale. No existieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre los forrajes para el contenido de FDA (Tabla 2).

Tabla 1. Rendimiento de forraje de cuatro forrajes de cereales de grano pequeño.

	C	T	AN	AC	†EEM
Rendimiento (kg MS ha <sup>-1</sup> )	5658	5434	5288	5214	476.8
					NS

†Error estándar de la media; NS: no significativo ( $p > 0.05$ ); C: centeno; T: triticale; AN: avena negra; AC: avena común.

La avena strigosa en Vietnam mostró menor contenido de FDN y FDA al presentado en este trabajo (Salgado *et al.*, 2013). Los resultados de contenido de FDN encontrados en el presente estudio muestran que el centeno y triticale tienen una menor calidad nutritiva ( $P < 0.05$ ) en comparación a las avenas, sin embargo, no

presentó una relación directa con la digestibilidad *in vitro*. De igual manera se puede establecer que a menor contenido de FDN y FDA se presenta una digestibilidad mayor, como pudo observarse en los resultados encontrados en el análisis químico y digestibilidad *in vitro* de las avenas, que no presentaron diferencias significativas entre sí ( $P < 0.05$ ).

Lozano *et al.* (2014) reporta valores para triticale en FDN de 603 g/kg MS y de FDA de 419 g/kg MS, resultados similares a los encontrados en este trabajo, mientras Lithourgidis *et al.* (2006) reportó mayores contenidos de FDA Y FDN al combinar avena y triticale, por lo tanto, la digestibilidad y el contenido de proteína cruda disminuyeron.

El promedio de MO de T, AN y AC osciló entre los 892.0 g/kg MS, reportándose los valores más altos para el caso del centeno presentándose diferencias significativas entre ellos ( $P < 0.05$ ).

#### Producción de gas *in vitro* (PGIV) y digestibilidad *in vitro* (DIV)

Los parámetros de cinética de fermentación de cada uno de los forrajes se muestran en el Tabla 3. Para el parámetro A (fracción soluble) el triticale fue el más bajo y significativamente diferente ( $p < 0.05$ ). La AC y la AN mostraron las tasas más altas de fermentación en ambas fracciones (ca y cb) que en C y T, lo cual indica que las avenas aportan una mayor cantidad de energía disponible para el animal. No se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) en la fracción insoluble (B) pero potencialmente fermentable ni, en el tiempo lag (tiempo que pasa antes de iniciar la fermentación de la fibra) de los cuatro forrajes.

Tabla 2. Características nutricionales de los forrajes de cereales de grano pequeño.

	PC	MO	MO	FDN	FDA	PC
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(kg/ha)
C	77.7b	923.1a	923.1a	627.4a	384.6	442.0
T	72.6b	894.7b	894.7b	623.7a	385.2	394.8
AN	90.7 <sup>a</sup>	888.3b	888.3b	537.7b	362.7	481.3
AC	86.2 <sup>a</sup>	893.1b	893.1b	558.3b	365.2	454.2
EEM	3.24*	4.16*	4.16*	12.51*	11.21 NS	48.93 NS

¶Los valores en columnas con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; ( $p \leq 0.05$ ); †Error estándar de la media; \*Significativo ( $p \leq 0.05$ ); NS: no significativo ( $p > 0.05$ ); C: centeno; T: triticale; AN: avena negra; AC: avena común; PC: Proteína cruda; MO: Materia orgánica; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido.

Centeno y triticale tuvieron los mayores valores de FDN y FDA y las menores tasas de fermentación (c1 y c2), y se observó para T mayor fracción soluble comparada con las avenas indicando que la tasa de degradación en el rumen es menor. Los resultados de este trabajo muestran que la maduración del forraje tuvo un efecto importante en la fracción soluble (A) después de 4 horas de incubación. Díaz et al. (2014) reporta valores menores en la asíntota de producción de gas, a los encontrados en esta investigación, en avena de invierno bajo condiciones orgánicas. Este mismo autor obtuvo una menor degradación de materia seca y FDN, caso contrario a lo observado en este trabajo. También se registraron valores superiores a los resultados de Calabrò et al. (2003) reportados en *Avena sativa L* (222 mL/g MS) en Italia, atribuidos a las altas tasas de fermentación por la presencia de contenidos altamente solubles. Blümmel et al. (2005) menciona que la mayor tasa de consumo de un forraje va estar determinado por el valor de producción de gas en las primeras horas es decir entre más alto sea el volumen de producción de gas el forraje será más digestible.

En el Tabla 4 se muestra los valores de digestibilidad *in vitro* y energía metabolizable (EM) de los forrajes los cuales no mostraron diferencias significativas ( $P>0.05$ ) para todas las variables de DIVMS, DIVMO, DIVFDN y EM.

A pesar de que existió una diferencia en la etapa fenológica en la toma de muestras, esto no representó un aumento en el contenido de FDA ( $P>0.05$ ) ni un efecto en la digestibilidad ( $P>0.05$ ) en los cuatro forrajes. La digestibilidad de la MS es un indicador importante de la calidad de un forraje considerándose de buena calidad cuando tiene una digestibilidad de 700 g/kg MS o mayor (Chamberlain and Wilkinson, 2002), además de ser un factor positivo en la ingesta del forraje (Rojas et al., 2004). Tomando en cuenta este parámetro, los cuatro forrajes evaluados tienen una buena digestibilidad, en particular, la Avena AN muestra resultados interesantes para este parámetro al

presentar una DIVMS superior a los 760 g/kg MS. En el sur de Brasil la avena negra se reporta como un forraje de buena calidad y producción de otoño-invierno, aunque con valores de PC y DIVMS mayores a lo encontrado en el presente trabajo (Restelatto et al., 2013)

La energía metabolizable de un forraje está dada en función de la calidad nutricional del mismo, durante la etapa de crecimiento la energía se mantiene relativamente estable posteriormente declina, debido a que los nutrientes se van para la formación del grano (Horrocks and Valentine, 1999). A mayor calidad, mayor energía metabolizable será capaz de aportar dicho forraje. El contenido de FDA puede relacionarse inversamente con la Energía Metabolizable que los animales podrán obtener del mismo, estando los resultados estrechamente vinculados con los contenidos de fibra.

El buen nivel de digestibilidad de las avenas aunado a un mayor contenido de proteína, las hacen una alternativa buena para la siembra de forrajes en los sistemas de producción de leche en pequeña escala. En el sur de Brasil (Restelatto et al., 2013) reporta la avena negra como un forraje de buena calidad y producción de otoño-invierno con valores de PC y DIVMS mayores a los encontrados en el presente trabajo.

Con base a su composición química y digestibilidad *in vitro* se deduce que la etapa fenológica tiene una relación con la calidad del cultivo, el cual es importante determinar el momento adecuado para el corte. El momento óptimo de corte está en función de los objetivos que se pretendan, el estado de madurez del forraje determina el contenido de proteína presente, desde el punto de vista de calidad, la etapa de embuche proporciona un mayor contenido de proteína y la etapa de grano lechoso y masoso es el más adecuado para obtener altos rendimientos del forraje, pero con un menor contenido de proteína (Espitia et al., 2012).

Tabla 3. Parámetros de fermentación por la ecuación Jessop and Herrero (1996) en los diferentes forrajes de cereales de grano pequeño

Forraje	A	c-a	B	c-b	Lag
C	¶40.84a	0.031 <sup>a</sup>	258.72	0.029 <sup>b</sup>	2.2a
T	60.27b	0.036 <sup>a</sup>	234.70	0.026 <sup>b</sup>	3.9b
AN	31.77 <sup>a</sup>	0.046 <sup>a</sup>	230.44	0.040 <sup>a</sup>	2.6a
AC	28.35 <sup>a</sup>	0.048b	236.80	0.038 <sup>a</sup>	2.8a
†EEM	5.30*	0.059*	7.52 NS	0.002*	0.546NS

¶Los valores en columnas con letras diferentes, son estadísticamente diferentes (Tukey; ( $p \leq 0.05$ ); †EEM: Error estándar de la media; \*Significativo ( $p \leq 0.05$ ); NS: no significativo ( $p > 0.05$ ); C: centeno; T: triticale; AN: avena negra; AC: avena común; A: producción de gas en 4 h (fracción soluble); c-a: tasa de degradación de la fracción soluble; b: potencial de producción de gas (fracción insoluble); c-b: tasa de degradación de la fracción insoluble; Lag= fase antes de iniciar la fermentación (h) de la FDN.

Tabla 4. Digestibilidad *in vitro* (g/kg MS) y contenido de energía metabolizable (MJ/kg MS) de cuatro forrajes de cereales de grano pequeño.

	DIVMS	DIVMO	DIVFDN	EM
C	739.4	730.0	618.6	11.4
T	748.0	738.7	681.1	11.6
AN	768.8	753.9	635.2	11.8
AC	751.1	741.8	629.8	11.6
†EEM	12.40NS	12.03NS	14.73NS	0.18NS

†EEM: Error estándar de la media; NS: no significativo ( $p>0.05$ ); C: centeno; T: triticale; AN: avena negra; AC: avena común; DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIFDN: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro; EM: energía metabolizable.

## CONCLUSIONES

En conclusión, bajo condiciones de cultivo en la investigación participativa de este estudio, los cuatro cereales de grano pequeño al establecerse en una misma fecha de siembra no se vieron afectados en rendimiento de materia seca, sin embargo, si en la composición química y características de fermentación. Los forrajes que presentaron las mejores características nutritivas fueron la AN y AC.

## Agradecimientos

Este trabajo se deriva del proyecto de investigación “Adaptación al cambio climático de las estrategias de alimentación del ganado en sistemas de producción de leche en pequeña escala en el noroeste del Estado de México” financiado por la Universidad Autónoma del Estado de México, con clave 3676/2014-CIA hacia quienes los autores expresan su agradecimiento. Igualmente se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de estudios de posgrado a María Danae Celis-Alvarez. Nuestro agradecimiento a la T.L. María de Lourdes Maya Salazar y a la T.L. Laura Edith Contreras Martínez del Laboratorio de Análisis Químico del ICAR – UAEM por el apoyo prestado a la realización de este trabajo.

## REFERENCIAS

- AFRC Animal and Food Research Council. 1993. Energy and Protein Requirements for Ruminants. An advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on response to nutrients. CAB International. Wallingford, UK, 159 p.
- ANKOM. Procedures (for NDF, ADF, and *in vitro* Digestibility). 2005. ANKOM Technology Method. <http://www.ankom.com/> 2005; (Acceso, 10 de diciembre de 2014).
- AOAC. 1999. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Vol. 1.15th Ed. No. Offic. Anal. Chem. Washington, D.C. pp: 69-88.
- Aragadvay-Yungán, R.G., Rayas-Amor, A.A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J.G., Martínez-Castañeda, F.E., Arriaga-Jordán C.M. 2015. *In vitro* evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) silage alone or combined with maize silage. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias. 6(3): 315-327.
- Blümmel, M., Cone, J.W., Van Gelder, A.H., Nshalai, I., Umunna, N.N., Makkar, H.P.S., Becker, K. 2005. Prediction of forage intake using *in vitro* gas production methods: Comparison of multiphase fermentation kinetics measured in an automated gas test, and combined gas volume and substrate degradability measurements in a manual syringe system. Animal Feed Science Technology. 123-124: 517-526.
- Calabrò, S., Zicarelli, F., Infascelli, F., Piccolo V. 2003. Kinetics fermentation and gas production of the neutral detergent-soluble fraction of fresh forage, silage and hay of Avena sativa. Italian Journal of Animal Science. 2: 201-203.
- Chamberlain A.T., y Wilkinson. 2002. Alimentación de la vaca lechera. Acribia Zaragoza, España.
- Conroy, C. 2005. Participatory Livestock Research. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, UK: ITDG Publishing.
- Díaz, A., Carro, M.D., Palacios, C., Saro, I.M.C, Tejido, M.L and Ranilla, M.J. 2014. Nutritive value for ruminants of winter oats-legume intercrops in organic cultivation. Animal Production Science. 54: 1791-1795.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T., Arriaga-Jordán C.M. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: technical, economic and social aspects and their impact on

- poverty. *Experimental Agriculture*. 43:241-256.
- 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*. 771-783.
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E., Arriaga-Jordan C.M. 2013 Evaluation of sustainability of small-scale dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 37: 882-901.
- Hellin, J., Erenstain, O., Beuchelt, T., Camacho, C., Flores, D. 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop livestock systems in Mexico. *Field Crops Research*. 153, 12-21.
- Horrocks, R.D and Valentine J.F. 1999. *Harvested Forage*, Academic Press, London UK.
- INECC. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2007. El ABC del cambio climático. Impactos y Acciones en México. [http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia\\_social\\_ambito\\_regional\\_multilateral/agenda\\_internacional/agenda\\_y\\_temas\\_internacionales/cambio\\_climatico/presentaciones/cc\\_jul\\_ia\\_1.pdf](http://participacionsocial.sre.gob.mx/docs/incidencia_social_ambito_regional_multilateral/agenda_internacional/agenda_y_temas_internacionales/cambio_climatico/presentaciones/cc_jul_ia_1.pdf). México D.F(Acceso, 10 enero de 2016).
- Jessop, N. S., Herrero, M. 1996. Influence of soluble components on parameter estimation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Science*, 62:626-627.
- Kaps, M., and Lamberson, W.R. 2004. *Biostatistics for Animal Sciences*, CABI Publishing, Wallingford, Gran Bretaña.
- 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: 106–113.
- Lozano del Río, A.J., Rodríguez, H.S.A., Díaz, S.H., Fuentes, R.J.M., Fernández, B.J.M., Narváez, M.J.M., Zamora V.V.M. 2002. Producción de forraje y calidad nutritiva en mezclas de triticale (X *Triticosecale* Wittmack) y ballico annual (*Lolium multiflorum*) en Navidad, N. L. *Técnica Pecuaria en México*. 40 (1): 17-35.
- Mc Dermott, M. J., Stall, J, Freeman, A., Van de Steeg, A. 2010. Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics. *Livestock Science*. 130: 95-109.
- Murillo, A.B., Escobar, H.A., Fraga, M.H., y Pargas, L.R. 2001. Rendimiento de grano y forraje de líneas de triticale y centeno en Baja California Sur, México. *Revista de Fitotecnia Mexicana*. 24 (2): 145-153.
- Pell, A.N and Schofield. P. 1993. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science*. 76: 1063-1073.
- 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.
- Restelatto, R., Pavinato, P.S., Sartor, L.R., Paixão, S.J. 2013. Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass and Forage Science*. 69: 693-704.
- Rojas, G.C., Catrileo, S.A., Manríquez, B.M., Calabi, F.F. 2004. Evaluación de la época de corte de triticale (X *Triticosecale* Wittmack) para ensilaje. *Agricultura Técnica*. 64 (1): 34-40.
- Salgado, P., Thang, V.O., Phillippe, L. 2013. Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: an on-farm study. *Tropical Animal Health and Production*. 45: 561-568.
- SIAP – Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera. 2015. Avance de siembras y cosechas. [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecCompaEspProd.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecCompaEspProd.jsp). Accessed 7 January 2016.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J. 1994. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48:185-197.
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., Herrero, M. 2009. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*. 101: 113 – 127.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., Lewis, B. A. 1994. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74: 3583.

Zamora, V.V.M., Lozano del Rio, A.J., López, B. A., Reyes, V.M.H., Díaz, S.H., Martínez, R.J.M., Fuentes R.J.M. 2002. Clasificación de triticales forrajeros por rendimiento de materia seca y

calidad nutritiva en dos localidades de Coahuila. Técnica Pecuaria en México, 40 (3): 229-242.