



IN VITRO NUTRITIONAL VALUE OF BLACK OAT (*Avena strigosa*) IN GRAZING OR SILAGE FOR SMALL SCALE DAIRY SYSTEMS †

[EVALUACIÓN NUTRICIONAL *IN VITRO* DE AVENA NEGRA (*Avena strigosa*) EN PASTOREO Y ENSILADO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA]

J.I. Vega-García, V. Colín-Navarro, J.G. Estrada-Flores,
C.M. Arriaga-Jordán and F. López-González*

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad
Autónoma del Estado de México, Campus UAEM El Cerrillo, El Cerrillo
Piedras Blancas, C.P. 50090 Toluca, Estado de México, México. Email:

flopezg@uaemex.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Evaluate the nutritional quality of forages is fundamental and to do different techniques are used including *in vitro* gas production. **Objective.** In this paper, gas production technique was used to estimate *in vitro* digestibility and fermentation kinetics in *Avena strigosa*. **Methodology.** The work consisted of two experiments, in experiment 1, forage composed of black oat regrowth (AN) and black oat regrowth associated with red clover (ANT) was compared with a multi-species of temperate pastures (PME). In experiment 2, black oat silage (EAN) was evaluated in comparison to two multi-species grasslands composed of temperate climate grasses (PME-1 and PME-2). **Results.** In experiment 1 the PC content was different ($P < 0.05$). The estimated digestibility and metabolizable energy of gas production were not different ($P > 0.05$). *In vitro* gas production was not different ($P > 0.05$) for any of the variables. In experiment 2, differences ($P < 0.05$) were observed in the contents of CP, NDF, ADF, however, the digestibilities and metabolizable energy were not different ($P > 0.05$). Regarding *in vitro* gas production, there were no differences ($P > 0.05$) in any of the evaluated parameters (soluble fraction (A), fermentation rate of fraction A (C1); slow fermentation fraction (B); rate fermentation time of fraction B (C2) and fermentation time of fraction B (*lag*)). **Implications.** The results of this study allow us to know the best way the nutritional assessment of black oats. **Conclusions.** It is concluded that the forage of the oat regrowth has a different behaviour since it has more slowly fermentable carbohydrates compared to the forage composed of temperate grasses (experiment 1). In experiment 2, the compound temperate forage grasses and oats silage similar nutritional value was similar.

Key words: degradability; kinetics; Fermentation; Forages; *A. strigosa*.

RESUMEN

Antecedentes. Evaluar la calidad nutricional de los forrajes es fundamental y para ello se utilizan diferentes técnicas, incluida la producción de gas *in vitro*. **Objetivo.** En este trabajo, se utilizó la técnica de producción de gas para estimar la digestibilidad *in vitro* y la cinética de fermentación en *Avena strigosa*. **Metodología.** El trabajo consistió en dos experimentos, en el experimento 1, el forraje compuesto por rebrote de avena negra (AN) y rebrote de avena negra asociado con trébol rojo (ANT) se comparó con una pradera multiespecie de pastos templados (PME). En el experimento 2, se evaluó el ensilaje de avena negra (AN) en comparación con dos praderas multiespecie, compuestas por pastos de clima templado (PME-1 y PME-2). **Resultados.** En el experimento 1 el contenido de PC fue diferente ($P < 0.05$). La digestibilidad y la energía metabolizable estimadas de la producción de gas, no fueron diferentes ($P > 0.05$). La producción de gas *in vitro* no fue diferente ($P > 0.05$) para ninguna de las variables. En el experimento 2, se observaron diferencias ($P < 0.05$) en los contenidos de PC, FDN, FDA, sin embargo, las digestibilidades y la energía metabolizable no fueron diferentes ($P > 0.05$). En cuanto a la producción de gas *in vitro* no hubo diferencias ($P > 0.05$) en ninguno de los parámetros evaluados (fracción soluble (A), velocidad de fermentación de la fracción A (C1); fracción de fermentación lenta (B); tasa de fermentación de la fracción B (C2) y tiempo de fermentación de la fracción B (*lag*)). **Implicaciones.** Los resultados del estudio proporcionan de manera comparada el valor nutricional de la avena negra. **Conclusiones.** Se concluye que el forraje del rebrote de avena tiene un comportamiento diferente ya que contiene carbohidratos de fermentación lenta en comparación con el forraje compuesto por gramíneas templadas (experimento 1). En

† Submitted October 12, 2020 – Accepted May 24, 2021. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.
ISSN: 1870-0462.

el experimento 2, el forraje compuesto por gramíneas templadas y el ensilado de avena tuvieron un valor nutricional similar.

Palabras clave: Degradabilidad; Cinética; Fermentación; Forrajes; *A. strigosa*.

INTRODUCCIÓN

La calidad de un forraje se determina por diversos parámetros, entre ellos, a los que más importancia se les atribuye, se encuentran el contenido de proteína cruda (PC) y su valor energético para mantenimiento y producción (Dijkstra *et al.*, 2005; Morales *et al.*, 2018). Esta calidad es dada por la madurez de la planta al momento del corte y la selección de variedades y especies del cultivo (Chamberlain *et al.* 2016). Por otra parte, Denek y Denis (2004) han mencionado que la energía y valor nutricional de los forrajes se correlacionan directamente con la digestibilidad de la materia, y sus cálculos precisos requieren de mediciones de digestibilidad, por lo que el conocimiento de la digestibilidad de los elementos de la pared celular como celulosa, hemicelulosa y lignina, de los alimentos es básico para la formulación de raciones para los rumiantes. Al igual que la PC, la digestibilidad de un forraje es determinada por el estado fenológico del mismo; para obtener su valor se han propuesto varios métodos entre los que se encuentran: métodos *in vivo*, *in situ* e *in vitro*. Las mediciones precisas del contenido de EM de los alimentos requieren mediciones de digestibilidad *in vivo*, pero estos se consideran lentos y caros porque necesitan de grandes cantidades de alimentos e instalaciones (Denek y Denis, 2004; Dijkstra *et al.*, 2005). En el caso de los métodos *in situ*, se utiliza la técnica de bolsas de nylon, pero se ha observado que la degradación ruminal varía en la velocidad dependiendo del alimento que se brinda a los animales; estos métodos también necesitan de instalaciones, aunque el principal inconveniente radica en el uso de animales canulados para que se lleve a cabo la degradación del forraje. A raíz de esto se han desarrollado varias ecuaciones para predecir la EM a partir de la digestibilidad *in vitro* (Gierus *et al.* 2016); estos son los más utilizados por los laboratorios y hoy en día existe una gama de técnicas para estimar el valor de los alimentos; se pueden determinar por incubación con líquido ruminal (en los cuales se requiere de una vaca canulada para la obtención del líquido) y por utilización de enzimas celulolíticas (Denek y Denis, 2004). Recientemente se ha estudiado la tasa de degradación de los elementos utilizando perfiles de producción de gas (PG) obtenidos de sistemas de fermentación *in vitro* de alimentos (Becerril-Gil, *et al.* 2018).

La técnica de producción de gas se ha propuesto para estimar la cinética de fermentación de varios

forrajes como pajas, cereales y pastos; esta técnica ayuda a complementar los análisis convencionales y así ampliar la información sobre propiedades nutricionales de los alimentos (Juárez-Reyes *et al.*, 2009); además de proporcionar la digestibilidad del alimento, esta técnica informa sobre la cinética de fermentación de los alimentos consumidos y esto, depende del tiempo de retención en el rumen y de su tasa de degradación. Las pruebas de producción de gas *in vitro* se usan cada vez más en la investigación ya que las tasas de fermentación se pueden calcular a través de los volúmenes acumulados (Becerril-Gil, *et al.* 2018).

La avena negra (*Avena strigosa*) es una planta que crece de una forma erguida, de gran altura, tiene un desarrollo uniforme y rápido, presenta bajo rendimiento de grano y alta producción de forraje, de regular resistencia a la tendadura; capaz de tolerar variaciones en la densidad de plantas dentro de la superficie gracias a su capacidad para macollar, la planta tiene un alto valor nutricional (desde 180 g/kg MS y 514 g/kg MS para PC y FND, respectivamente) y buena digestibilidad (785 g/kg MS); este cultivar es el único que reúne las características forrajeras, siendo considerada una gran alternativa para la alimentación del ganado en las épocas de otoño e invierno (Restelatto *et al.*, 2013; Dial, 2014; Vega-García *et al.*, 2020). De acuerdo con Salgado *et al.* (2013), el forraje verde, heno y/o ensilado de esta planta representa una alternativa para mantener disponible hierba de calidad durante el invierno y mejorar la producción de rumiantes en zonas agroecológicas de altitud elevada ya que la avena negra tiene potencial para mejorar la cantidad y calidad de las raciones disponibles en esta estación.

Debido a que la técnica de producción de gas *in vitro* tiene la capacidad de ejercer control experimental, seleccionar de una forma no destructiva varias muestras, se obtiene información cinética y el costo es relativamente bajo (Dijkstra *et al.*, 2005), el objetivo de este trabajo fue evaluar, por medio de la técnica de producción de gas *in vitro*, la cinética de fermentación y la digestibilidad de *Avena strigosa* cv. Saia, tanto en forraje fresco (rebrote) como en forraje conservado (ensilado) en comparación con praderas multi-especie convencionalmente usadas en sistemas de producción de leche en pequeña escala, así como obtener la composición química de este forraje.

MATERIALES Y METODOS

Ubicación del sitio experimental

Las muestras de los forrajes se obtuvieron de siembras que se realizaron en el municipio de Aculco, a través de trabajo en finca con los productores, bajo el esquema de investigación participativa rural (Conroy, 2005; Stroup *et al.*, 1993). Aculco se encuentra ubicado en el noroeste del estado de México (entre 20° 00' y 20° 17' N, y 99° 40' y 100° 00' O), tiene una altitud de 2 440 msnm (Burbano-Muñoz *et al.*, 2018).

Los análisis bromatológicos y la técnica de determinación de la digestibilidad *in vitro* por producción de gas, se realizaron en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Se llevaron a cabo dos experimentos: en el experimento 1, se evaluó la calidad nutricional *in vitro* de pastoreo de rebrote después del corte de avena negra con y sin asociación de trébol rojo, en comparación con una pradera multi especie. En el experimento 2, se evaluó la calidad nutricional *in vitro* de ensilado de avena negra, comparado con una pradera multiespecie.

Siembra de avena negra

En una superficie de 2.5 ha se sembraron 120 kg/ha de semilla de *Avena strigosa* cv. Saia. Las parcelas se fertilizaron a una dosis de 80-60-40 kg/ha de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), respectivamente. La avena se cortó para ensilar el 12 de septiembre de 2016, cuando se encontraba en etapa de emisión de panoja.

Praderas multi-especie

En el experimento 1 se utilizó una pradera establecida en 2015, de 1 ha. Asignados al azar y en partes iguales se sembró semilla de *Lolium perenne* cv. Bargala, cv. Payday, y *Festulolium (Lolium perenne/L. multiflorum X Festuca pratense* cv. Spring Green con una densidad de siembra de 30 kg/ha; asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) a una dosis de 3 kg/ha (PME-1). En el experimento 2 también se utilizó una pradera establecida en el 2015; de 2 ha, con iguales condiciones en cuanto a las especies de pasto utilizadas y las proporciones (PME-2); la distribución de las variedades de pasto sembradas en cada parcela fue de 1/3 de superficie, el trébol se sembró en todo el terreno.

Evaluación del forraje

Se llevaron a cabo dos experimentos: en el experimento 1 se evaluó la composición química y producción de gas *in vitro* de avena negra (*Avena strigosa* cv. Saia) (AN), avena negra asociada con trébol rojo (*Trifolium pratense* cv. Kenland) (ANT), en comparación con una pradera multiespecie, compuesta de pastos de clima templado: *Lolium perenne* cv. Bargala, cv. Payday y *Festulolium (Lolium perenne/multiflorum X Festuca arundinacea* cv. Spring Green) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) (PME). En el experimento 2 se comparó la producción de gas *in vitro* de una pradera multi especie (PME-1), compuesta de pastos de clima templado (*Lolium perenne* cv. Bargala, cv. Payday y *Festulolium (Lolium perenne/multiflorum X Festuca arundinacea* cv. Spring Green) asociados con trébol blanco (*Trifolium repens* cv. Ladino) (PME-2), el ensilado de avena negra (*Avena strigosa* cv. Saia) (EAN). En ambos experimentos se evaluó la composición química del alimento concentrado que convencionalmente se utiliza para suplementar a las vacas.

Tratamientos

Se evaluaron los siguientes para el experimento 1: T1= Avena negra (*Avena strigosa*) (AN), T2= avena negra asociada con trébol rojo (*Trifolium pratense* cv. Kenland) (ANT), T3= Pradera multiespecie (PME). Para el experimento 2, los tratamientos fueron: T1= ensilado de avena negra (BOS), T2= Pradera multiespecie (PME-1), T3= Pradera multiespecie (PME-2).

Variables a medir

Composición química

Se colectaron muestras cada 14 días mediante la técnica de pastoreo simulado (Morales *et al.*, 2018); estas muestras se pesaron y fueron secadas a 65 °C durante 48 h en una estufa de aire forzado para obtener el contenido de materia seca y posteriormente realizar los análisis químicos. Se determinó el contenido de materia orgánica (MO) mediante la incineración de las muestras en una mufla a 550 °C durante tres horas. Para determinar el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) se utilizó el método Ankom (Ankom, 2005). La proteína cruda (PC) se calculó a partir del método Kjendahl (AFRC, 1993).

Producción de gas *in vitro*

Se utilizó el método de producción de gas *in vitro* descrito por Menke and Steingass, (1987), modificada por Theodorou *et al.* (1994); el cual consiste en la obtención de líquido ruminal al inicio del día (06:00 h) de una vaca fistulada, múltipara, raza Holstein/pardo suizo, con peso promedio de 550 kg que basa su dieta en pasto estrella 60% y alimento concentrado 40%. El líquido se filtró a través de manta de cielo y se colectó en termos previamente estandarizados a 39 °C de temperatura interior, para ser transportado rápidamente al laboratorio. Posteriormente se vertió en frascos de vidrio (160 mL) junto con soluciones amortiguadoras, que en conjunto simulan un micro rumen en el que se agregó la muestra de forraje (0.99 ± 0.01 g), esto se hace cuatro veces por muestra; en cada corrida de incubación se agregaron cuatro blancos (Limón-Hernández *et al.*, 2019)

Las mediciones de producción de gas se realizaron con un transductor de presión a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60, 72, 84 y 96 post incubación. Pasadas las 96 h, el sustrato filtrado de dos muestras se utiliza para ser secado a 105°C en una estufa de aire forzado hasta peso constante (48 h). El peso se registra y se utiliza para obtener la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS). Para el cálculo de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN); el sustrato de dos muestras se removió a frascos con tapa roscada, a los que se les adicionó 50 mL de solución de FDN, después fueron colocados en una autoclave a 105°C durante una hora (a peso constante), y posteriormente se filtraron con crisoles Gooch; el residuo se colocó en una mufla a una temperatura de 105 °C por una hora, se registró el peso del residuo y posteriormente, se incineró en una mufla a 450 °C por cuatro horas. El cálculo de la DIVFDN se realizó por diferencia de peso entre el contenido de FDN inicial en la muestra menos el contenido de FDN residual (Pell and Schofield, 1993). Para estimar el valor de energía metabolizable se siguieron los procedimientos CSIRO (2007): $EM = 0.172 \text{ DIVMS (\%)} - 1.707$. Para determinar los parámetros de fermentación ruminal se utilizó el modelo matemático propuesto por Jessop and Herrero (1996):

$$GP = ax(1 - \exp(-ca + t)) + bx(1 - \exp(-cbx(t - lag)))x(t > lag)x - 1$$

Dónde: GP = Producción acumulada de gas (ml); a = Producción de gas a partir de la fermentación (ml) de la fracción soluble de los carbohidratos; b = Producción potencial de gas (ml) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable; ca= tasa de fermentación de la fracción a; cb = Tasa de fermentación de la fracción b; y lag = Tiempo que transcurre antes de iniciar la fermentación de la FDN. Para la realización de los ajustes de la curva de producción de gas se utilizó el programa Grafit v3.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza con los datos obtenidos en las dos etapas del experimento mediante un diseño completamente al azar, con el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde μ : media general, T: efecto del tratamiento e: variación residual.

Cuando se detectaron diferencias significativas se aplico la prueba de tukey ($P < 0.05$).

RESULTADOS

Composición química

En el experimento 1, el contenido de PC fue mayor ($P < 0.01$) en PME, seguido por ANT y AN, respectivamente. Para el resto de variables (FDN, FDA, DIVMS y EMe) no se detectaron diferencias ($P > 0.05$). Los resultados para las digestibilidades de los forrajes en el experimento 1 a partir de la técnica de producción de gas *in vitro*; se puede observar que la DIVMS y EMe de los tratamientos con rebrote de avena negra sola (AN) y asociada (ANT) resultó similar al de pastos (PME). En el experimento 2, se detectaron diferencias ($P < 0.05$) en los contenidos de PC, FDN y FDA; la PC fue mayor en PME-1 y MPE-2 (praderas multiespecies), en comparación con EAN (ensilado de avena), como se observa en el cuadro 1. La DIVMS, DIVMO, DIVFDN, y el contenido estimado de energía metabolizable no fue diferente ($P > 0.05$) entre los forrajes PME-1, PME-2 y EAN (Tabla 1).

Producción de gas *in vitro*

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la producción de gas en los dos experimentos. Las fracciones A, B, C1, C2 y el tiempo lag de fermentación no fueron diferentes ($P > 0.05$) entre los tratamientos de los dos experimentos.

Tabla 1. Composición nutricional y valores de digestibilidad obtenidos a partir de la técnica de producción de gas *in vitro* en el experimento 1 y 2.

Variable	AN	ANT	PME	Media	EEM	P	CON
Experimento 1							
PC (g/kg MS)	135 ^c	150 ^b	210 ^a	165	9.2	0.01	219
FDN (g/kg MS)	542	534	497	524	11.4	0.30	244
FDA (g/kg MS)	275	280	261	272	5.4	0.65	75
DIVMS (g/kg MS)	745	715	786	748	24.9	0.21	793
DIVMO (g/kg MS)	821	830	855	835	20.9	0.21	895
DIVFDN (g/kg MS)	787	777	833	799	26.1	0.34	659
EMe (MJ/kg MS)	9.94	9.55	10.4	10	0.32	0.20	10.5
Experimento 2							
	PME-1	PME-2	EAN				
PC (g/kg MS)	240 ^a	213 ^b	94 ^c	182.33	10.20	0.04	205
FDN (g/kg MS)	586 ^a	464 ^b	449 ^b	499.66	41.42	0.01	208
FDA (g/kg MS)	380 ^a	216 ^b	202 ^b	266.00	23.40	0.02	72
DIVMS (g/kg MS)	873	856	734	821.00	44.67	0.74	925
DIVMO (g/kg MS)	902	896	816	871.33	46.80	0.66	972
DIVFDN (g/kg MS)	849	857	748	818.00	44.62	0.41	830
EMe (MJ/kg MS)	11.6	11.4	9.80	10.93	0.634	0.42	12.3
pH	-	-	4.2	-	-	-	-

PC: Proteína cruda, FDN: Fibra detergente neutro, FDA: Fibra detergente ácido, CON: concentrado, DIVMS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca, DIVMO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica, DIVFDN: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro, EMe: energía metabolizable estimada, AN: avena negra sola, ANT: avena negra asociada con trébol, PME: pradera multi-especie, EEM: error estándar de la media, EAN: ensilado de avena negra, PME-1: pradera multi-especie 1, PME-2: pradera multi-especie 2, *P<0.05. ^{abc} Valores con literales distintas entre columnas indican diferencias significativas.

Tabla 2. Producción de gas derivado de la digestión *in vitro* utilizados en los experimentos 1 y 2.

Parámetros	A (ml gas-g ⁻¹)	C1 (g h ⁻¹)	B (ml gas-g ⁻¹)	C2 (g h ⁻¹)	lag (horas)
Experimento 1					
AN	49.80	0.03	200.00	0.03	4.27
ANT	44.10	0.03	196.00	0.03	4.65
PME	54.40	0.05	144.00	0.03	7.33
EEM	18.60	0.04	29.51	0.01	2.03
P	0.45	0.36	0.07	0.13	0.18
CON	30.00	0.14	215	0.04	4.25
Experimento 2					
EAN	23.77	0.15	77.94	0.04	9.19
PME-1	26.29	0.33	72.43	0.05	4.88
PME-2	19.36	0.28	75.18	0.05	4.60
EEM	7.23	0.15	7.79	0.032	1.65
P	0.53	0.36	0.69	0.23	0.30
CON	30.0	0.14	215	0.04	4.25

AN: Avena negra, ANT: Avena negra asociada con Trébol rojo, PME: Pradera multiespecie, EAN: Ensilado de avena negra, PME-1: Pradera multiespecie 1, PME-2: Pradera multiespecie 2A: Fracción soluble; C1: Tasa de fermentación de la fracción A; B: Fracción lentamente fermentable; C2: Tasa de fermentación de la fracción B; lag: Tiempo de fermentación de la fracción B, EEM: Error estándar de la media.

En la Figura 1 se muestran los perfiles de la producción de gas de los diferentes alimentos utilizados en la Etapa 1; se puede observar que, pasadas 8 horas la producción de gas acumulado aumentó gradualmente entre los diferentes

tratamientos, pero sin observarse diferencias significativas como se observa en la Tabla 2.

En la Figura 2 se puede observar la cinética de fermentación de los alimentos utilizados en el experimento 2. Se aprecia que la producción de gas

entre los diferentes tratamientos siempre es ascendente conforme transcurren las horas de incubación, sin embargo no se observaron diferencias estadísticas, como se muestra en la Tabla 2.

DISCUSIÓN

Composición química

El valor más alto para proteína se encontró en el tratamiento PME (210 g/kg MS) y el más bajo en el tratamiento AN (135 g/kg MS) (experimento 1), esto debido a que el contenido de PC, es mayor en pastos de clima templado en comparación con la avena negra. Estos resultados son adecuados ya que en evaluaciones anteriores con la misma especie de avena se reportaron valores para este componente desde 117 g/kg MS hasta 240 g/kg MS, este último con una fertilización de 160 kg N/ ha (Sánchez-Gutiérrez *et al.*, 2014; Restelatto *et al.*, 2013).

Los valores para FDN y FDA de los tratamientos AN y ANT son similares, lo cual se debe a que se encontraban en la misma etapa fenológica, a pesar de que las praderas asociadas con leguminosas, pueden tener una menor cantidad de carbohidratos estructurales, debido a la presencia del trébol, estos resultados son similares a los mencionados por De Carvalho-Peres *et al.* (2012) en Brasil, donde se usó avena negra en pastoreo diario en el periodo otoño-invierno, y por Salgado *et al.* (2013), donde se evaluó avena negra como alimento de invierno en Vietnam.

Los valores de DIVMS en los tratamientos con avena son menores que lo reportado por Restelatto *et al.* (2013) para avena negra en Brasil, ya que en su trabajo el valor la media fue de 786 g/kg MS con una fertilización a partir de 120 kg de N/ha; sin embargo se obtuvieron valores similares a lo que presentó Macari *et al.* (2006) (740 g/kg MS) de un trabajo también en Brasil.

Para el experimento 2, en cuanto a los análisis de composición química, los resultados sobre PC de las praderas son buenos ya que en evaluaciones anteriores con las mismas parcelas López-González *et al.* (2017) encontró valores bajos (180 g/kg MS) en comparación con este trabajo.

Los valores de PC (94 g/kg MS) y DIVMS (734 g/kg MS) de EAN (Tabla 1) fueron los esperados para un ensilado de calidad ya que Becerril-Gil *et al.* (2017), reportó valores similares evaluando ensilado de avena negra en sistemas de producción similares; por su parte Klosovski *et al.* (2017) evaluó ensilado de avena negra con dos manejos de deshidratación previa (químico y mecánico) y obtuvieron mejores resultados con el secado mecánico (110 g/kg MS) comparado con la deshidratación química; el pH que se mantuvo fue bueno para mantener estable la calidad del forraje conservado (valor de 4.2) ya que para mantener estable el ensilado se debe llegar a un pH menor de 4.5; se ha mencionado que los de mala calidad tienen 5.2 o más (Hughes *et al.*, 1974; Duthil, 1980).

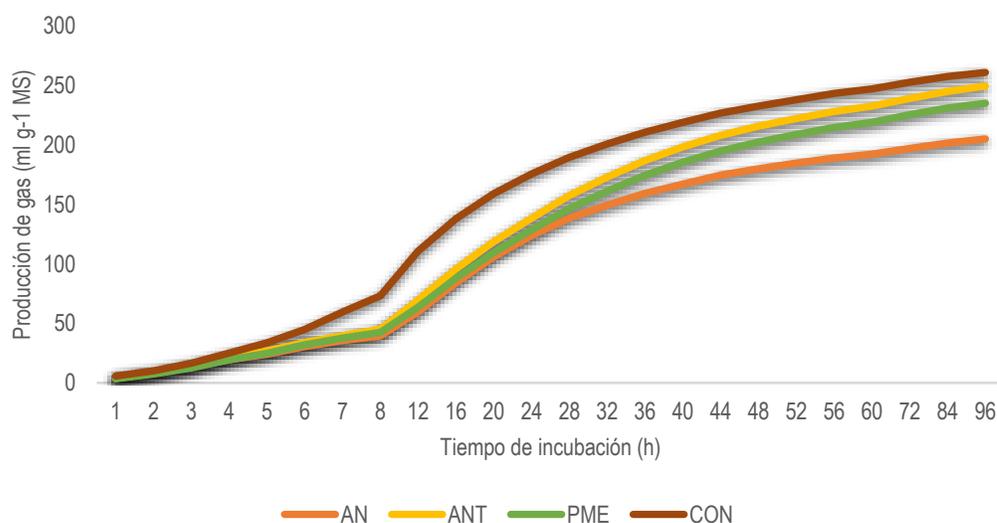


Figura 1. Cinética de fermentación de los alimentos utilizados en el experimento 1. AN: rebrote de avena negra, ANT: rebrote de avena negra asociada con trébol, PME: pradera multi-especie, CON: alimento concentrado.

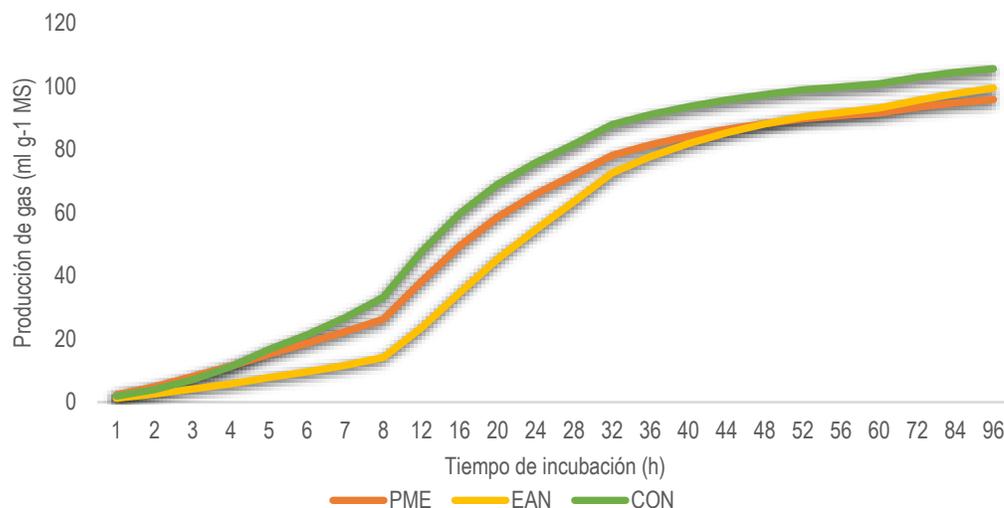


Figura 2. Cinética de fermentación de los alimentos utilizados en el experimento 2. PME: pradera multi-especie, EAN: ensilado de avena negra, CON: alimento concentrado.

Producción de gas *in vitro*

En el experimento 1, dado que en los tratamientos con avena, se encontraba en un estado fenológico de producción de nudos, donde se tiene el máximo potencial nutritivo, se puede observar que el rebrote de avena negra sola (AN) y avena negra asociada con trébol rojo (ANT) tienen un tiempo de fermentación de los carbohidratos rápidamente disponibles, similar ($P > 0.05$) al de PME (Tabla 2).

En cuanto a la tasa de fermentación lentamente fermentable (fracción B) y tiempo *lag* (Tabla 2), los forrajes tienen valores similares ($P > 0.05$), relacionados a los contenidos de FDN (Cuadro 1), lo que nos indica que todos los tratamientos tienen una buena disponibilidad de material lentamente fermentable como fuente de energía; esta estimula los organismos del rumen y acelera la digestión del forraje (Geatchew *et al.*, 1998). Como se mencionó en un principio, PME se conformó de pastos de clima templado asociados con trébol blanco; el valor medio de la fracción B (Tabla 2) resulta mayor que para la mayoría de pastos tropicales (media de 121.6 ml/g) usados en sistemas de producción de ganado de doble propósito por Juárez-Reyes *et al.* (2009), quienes también midieron la producción de gas, lo que podría indicar que estos pastos de clima templado se encontraban en una etapa fenológica avanzada y por tanto eran abundantes en carbohidratos de lenta degradación (celulosa y lignina) por los microorganismos ruminales (Martínez-Loperena *et al.*, 2011).

De acuerdo con Geatchew *et al.* (1998) la cinética de producción de gas depende de las proporciones relativas de proporciones de partículas solubles, insolubles pero degradables e indegradables del alimento. Kafilzadeh and Heidary, (2013), quienes midieron por medio de la técnica de producción de gas la cinética de fermentación de 18 variedades de avena en Irán, tuvieron una media en cuanto a la fracción A (soluble) de 60.7 ml/g, 10.1 y 16.6 ml menos en comparación con los tratamientos de AN y ANT, respectivamente. PME tuvo entre 8 y 18 % más mL de gas en la fracción A que AN y ANT, esto debe a que el contenido de FDN en los tratamientos con avena es 10 % mayor y por tanto la cantidad de fracciones solubles es menor (Martínez-Loperena *et al.*, 2011). En cuanto al tiempo *lag*, Kafilzadeh and Heidary, (2013) obtuvieron una media de 0.702, lo que resulta en una tasa de fermentación menor en comparación con este trabajo, donde se obtuvieron medias de 4.46 para el rebrote de avena (Etapa 1) y de 9.1 en la evaluación de avena como ensilado (Etapa 2). Cabe señalar que Kafilzadeh and Heidary, (2013) evaluaron avena cuando esta se encontraba en estado lechoso masoso (GS 83, de acuerdo a la escala Zadoks para la evaluación de etapas de crecimiento de los cereales), en cambio en este trabajo la avena se encontraba en estado de rebrote, lo que se puede deber a que el material soluble puede no ser degradado rápidamente por los microorganismos del rumen al exceder la máxima capacidad de estos microorganismos para usar el sustrato de forma rápida, y el tiempo para degradar la fracción insoluble resultaría mayor (Dijkstra *et al.*, 2002).

Con respecto al experimento 2, Aragadvy-Yungán *et al.* (2015) evaluaron la producción de gas en ensilado de maíz (*Zea mays*) y girasol (*Helianthus annuus* L.) en el noroeste del estado de México, observando que el ensilado de maíz tiene un tiempo *lag* de 3.8 y el ensilado de girasol de 4.0, valores que se encuentran por debajo del valor reportado en este trabajo (9.1), lo cual se debe a que el momento de la cosecha de la avena se encontraba en buen estado (etapa de emisión de panoja); el girasol se cortó a los 127 días post siembra (R9), etapa óptima para ser utilizada como forraje, y el maíz se cortó a los 157 días, que también resulta en una buena composición química del ensilado. Kilc, (2010) evaluó heno y ensilado de trigo (*Triticum* spp) en estado masoso bajo esta misma técnica encontrando valores para la fracción A de 6.38 y 6.57 (heno y ensilado respectivamente), valores inferiores a los reportados en este trabajo para ensilado de avena negra, lo que indica mayor calidad de forraje en este cereal en comparación con el heno y ensilado de trigo. Celis-Álvarez *et al.* (2017), evaluó en el altiplano central mexicano la producción de gas de avena negra (*Avena strigosa*) y avena común (*Avena sativa*), encontrando valores para la fracción A de 31.7 y 28.3 ml/g, mayores a los del ensilado de avena negra de este trabajo (media de 23.7 ml/g); aunque los valores de la fracción B (230.4 y 236.8 ml/g para avena negra y común, respectivamente) también se encontraron por encima de lo reportado en este experimento (196.5 ml/g). El tiempo *lag* reportado por Celis-Álvarez *et al.* (2017) para las avenas rondó en 2.7, valor inferior en comparación con el tiempo *lag* encontrado para los rebrotes de avena (experimento 1) y el ensilado (experimento 2). Por su parte, Becerril-Gil *et al.* (2018) reportaron para ensilado de avena negra en los mismos sistemas de producción, una fracción A de 49.7 ml/g, una fracción B de 202.5 ml/g y un tiempo *lag* de 3.4 h; estos valores son mayores para las fracciones A y B; en cuanto al tiempo *lag*, los resultados reportados en este trabajo resultan menores, lo que implica que la avena se encontraba en un grado de madurez mayor y por tanto contaba con una mayor lignificación y menor calidad nutritiva.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación de los forrajes mediante la técnica de producción de gas *in vitro*, el mismo contenido de carbohidratos solubles del rebrote de avena negra (*Avena strigosa*) permite un inicio de fermentación al mismo tiempo que los pastos, aunque el contenido de carbohidratos estructurales resultó diferente. En última instancia, el forraje compuesto de pastos de clima templado produce similar gas que el de avena negra, resultado de una

buen digestibilidad (Etapa 1). No así el ensilado de avena negra, que tiene una fermentación más lenta en comparación con el forraje de pastos, aunque con más tiempo su digestibilidad es similar a la de los pastos (Etapa 2). Ya que es de suma importancia obtener valores para la caracterización de los forrajes que se comienzan a implementar como estrategia de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, este trabajo aporta los resultados en cuanto a la cinética de fermentación y producción de gas *in vitro* para el forraje, del cual no se tienen muchos reportes en el país tanto en el rebrote como en ensilado. El rebrote de avena negra (*Avena strigosa*) resultó con una calidad similar a los pastos de clima templado que convencionalmente se usan para la alimentación del ganado en sistemas de leche a pequeña escala, lo que demuestra que este forraje es una fuente alternativa de alimento para este tipo de sistemas en la época en que se evaluó (Etapa 1). El ensilado de avena negra (*Avena strigosa*) resultó de menor calidad, aunque se puede utilizar como un complemento a la dieta del ganado en estos sistemas a pequeña escala (Etapa 2); sobre todo en los meses críticos para los productores (estiaje).

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a los productores y a su familia, cuya privacidad se respeta al no mencionar sus nombres. También se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para los estudios de Jesús Israel Vega García.

Financiamiento. Este trabajo se realizó gracias al financiamiento de la Universidad Autónoma del Estado de México (Universidad Autónoma del Estado de México) a través de la beca UAEM 3676/2014 / CIA.

Conflicto de interés. Los autores confirman que no existen conflictos de intereses conocidos asociados con estas publicaciones.

Cumplimiento de normas éticas. Esta investigación fue aprobada por el Comité Institucional para el Cuidado de los Animales de Laboratorio-Docencia, Investigación, Servicio y Producción, siguiendo los procedimientos aprobados por la Universidad Autónoma del Estado De México.

Disponibilidad de datos. Los datos se encuentran disponibles con el autor de correspondencia previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Ankom Technology, 2005. Procedures (for NDF and ADF). <http://www.ankom.com/>.
- Aragadvay-Yungán, R.M., Rayas, A.A., Heredia-Nava, D., Estrada-Flores, J.G., Martínez-Castañeda, F.E. and Arriaga-Jordán, C.M., 2015. *In vitro* evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) silage alone or combined with maize silage (in Spanish). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 6: 315-327. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4094>
- Becerril-Gil, M.M.N., López-González, F., Estrada-Flores, J.G. and Arriaga-Jordán, C.M., 2018. Black Oat (*Avena strigosa*) Silage For Small-scale Dairy Systems In The Highlands Of Central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 21: 467-476.
- Burbano-Muñoz, V.A., López-González, F., Estrada-Flores, J.G., Sainz-Sánchez, P.A. and Arriaga-Jordán, C. M., 2018. Oat silage for grazing dairy cows in small scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *African Journal of Range & Forage Science*. 35: 63-70, <http://doi.org/10.2989/10220119.2018.1473493>
- Celis-Alvarez, M.D., López-González, F., Estrada-Flores, J.G., Domínguez-Vara, I.A., Heredia-Nava, D., Munguía-Contreras, A. and Arriaga-Jordán, C.M., 2017. Evaluación nutricional *in vitro* de forrajes de cereales de grano pequeño para sistemas de producción de leche en pequeña escala. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 20: 439-446.
- Chamberlain, L., Ketterings, Q., Lyons, S., Cerosaletti, P., Czymmek, K., Cherney, D. and Kilcer, T., 2016. Forage Quality Parameters Explained. Nutrient Management Spear Program. College of Agricultural and Life Sciences- Cornell University. New York, USA. <http://nmsp.cals.cornell.edu/publications/factsheets/factsheet94.pdf>
- Conroy C., 2005. Participatory livestock research. Bourton-on-Dunsmore: ITDG Publishing, Warwickshire (UK).
- CSIRO, (2007). Nutrient Requirements of Domesticated Ruminants. CSIRO publishing. Collingwood, Australia. 295 pp.
- De Carvalho-Peres, A.A., Brandão-de Carvalho, C.A., De Aquino-Barbosa-Carvalho, M.I., Maldonado-Vasquez, H., Coelho-da Silva, J.F., Cogo-Clipes, R. and Frota Morenz, M.J., 2012. Production and quality of milk from Mantiqueira dairy cows feeding on Mombasa grass pasture and receiving different sources of roughage supplementation. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 41: 790-796.
- Denek, N., and Deniz, S., 2004. Determination of Digestibility and Metabolic Energy Levels of Some Roughages Commonly Used in Ruminant Nutrition by In Vitro Methods (in Turkish). *Turkish Journal of veterinary and Animal Science*. 28: 115-122.
- Dial, H.L., 2014. Plant guide for black oat (*Avena strigosa* Schreb.) USDA-Natural Resources Conservation Service, Tucson Plant Materials Center, Arizona (USA).
- Dijkstra, J., Kebreab, E., Bannink, A., France J. and López, S., 2005. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. *Animal Feed Science and Technology*. 123-124: 561–578, <http://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.04.048>
- Dijkstra, J., Mills, J.A.N. and France, J., 2002. The role of dynamic modeling in understanding the microbial contribution to rumen function. *Nutrition Research Review*. 15: 67-90. <https://doi.org/10.1079/NRR200237>
- Duthil J., 1980. Forage Production (in Spanish). 3rd Edition. Ediciones Mundi Prensa. Madrid (Spain).
- Geatchew, G., Blummel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K., 1998. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*. 72: 261-281. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00189-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00189-2)
- Gierus, M., Eickler, B., Resch, R., Loges, R., Taube, F. and Poetsch, E.M., 2016. Using *in vitro* methods to estimate metabolizable energy content of five forage legumes harvested under different defoliation systems. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment*. 67: 121-131. <https://doi.org/10.1515/boku-2016-0011>

- Hughes, H.D., Health, M.E. and Metcalfe, D.S., 1974. Forages The science of agriculture based on pasture production (in Spanish). Editorial CECSA, Barcelona (Spain).
- Jessop, N.S. and Herrero M, 1996. Influence of soluble components on parameter estimation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Science*. 62: 626–627.
- Juárez-Reyes, A.S., Cerrillo-Soto, M.A., Gutiérrez-Ornelas, E., Romero-Treviño, E.M., Colín-Negrete J. and Bernal-Barragán, H, 2009. Assessment of the nutritional value of tropical grasses obtained from conventional analyses and *in vitro* gas production. *Técnica Pecuaria de México*. 47: 55-67.
- Kafilzadeh, F. and Heidary, N, 2013. Chemical composition, *in vitro* digestibility and kinetics of fermentation of whole-crop forage from 18 different varieties of oat (*Avena sativa* L.). *Journal of Applied of Animal Research*. 41: 61-68. <https://doi.org/10.1080/09712119.2012.739084>
- Kilic, U, 2010. Nutritive values of whole-crop wheat hay and silage and effect of microbial inoculants *on in vitro* gas production. *Journal of Applied Animal Research*. 37: 67-71.
- Klosovski-Carneiro, M., Neumann, M., Helker-Junior, J.C., Horst, E.E., Mattos Leão, G.F., Galbeiro, S. and Pzcynek, M, 2017. Mechanical and Chemical dehydration for pre-drying of black oat silage. *Semina: Ciências Agrárias*. 38: 981-995.
- Limón-Hernández, D., Rayas-Amor, A.A., García-Martínez, A., Estrada-Flores, J.G., Núñez-López, M., Cruz-Monterrosa, R.G. and Morales-Almaráz, E, 2019. Chemical composition, *in vitro* gas production, methane production and fatty acid profile of canola silage (*Brassica napus*) with four levels of molasses. *Tropical Animal Health and Production*. 51: 1579-1584. <http://doi.org/10.1007/s11250-019-01849-7>
- López-González, F., Rosas-Dávila, M., Celis-Alvarez, M.D., Morales-Almaraz, E., Domínguez-Vara, I.A. and Arriaga-Jordán, C.M, 2017. Milk production under grazing of different pasture grasses in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Journal of Livestock Science*. 8: 92-97.
- Macari, S., Gomes-Da Rocha, M., Restle, J., Pilau, A., Kellerman-De Freitas, F. and Pereira-Neves, F, 2006. Evaluation of a mixture of black oats (*Avena strigosa* Schreb) cultivars with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) under grazing (in Portuguese). *Ciência Rural*. 36: 910-915.
- Menke, K.H. and Steingass H, 1987. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Animal Research*. 28: 7-12.
- Martínez-Loperena, R., Castelán-Ortega, O.A., González-Ronquillo, M. and Estrada-Flores, J.G, 2011. Determinación de la calidad nutritiva, fermentación *In Vitro* y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del Ganado lechero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 525-536.
- Morales, A., Godoy, M., Beltrán, I., Muller, A., Balocchi, O. and Pulido, R, 2018. Changes in herbage mass and time of herbage allocation modify nutritional and metabolic status of dairy cows. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 78: 409-418. doi:10.4067/S0718-58392018000300409.
- 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77435-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77435-4)
- Restelatto, R., Pavinato, P.S., Sartor, L.R. and Paixão, S.J, 2013. Production and nutritional value of sorghum and black oat forages under nitrogen fertilization. *Grass and Forage Science*. 69: 693–704, <http://doi.org/10.1111/gfs.12076>
- Salgado, P., Thang, V.Q., Thu, T.V., Tranch, N.X., Cuong, V.C., Lecomte, P.Y. and Richard D, 2013. Oats (*Avena strigosa*) as winter forage for dairy cows in Vietnam: an on-farm study. *Tropical Animal Health and Production*. 45: 561–568. <http://doi.org/10.1007/s11250-012-0260-8>
- Sánchez-Gutiérrez, R.A., Gutiérrez-Bañuelos, H., Serna-Pérez, A., Gutiérrez-Luna, R., y Espinoza-Canales, A, 2014. Producción y

- calidad de forraje de variedades de avena en condiciones de temporal en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 5:131-142.
- Stroup, W.W., Hidebrand, P.E. and Francis, C.A., 1993. Farmer participation for more effective research in sustainable agriculture. In: Ragland J, Lai R (eds), *Technologies for sustainable agriculture in the tropics*. Special Publication 56. Madison: American Society of Agronomy. pp 153–186.
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B., France, J.A., 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48: 185–197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Vega-Garcia, J.I., Lopez-Gonzalez, F., Estrada-Flores, J.G., Flores-Calvete, G., Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M., 2020. Black oat (*Avena strigosa* Schreb.) grazing or silage for small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Part I. Crop and dairy cow performance. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 80: 515-525. [10.4067/S0718-58392020000400515](https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000400515)