



## Rendimiento de forraje y valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos y tradicionales de otoño-invierno



Anabel G. López-Jara <sup>a</sup>

David G. Reta-Sánchez <sup>b</sup>

Omar I. Santana <sup>c</sup>

Arturo Reyes-González <sup>d</sup>

Karla Rodríguez Hernández <sup>d</sup>

Jorge A. Granados-Niño <sup>a</sup>

Magaly J. López-Calderón <sup>a</sup>

Juan I. Sánchez-Duarte <sup>d\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Ejido Venecia Durango, México.

<sup>b</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Delicias. Cd. Delicias, Chihuahua, México.

<sup>c</sup> INIFAP. Campo Experimental Pabellón. Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México.

<sup>d</sup> INIFAP. Campo Experimental La Laguna. Blv. José Santos Valdéz No. 1200 Pte. 27440, Matamoros, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: [sanchez.juan@inifap.com.mx](mailto:sanchez.juan@inifap.com.mx)

### Resumen:

El objetivo fue evaluar el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos y tradicionales. Se evaluó el efecto de la especie sobre el rendimiento de materia seca (MS), la fermentación (pH y N-amoniaco [NH<sub>3</sub>-NT]) y el valor nutritivo (proteína cruda

[PC], fibra neutro detergente [FDN], carbohidratos no fibrosos [CNF]); calidad nutricional (total de nutrientes digestibles [TND]); valor nutritivo (energía neta de lactancia [EN<sub>L</sub>], la digestibilidad *in situ* de la MS [DMS] y la FDN [DFDN]) de los ensilados. La avena tuvo el mayor rendimiento de MS (9,784 kg ha<sup>-1</sup>) y cártamo el más bajo (6,998 kg ha<sup>-1</sup>), pero no hubo diferencias entre canola (8,937 kg ha<sup>-1</sup>), remolacha (8,828 kg ha<sup>-1</sup>), cebada (9,784 kg ha<sup>-1</sup>) y triticale (9,355 kg ha<sup>-1</sup>). La fermentación indicó un pH similar entre los ensilados evaluados, pero el NH<sub>3</sub>-NT fue superior en los ensilados de remolacha y cártamo que en los otros ensilados. La PC fue superior en los ensilados de canola, remolacha y cártamo (17.8 a 19.5%) que en los de avena, cebada y triticale (13.7 a 15.0 %;  $P < 0.0001$ ), pero la FDN fue superior en los últimos (49.7 a 53.4 %;  $P < 0.0001$ ). El ensilado de canola tuvo más CNF, TND y EN<sub>L</sub> y solo el ensilado de remolacha pudo igualarlo. La DMS fue superior en los ensilados de canola (80.52 %) y remolacha (84.55 %) que en los de avena (62.24 %), cebada (58.90 %) y triticale (62.79 %;  $P < 0.0001$ ). Sin embargo, la DFDN fue similar entre todos los ensilados.

**Palabras clave:** Canola, Remolacha, Cártamo, Digestibilidad.

Recibido: 03/08/2022

Aceptado: 10/12/2024

Los sistemas de producción intensiva de leche de bovino en México demandan forraje de alto valor nutritivo para mantener los actuales niveles de producción de las vacas. Incluir forrajes de alto valor nutritivo maximiza la ganancia por área de suelo sembrado<sup>(1)</sup>, aumenta el ingreso sobre el costo de alimentación<sup>(2)</sup> y mejora la vida productiva de las vacas a largo plazo<sup>(3)</sup>. Sin embargo, la producción de forrajes de alto valor nutritivo a nivel de establo suele verse afectada por condiciones climáticas adversas, disponibilidad y calidad del suelo agrícola, manejo agronómico y un limitado empleo de especies forrajeras. Bajo estas condiciones, es necesario ampliar el número de cultivos forrajeros en los actuales patrones de forrajes tradicionales en los establos lecheros.

En las principales cuencas lecheras de México, la producción de forrajes se basa en pocas opciones forrajeras. El maíz y sorgo como fuentes de energía se establecen en los ciclos productivos de primavera-verano<sup>(4)</sup>, la alfalfa como un cultivo proteico perenne<sup>(5)</sup> y la avena<sup>(6,7)</sup> u otros cereales de grano pequeño de otoño-invierno como el triticale<sup>(7)</sup> y la cebada<sup>(8,7)</sup> que aportan proteína y fibra cuando se henifican o ensilan. Con estos últimos se puede obtener forraje con un elevado contenido de proteína y bajas concentraciones de fibra; no obstante, su cosecha se tiene que realizar en estado de embuche. Lo anterior implica sacrificar el rendimiento de forraje por hectárea. Ahora bien, la cosecha de cereales puede

ocurrir hasta la formación de grano para obtener mejor rendimiento por hectárea, pero decae su valor nutritivo.

Una opción que puede incrementar el rendimiento y valor nutritivo que se obtienen con los cereales de grano pequeño durante el ciclo de producción de otoño-invierno es el empleo de forrajes alternativos. Entre estos forrajes alternativos destacan la canola, el cártamo y la remolacha forrajera. Estos forrajes se han adaptado satisfactoriamente al clima y suelo característicos en los sistemas de producción de leche ubicados en el norte de México<sup>(9,10)</sup>. Adicionalmente, estos cultivos forrajeros han demostrado buenos rendimientos de MS por hectárea y un elevado valor nutritivo ya sea como forraje fresco o conservados como ensilado<sup>(11-15)</sup>. Por lo tanto, es importante conocer el rendimiento de forraje y el valor nutritivo de estos forrajes alternativos conservados como ensilado para poder incorporarlos al patrón de forrajes tradicionales de otoño-invierno en los establos lecheros. El objetivo de este estudio fue evaluar el rendimiento de forraje y el valor nutritivo del ensilado de forrajes alternativos como canola, remolacha, cártamo y el de forrajes tradicionales como avena, cebada y triticale durante el otoño-invierno. La hipótesis fue que, existen similitudes en rendimiento de forraje y valor nutritivo entre los ensilados de canola, cártamo, remolacha, avena, cebada y triticale.

El experimento se llevó a cabo en el ciclo de producción de otoño-invierno 2018-2019, en el Campo Experimental La Laguna, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Matamoros, Coahuila, México (25° 32' N, 103° 14' O y 1,150 msnm). El suelo en el sitio experimental presenta una textura franco arcillosa, un contenido de materia orgánica de 1.6 % y pH de 8.3.

El estudio consistió en evaluar el rendimiento de MS del forraje a la cosecha; así como el pH, porcentaje de NH<sub>3</sub>-NT y el valor nutricional entre ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale. Las variedades empleadas fueron canola Ortégón, remolacha Starmon, cártamo CD868, avena Cuauhtémoc, cebada Narro-95 y triticale Río Nazas. Cada parcela experimental se estableció en 20 hileras con una distancia entre surcos de 18 cm y 6 m de longitud (21.6 m<sup>2</sup>). Las parcelas fueron distribuidas aleatoriamente en el terreno bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

La preparación del terreno consistió en un paso de barbecho, doble rastreo y nivelación con escropa. La siembra se realizó manualmente en suelo seco el 12 de octubre de 2018, y un día después se aplicó el riego de siembra. Las densidades de siembra por hectárea fueron de 12 kg para canola, 40 kg para remolacha, 40 kg para cártamo y 100 kg para avena y cebada, y 120 kg para triticale. En canola, remolacha y cártamo se realizó un aclareo de plantas a los 25 días después de la siembra (dds), para dejar una densidad de población de 120 plantas m<sup>-2</sup>. La dosis de fertilización para N y P se estimó considerando la capacidad de extracción del cultivo: 250 y 80 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> respectivamente. Antes de la siembra se aplicaron

50 kg de N ha<sup>-1</sup> y 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fuentes sulfato de amonio granulado y fosfato monoamónico. El resto de la dosis de N se aplicó de manera equitativa antes del primer y segundo riego de auxilio en todos los cultivos. No se aplicó fertilizante potásico porque los suelos en la región presentan un alto contenido de potasio disponible (3,030 kg ha<sup>-1</sup> a 0.30 m de profundidad<sup>(9)</sup>). La avena y el triticale requirieron seis riegos de auxilio, en remolacha se aplicaron cinco riegos de auxilio y en cebada, canola y cártamo se aplicaron cuatro riegos de auxilio. En total se aplicaron láminas de riego de 870 mm en avena y triticale; 750 mm en remolacha; y 630 mm en cebada, canola y cártamo.

En todos los cultivos se realizó cosecha manual en la etapa de embuche en avena (115 dds), cebada (104 dds) y triticale (114 dds), en inicio de floración en cártamo (129 dds) y canola (123 dds), y en la etapa vegetativa en la remolacha (129 dds). La parcela útil fue de 5 m de longitud de los 10 surcos centrales (9 m<sup>2</sup>). El forraje fresco de cada parcela útil se pesó para estimar la producción de forraje en base verde por hectárea. En cada parcela útil se tomó una muestra de forraje al azar de 0.4 m<sup>2</sup> para determinar el contenido de MS, para lo cual se muestrearon 0.74 m de los tres surcos centrales en cada parcela útil. La muestra de forraje se pesó en fresco y enseguida se deshidrató al interior de un invernadero por cinco días. Posteriormente, las muestras se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado durante 72 h. Con el porcentaje de MS del forraje y la producción de forraje en base verde se estimó la producción de forraje con base en MS. El resto del forraje se dejó deshidratar en el terreno para realizar los ensilados una vez que se alcanzó el porcentaje de MS óptimo (entre 35 y 40 %).

Para elaborar los ensilados, fue necesario determinar de manera regular mediante el uso de un horno de microondas<sup>(16)</sup>, el contenido de MS del forraje deshidratado en el campo hasta que alcanzó el porcentaje de MS entre 35 y 40 %. Una vez que el forraje alcanzó la MS deseada, se retiró del terreno para llevarlo al área donde se elaboraron los ensilados. El forraje deshidratado de cada tratamiento se procesó a un tamaño de partícula teórico de 3.5 a 12 mm utilizando un molino (Modelo JF5; Terramark, JF Máquinas Agrícolas). Los forrajes se colocaron dentro de cada mini-silo construidos con tubos de PVC (10.5 cm de diámetro x 18 cm de largo) sellados en la parte superior e inferior con una tapa de inserción del mismo material<sup>(17)</sup>. En la parte central de la tapa inferior de cada mini-silo se realizó un orificio con una broca de 2.78 mm para permitir escurrimiento al momento de realizar la compactación del forraje.

El forraje de cada tratamiento fue empacado utilizando una densidad de 240 kg m<sup>-3</sup> de MS<sup>(18)</sup>. La cantidad de forraje que se introdujo a cada mini-silo para lograr la densidad de empaque deseada se calculó empleando el valor del contenido de MS de cada forraje picado y el volumen de cada mini-silo. Dicho volumen se calculó como:  $V = \pi r^2 \times h$ , donde  $r$  es el radio y  $h$  es la altura. La compactación del forraje picado en cada mini-silo se realizó empleando una prensa manual, la cual está compuesta de un brazo metálico fijado en la parte superior

que entra en el mini-silo y un gato hidráulico de 4 t que genera la presión levantando el mini-silo. Finalmente, los mini-silos se taparon, se sellaron con cinta adhesiva y se transportaron al laboratorio para dejarlos fermentar durante un periodo de 60 días. El diseño experimental empleado para los ensilados fue de bloques completos al azar con cuatro repeticiones.

Después de abrir los mini-silos, se desecharon los primeros 5 cm de forraje de la parte superior; de cada uno se tomaron dos muestras de 20 g de ensilado fresco. A una de las muestras se le añadieron 200 ml de agua desionizada y se mezclaron por 30 seg empleando una licuadora de alta velocidad. La mezcla se filtró a través de tres capas de malla quesera; la fase líquida resultante se empleó para determinar el pH mediante un potenciómetro portátil (OHAUS Modelo ST2100, Parsippany, NJ, USA.)<sup>(19)</sup>. La segunda muestra de 20 g de ensilado fresco se empleó para determinar el contenido de N-amoniaco de cada muestra utilizando el procedimiento Kjeldahl de acuerdo con los métodos AOAC<sup>(20)</sup>. Del remanente de material de cada mini-silo se tomaron aproximadamente 500 g de muestra y se secaron a 60 °C en una estufa de aire forzado por 72 h para posteriores análisis bromatológicos. Las muestras secas se molieron para pasar una criba de 1 mm en un molino Wiley (Arthur T. Thomas, Swedesboro, NJ.). En cada muestra molida se determinó el contenido de N total con el método de Dumas mediante combustión en seco (Leco FP-528, St. Joseph, MO) y el porcentaje de PC se calculó como  $N \text{ total} \times 6.25$ . El análisis de fibras se realizó de manera secuencial iniciando con la determinación de FDN en 0.5 g de muestra que se introdujo en bolsas filtro con porosidad de 25  $\mu$  (F57, Ankom Tech., Macedonia, NY) y utilizando  $\alpha$ -amilasa termo-estable y sulfito de sodio en el analizador de fibras (A200, Ankom Tech., Macedonia, NY); después de que las bolsas se secaron y se registró el peso, se prosiguió con la determinación de FDA con CTAB y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en el mismo analizador de fibras. Finalmente, empleando las mismas bolsas se determinó el contenido de lignina utilizando H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 72 %. El contenido de cenizas se determinó al incinerar 2.0 g de muestra seca introducida en crisoles que fueron colocados en una mufla a 550 °C por 6 h. El contenido de carbohidratos no fibrosos (CNF) se obtuvo por diferencia como:  $CNF (\%) = 100 - (\% PC + \% FDN + \% \text{Cenizas} + \% EE)$ , en donde el EE (extracto etéreo) se asumió fue de 2.8 % para todas las muestras<sup>(21)</sup>. La estimación de TND y de EN<sub>L</sub> se calculó en el modelo NRC<sup>(21)</sup> con las ecuaciones 2-5 y 2-11, respectivamente, utilizando los resultados de los análisis bromatológicos obtenidos en cada muestra.

Para el análisis de digestibilidad se utilizaron 4.5 g de la muestra seca y se introdujeron en una bolsa de 10 × 20 cm con porosidad de 50  $\mu$  (R1020, Ankom Tech., Macedonia, NY) para incubarse en duplicado por 120 y 30 h en el saco ventral de dos vacas fistuladas del rumen (ENLS, Zapotlanejo, Jal.). Primero, se introdujeron las muestras a incubarse por 120 h para determinar el potencial digestible de la FDN (pdFDN<sub>120</sub>) y la FDN no digestible a 120 h (uFDN<sub>120</sub> = 100 - pdFDN); en tanto que las muestras para determinar la digestibilidad de la FDN a 30 h (DFDN<sub>30</sub>) se introdujeron 30 h antes de cumplirse las 120 h de incubación. Todas las bolsas se removieron del rumen simultáneamente y se sumergieron por 10 min en una

cubeta con agua fría a 4 °C. Posteriormente, todas las muestras se enjuagaron hasta obtener agua clara. Después, las bolsas se dejaron escurrir y se colocaron en una estufa de aire forzado para ser secadas a 55 °C por 48 h y calcular la MS digestible por diferencia de peso inicial respecto al peso final. Al final, se extrajeron aproximadamente 0.5 g de muestra remanente y se introdujeron en bolsa F57 (Ankom Tech., Macedonia, NY) para determinar FDN residual y calcular la pdFDN<sub>120</sub> y DFDN<sub>30</sub>.

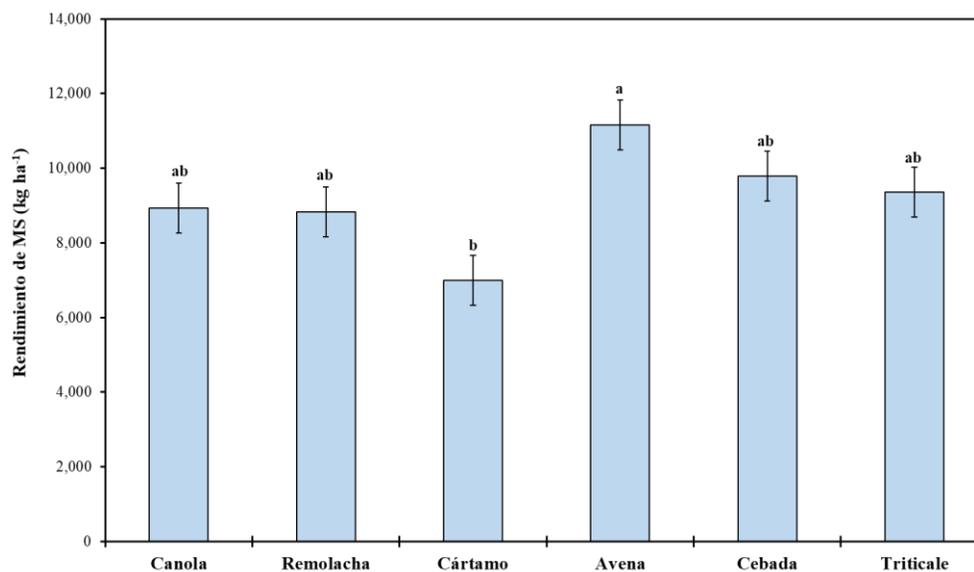
La producción de forraje en base seca a la cosecha, los indicadores de fermentación, el valor nutritivo y las digestibilidades de los ensilados se analizaron mediante varianza de una sola vía, de acuerdo al diseño de bloques completamente al azar utilizando el PROC MIXED de SAS versión 9.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC. USA).

El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ijk}$$

Dónde:  $Y_{ijk}$  es la variable dependiente representando los valores de producción, fermentación, valor nutritivo y digestibilidad,  $\mu$  es la media general,  $T_i$  es el efecto del tratamiento ( $i = 1$  a 6),  $B_j$  es el efecto aleatorio del bloque ( $j = 1$  a 4) y  $e_{ijk}$  es el error residual aleatorio. Se utilizó la prueba de Tukey-Kramer para separar las medias de los tratamientos, declarando una diferencia estadística en todas las variables a un valor de  $P \leq 0.05$ .

Los rendimientos de forraje (MS) se presentan en la Figura 1. Avena fue el cultivo que presentó el rendimiento de MS más elevado (11,161 kg ha<sup>-1</sup>). Cebada (9,784 kg ha<sup>-1</sup>), triticale (9,355 kg ha<sup>-1</sup>), canola (8,937 kg ha<sup>-1</sup>) y remolacha (8,828 kg ha<sup>-1</sup>) tuvieron un rendimiento intermedio e igual entre ellos. Cártamo, por su parte, fue el cultivo que mostró el rendimiento de MS más bajo (6,998 kg ha<sup>-1</sup>) entre todos los forrajes evaluados. Es posible que la fecha de siembra no favoreció al cártamo, ya que la mejor producción de MS en este cultivo se ha obtenido cuando se realiza la siembra entre finales de noviembre y principios de diciembre<sup>(10)</sup>. En otro estudio<sup>(22)</sup> encontraron producciones de MS por hectárea, similares entre remolacha (7,884 kg), canola (7,396 kg), cártamo (8,179 kg), triticale (7,245 kg) y cebada (7,384 kg). Las producciones de MS de canola y remolacha del presente estudio son superiores a las observadas por otros autores<sup>(23)</sup> en avena (7,346 kg), cebada (7,263 kg) y triticale (7,972 kg) cosechados en un estado de madurez de grano lechoso-masoso. La producción de MS es uno de los principales factores a considerar cuando se pretende introducir un nuevo forraje a un patrón de forrajes tradicionales ya existente. La escasez de alimento es uno de los principales factores que limita la producción de leche y normalmente se atribuye a una baja producción de forraje de calidad y a una limitada diversificación de especies forrajeras<sup>(24)</sup>. Entonces, debido a su comportamiento productivo, el rendimiento de MS de canola y remolacha en el presente estudio puede contribuir a mejorar la producción de forrajes de calidad en otoño-invierno.

**Figura 1:** Rendimiento de MS a la cosecha de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale durante otoño-invierno

<sup>ab</sup> Medias con letra desigual son diferentes ( $P \leq 0.05$ ; EE= 670.59 kg ha<sup>-1</sup>).

En el Cuadro 1 se presentan dos parámetros de la fermentación y el valor nutritivo de los ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale. Respecto a la fermentación, no se observó diferencia significativa en el pH entre los ensilados evaluados. En la producción de N-amoniaco, se observó que los ensilados de remolacha (15.98 %) y cártamo (15.95 %) tuvieron mayores concentraciones de NH<sub>3</sub>-NT que los ensilados de avena (11.48 %), cebada (14.36 %) y triticale (13.93 %). Sólo el ensilado de canola mostró una concentración similar de NH<sub>3</sub>-NT (15.10 %) que los ensilados de avena, cebada y triticale ( $P=0.05$ ). El pH de todos los ensilados de este estudio fue ligeramente mayor al pH sugerido para ensilados de leguminosas (4.3 a 5.0)<sup>(25)</sup>. Dicho valor de referencia fue tomado de ensilados de leguminosas debido a que tanto los forrajes tradicionales como los alternativos del presente estudio tienen elevados contenidos de PC, los cuales le infieren mayor capacidad neutralizante a los cultivos, por lo que el pH no disminuye marcadamente como en cultivos con menores contenidos de proteína cruda<sup>(25)</sup>.

La fermentación microbiana y la degradación de la proteína durante el proceso de fermentación de los ensilados incrementa la cantidad de N-amoniaco que no debe rebasar entre el 10 al 15 % del N total. Concentraciones de N-amoniaco mayores han sido asociadas con la degradación excesiva de proteínas durante el almacenamiento en el silo, lo cual puede estar ligado a una caída lenta del pH o por la actividad proteolítica de los clostridios<sup>(25,26)</sup>. Entonces, considerando el pH y el N-amoniaco observado del presente estudio, se puede considerar que los ensilados evaluados tuvieron una fermentación de pobre a regular durante el almacenamiento en el silo.

**Cuadro 1:** Fermentación y valor nutritivo de ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale durante el otoño-invierno

Concepto	Canola	Remolacha	Cártamo	Avena	Cebada	Triticale	EE	Valor de <i>P</i>
<i>Fermentación</i>								
pH	5.13	5.15	4.97	4.75	5.03	5.00	0.19	0.73
NH <sub>3</sub> -NT (% N total)	15.10 <sup>ab</sup>	15.98 <sup>a</sup>	15.95 <sup>a</sup>	11.48 <sup>b</sup>	14.36 <sup>ab</sup>	13.93 <sup>ab</sup>	1.00	0.05
<i>Composición química<sup>1</sup></i>								
MS (% del ensilado)	39.32	41.95	44.81	38.80	37.09	39.57	1.73	0.07
PC	19.51 <sup>a</sup>	18.17 <sup>a</sup>	17.88 <sup>a</sup>	13.76 <sup>b</sup>	14.78 <sup>b</sup>	15.06 <sup>b</sup>	0.60	<.0001
FDN	30.27 <sup>bc</sup>	23.74 <sup>c</sup>	37.10 <sup>b</sup>	52.02 <sup>a</sup>	53.40 <sup>a</sup>	49.79 <sup>a</sup>	1.54	<.0001
FDA	27.92 <sup>a</sup>	18.16 <sup>b</sup>	28.45 <sup>a</sup>	32.20 <sup>a</sup>	34.07 <sup>a</sup>	31.17 <sup>a</sup>	1.44	<.0001
Lignina	5.12 <sup>c</sup>	7.48 <sup>b</sup>	10.11 <sup>a</sup>	4.26 <sup>c</sup>	4.78 <sup>c</sup>	4.43 <sup>c</sup>	0.45	<.0001
LFDN <sup>2</sup> , % FDN	16.89 <sup>c</sup>	31.54 <sup>a</sup>	27.20 <sup>b</sup>	8.12 <sup>d</sup>	8.92 <sup>d</sup>	9.11 <sup>d</sup>	0.98	<.0001
Cenizas	14.12 <sup>b</sup>	28.06 <sup>a</sup>	19.12 <sup>b</sup>	12.84 <sup>b</sup>	13.72 <sup>b</sup>	14.95 <sup>b</sup>	1.70	<.0001
CNF	33.61 <sup>a</sup>	27.54 <sup>ab</sup>	23.96 <sup>bc</sup>	18.87 <sup>bc</sup>	15.60 <sup>c</sup>	17.70 <sup>c</sup>	2.01	<.0001
TND	71.65 <sup>a</sup>	62.12 <sup>bc</sup>	65.70 <sup>ab</sup>	60.42 <sup>bc</sup>	56.23 <sup>c</sup>	59.47 <sup>bc</sup>	1.87	0.0005
EN <sub>L</sub> , Mcal/kg MS	1.76 <sup>a</sup>	1.47 <sup>bc</sup>	1.57 <sup>ab</sup>	1.38 <sup>bc</sup>	1.26 <sup>c</sup>	1.36 <sup>bc</sup>	0.06	0.0004

<sup>abc</sup> Medias con distinta literal dentro de cada fila son diferentes al nivel de probabilidad indicado. EE= error estándar.

NH<sub>3</sub>-NT= N-amoniaco como porcentaje del nitrógeno total; MS= materia seca; PC= proteína cruda; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácido; CNF= carbohidratos no fibrosos; TND= total de nutrientes digestibles; EN<sub>L</sub>= energía neta de lactancia.

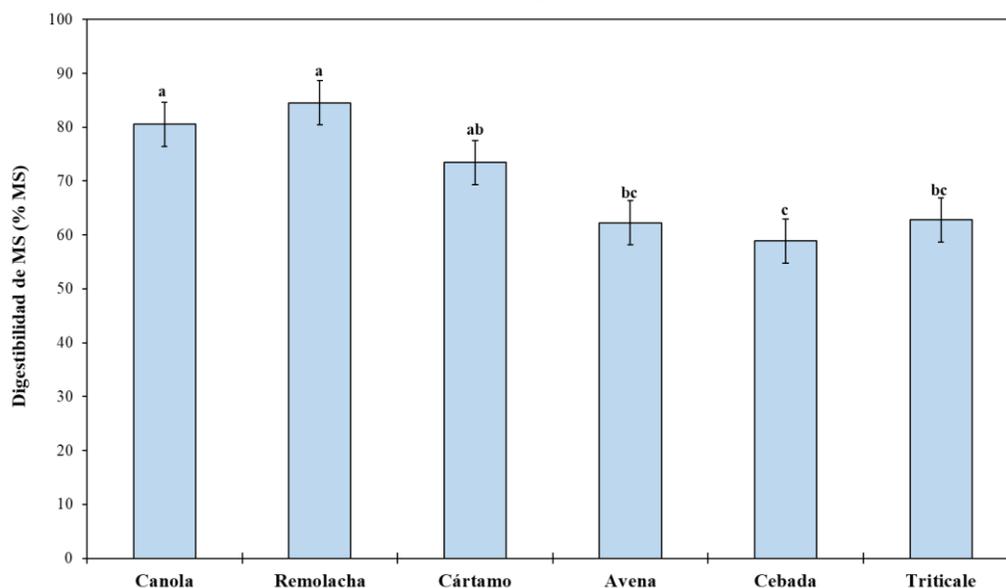
<sup>1</sup> Composición química expresada como porcentaje de la materia seca (MS), a menos que se indique lo contrario.

<sup>2</sup> LFDN= FDN lignificada calculada como 100 x (% Lignina / % FDN).

En cuanto al valor nutritivo, se observó que la MS de los ensilados de remolacha (41.95 %) y canola (44.81 %) tendió a ser superior ( $P=0.07$ ) que el resto de los ensilados evaluados (37.09 - 39.57 %). Es posible que los elevados contenidos de MS de los forrajes en el presente estudio también contribuyeron a tener un pH elevado en los ensilados. Sobre todo, porque se ha encontrado que la falta de humedad afecta el crecimiento de bacterias ácido lácticas<sup>(27)</sup>, las cuales son las responsables de acidificar el ensilado mediante la producción de ácido láctico. Las concentraciones de PC de los ensilados de canola (19.5 %), remolacha (18.1 %) y cártamo (17.8 %) fueron superiores ( $P<0.0001$ ) a las que se observaron en los ensilados de avena (13.7 %), cebada (14.7 %) y triticale (15.0 %). Además, la concentración de FDN fue mayor en los ensilados de avena, cebada y triticale (49.7 a 53.4 %) respecto a la de los ensilados de canola, remolacha y cártamo (23.7 a 37.1 %;  $P<0.0001$ ). Un mayor contenido de PC y baja concentración de FDN han sido considerados como dos de los parámetros más importantes para clasificar a los forrajes de alta calidad<sup>(28)</sup> que llegan a inferir significativamente el consumo de alimento y la productividad en vacas lecheras. En una evaluación de diferentes especies de forrajes alternativos y tradicionales se encontraron contenidos mayores de PC en remolacha (25.6 %), canola (24.9 %) y cártamo (22.8 %) en comparación con triticale y cebada (9.2 %)<sup>(21)</sup>. Estos autores<sup>(21)</sup> también reportaron mayores concentraciones de FDN en el forraje de cebada (60 %) y triticale (53.5 %) respecto a las observadas en canola (34.5 %), remolacha (22.4 %) y cártamo (41.8 %). Si bien, los valores de proteína y FDN reportados en ese trabajo<sup>(21)</sup> son mayores a los del presente estudio, dichas diferencias pueden ser debidas a la etapa de cosecha; sin embargo, los cultivos forrajeros alternativos presentan en ambos estudios mejor valor nutricional que la de los tradicionales. Otros autores<sup>(15)</sup> encontraron que, el ensilado de canola elaborado a escala comercial tuvo en promedio de 4 a 5 % más PC y de 20 a 25 % menos FDN que los ensilados de avena y triticale. En la concentración de FDA, sólo el ensilado de remolacha presentó valores inferiores a los de los otros ensilados evaluados. Lo anterior implica que, los ensilados de canola, remolacha y cártamo pueden considerarse como una opción viable para producir forrajes proteicos de bajo contenido fibroso en el ciclo de otoño-invierno.

El ensilado de canola presentó valores mayores de CNF, TND y EN<sub>L</sub> y sólo el ensilado de remolacha pudo igualarlo en CNF y el de cártamo en TND y EN<sub>L</sub> (Cuadro 1). Valores superiores de EN<sub>L</sub> (1.76 Mcal kg<sup>-1</sup> MS) en el ensilado de canola del presente estudio son consistentes a los encontrados en ensilados de avena, cebada y triticale (0.60-1.06 Mcal kg<sup>-1</sup> MS)<sup>(29,30)</sup>. La digestibilidad *in situ* de la MS a 30 h de incubación se presenta en la Figura 2. La mayor digestibilidad de la MS se observó en los ensilados de canola (80.5 %) y remolacha (84.5 %). Esta estuvo seguida por la que presentaron los ensilados de cártamo (73.4 %), avena (62.2 %) y triticale (62.7 %) y finalmente, por la obtenida con el ensilado de cebada (58.9 %).

**Figura 2:** Digestibilidad *in situ* de la MS a 30 horas de incubación de ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale durante otoño-invierno



<sup>ab</sup> Medias con letra distinta son diferentes ( $P < 0.0001$ ; EE = 4.11 %).

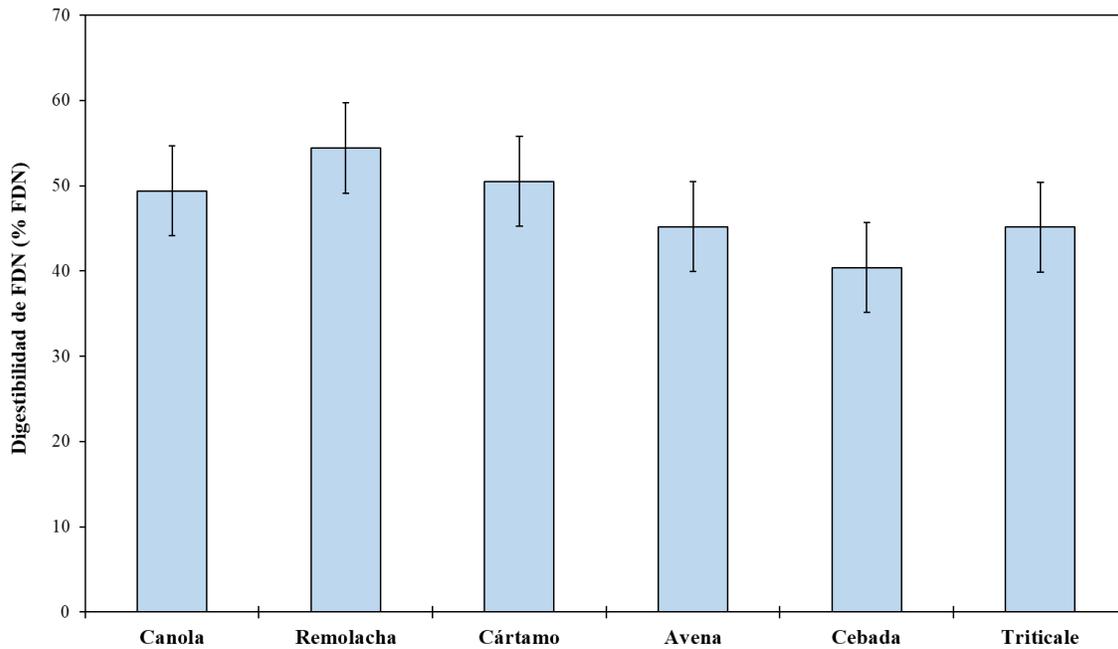
Lo anterior está asociado a un mayor contenido de FDN en los ensilados de avena, cebada y triticale respecto a la contenida en los ensilados de canola y remolacha. La mayor digestibilidad de la MS de los ensilados de forrajes alternativos comparada con la de los forrajes tradicionales observada en el presente estudio es consistente con investigaciones previas, ya que se han reportado digestibilidades superiores en canola (84 %) <sup>(31)</sup>, remolacha (76 %) <sup>(14)</sup> y cártamo (65 %) <sup>(32)</sup> a las de la avena (64 %), cebada (58 %) y triticale (59 %) <sup>(22)</sup>.

La proporción de nutrientes más solubles como la proteína y los carbohidratos, respecto a los componentes fibrosos, también contribuyen a incrementar la digestibilidad de los forrajes <sup>(33, 34)</sup>. En el presente estudio, los ensilados de canola y remolacha presentaron en promedio 4.31 % y 13.2 % más PC y CNF, respectivamente, que los ensilados de avena, cebada y triticale. La alimentación con forrajes altamente digestibles mejora el consumo y el comportamiento productivo del animal. En novillos alimentados con una mezcla de ensilado de pasto y alfalfa se encontró un aumento en el consumo de 23 g de MS por cada kilogramo de ensilado cuando la digestibilidad *in situ* de este incremento 4.6 unidades porcentuales <sup>(35)</sup>.

La digestibilidad *in situ* de la FDN a 30 h de incubación (DFDN<sub>30</sub>) fue similar entre los diferentes ensilados evaluados (Figura 3). Aun cuando los ensilados de canola, remolacha y cártamo contuvieron menos FDN, la lignificación de la FDN (LFDN) fue superior en estos (canola = 16.8 %, remolacha = 31.5 % y cártamo = 27.2 %) que en los ensilados de avena (8.1 %), cebada (8.9 %) y triticale (9.1 %; Cuadro 1). Lo anterior condujo a que una menor o mayor fracción de la FDN es pdFDN<sub>120</sub> (potencial digestible de la FDN a 120 h de

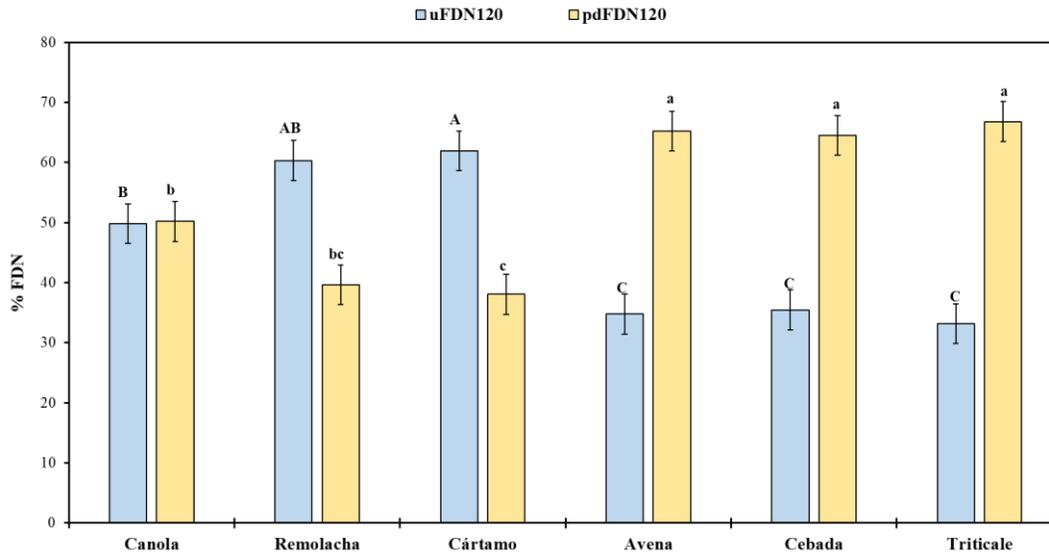
incubación) o uFDN<sub>120</sub> (FDN no digestible a 120 h de incubación) respectivamente, en los ensilados de canola, remolacha y cártamo (Figura 4). Esto claramente explica la similar DFDN<sub>30</sub> pese a diferencias en magnitud de FDN entre los ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale. No hay suficiente literatura que documente la DFDN<sub>30</sub> en canola, remolacha y cártamo; mientras que los resultados de los forrajes de avena, cebada y triticale coinciden con los reportados por otros autores<sup>(36)</sup>. Aunque se observaron diferencias significativas en la digestibilidad de la MS entre los ensilados evaluados del presente estudio, es importante evaluar su efecto en el consumo y el comportamiento productivo animal. Sobre todo, porque forrajes altos en uFDN se han relacionado con un mayor tiempo de retención y llenado intestinal en vacas lecheras<sup>(37)</sup>; lo cual puede afectar negativamente la digestibilidad de la fibra y el consumo potencial en el animal<sup>(38)</sup>.

**Figura 3:** Digestibilidad *in situ* de la FDN a 30 horas de incubación de ensilados canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale durante otoño-invierno



<sup>ab</sup> Medias con letra distinta son diferentes ( $P=0.33$ , EE= 5.28 %).

**Figura 4:** Potencial digestible de la FDN (pdFDN<sub>120</sub>) y FDN no digestible (uFDN<sub>120</sub>) a 120 horas de incubación de ensilados de canola, remolacha, cártamo, avena, cebada y triticale durante otoño-invierno



Medias con letra distinta dentro de cada categoría son estadísticamente diferentes (pdFDN<sub>120</sub> [ $P < 0.0001$ , EE= 3.32%]; uFDN<sub>120</sub> [ $P < 0.0001$ , EE= 3.32%]).

En general, la avena presentó el rendimiento de MS más elevado y cártamo el más bajo, pero no hubo diferencias entre canola, remolacha, cebada y triticale. El pH de los ensilados fue elevado sin diferencias entre los forrajes evaluados, pero el N-amoniaco fue superior en remolacha y cártamo que en el resto de los ensilados. Esto fue debido a la elevada MS de los ensilados y al alto contenido de proteína de los forrajes, respectivamente. Los ensilados de canola, remolacha y cártamo tienen menor FDN y superior PC que los ensilados de avena, cebada y triticale. Además, los ensilados de canola y remolacha presentan mayor digestibilidad *in situ* de la MS que el resto de los ensilados; lo cual se asocia a su menor proporción de fibra y mayores componentes solubles como la proteína y los carbohidratos. La digestibilidad *in situ* de la FDN fue similar entre los ensilados, pero la FDN indigestible fue superior en canola, remolacha y cártamo como resultado de una mayor lignificación de la fibra en estos forrajes. Se concluye que los ensilados de canola, remolacha y cártamo representan una alternativa para ampliar el patrón de producción de forrajes tradicionales de otoño-invierno. Sin embargo, se requieren estudios *in vivo* para medir el valor nutritivo de estos forrajes en el ganado.

### Agradecimientos

Este estudio se llevó a cabo con financiamiento para proyectos de investigación otorgado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

**Literatura citada:**

1. Wangsness PJ, Muller LD. Maximum forage for dairy cows: Review. *J Dairy Sci* 1981;64:1-13. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(81\)82522-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82522-2).
2. Buza MH, Holden LA, White RA, Ishler VA. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. *J Dairy Sci* 2014;97(5):3073-3080. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7622>.
3. Chase LE, Grant RJ. High forage ration – What do we know. In: Proc Cornell Nutrition Conference. Department of Animal Science in the College of Agriculture and Life Sciences at Cornell University. Syracuse, NY. Cornell University, Ithaca, NY. 2013. <https://hdl.handle.net/1813/36474>.
4. Ríos FJL, Torres MM, Castro RF, Torres MAM, Ruiz JT. Determinación de la huella hídrica azul en los cultivos forrajeros del DR-017, Comarca Lagunera, México. *Rev. FCA UNCUYO*. 2015;47(1):93-107. <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382841103007.pdf>.
5. Alvarado RS, Guerrero MS, Anchondo NJA, Rivas LBA, Palacios MA. Importancia económica y biológica de la alfalfa en el centro de Chihuahua. *Rev Biol Agropecu Tuxpan*. 2017;5(2):68-74. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v5i2.114>.
6. Ramírez-Ordóñez, S, Domínguez-Díaz D, Salmerón-Zamora JJ, Villalobos-Villalobos G, Ortega-Gutiérrez JA. 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* 2013;36(4):395-403. <https://doi.org/10.35196/rfm.2013.4.395>.
7. Flores OMA, Palomo RM, Figueroa VU. Producción de forraje con cereales de grano pequeño. Folleto Técnico No. 37. Inifap-Campo Experimental Zacatecas. ISBN: 978—607-425-743-4. 2011;54.
8. Zamora DM, Pérez RJA, Huerta ZR, López CML, Gómez MR, Rojas MI. Maravilla: variedad de cebada forrajera para los valles altos de México. *Rev Mex Cienc Agric* 2017;8(6):1449-1454. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i6.317>.
9. Santamaría JC, Reta SDG, Chávez GJF, Cueto WJA, Romero PRJI. Caracterización del medio físico en relación a cultivos forrajeros alternativos para la Comarca Lagunera. Libro Técnico No. 2. ISBN 970-43-0048-4. INIFAP-CIRNOC-CELALA. 2006;240. <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/1944>. Consultado 26 Feb, 2021.

10. Reta SDG, Serrato CJS, Figueroa VR, Cueto WJA, Berúmen PS, Santamaría CJ. Cultivos alternativos con potencial de uso forrajero en la Comarca Lagunera. Libro Técnico Núm. 3. ISBN: 978-607-425-042-8. INIFAP-CIRNOC-CELALA. Torreón, Coahuila, México. 2008;268.
11. Landau S, Friedman S, Brenner S, Bruckental I, Weinberg ZG, Ashbell G, Hen Y, Dvash L, Leshem Y. The value of safflower (*Carthamus tinctorious*) hay and sialgegrown under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. Livest Prod Sci 2004;88:263-271. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.11.011>.
12. Danieli PP, Primi R, Ronchi B, Ruggeri R, Rossini F, Del Puglia S, Cereti CF. The potential role of spineless safflower (*Carthamus tinctorius* L. var. Inermis) as fodder crop in central Italy. Italian J Agron 2011;6:e4: 19-22. <https://doi.org/10.4081/ija.2011.e4>.
13. Reta SDG, Serrato CJS, Quiroga GHM, Gaytan MA, Figueroa VU. Secuencia de cultivo alternativas para incrementar el potencial forrajero y productividad del agua. Rev Mex Cienc Pecu 2017;8(4):397-406. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4645>.
14. Olomonchi EOA, Kilic U, Garipoglu AV, Erisek A. Comparison of forage quality and *in vitro* digestibilities of fodder beet (*Beta vulgaris* var. *Rapa*) fresh and material and silage. J Scient Engin Res 2019;6(11):172-178.
15. Sánchez DJI, Reta SDG, Ochoa ME, Santana OI, Rodríguez HK. Producción y uso de ensilaje de canola en establos lechero de la Comarca Lagunera. Desplegable para productores, No. 35. INIFAP-CIRNOC Campo Experimental La Laguna. Matamoros, Coahuila, México. 2019.
16. Griggs TC. Determining forage dry matter concentration with a microwave oven. Utah State University. Cooperative Extension. AG/Forage & Pasture 2005;01. [https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2739&context=extension\\_curall](https://digitalcommons.usu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2739&context=extension_curall).
17. Solórzano LC, Solórzano LL, Rodríguez-Carías A. Triticale silage treated or not with homolactic acid bacteria ensiled in laboratory mini-silos. J Agric Univ P R 2016;100(2):183-201. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v100i2.12730>.
18. Holmes BJ. Choosing forage storage facilities. Prepared for dairy feeding systems management, components and nutrients (NRAES-16) Natural Resource, Agriculture and Engineering and Service. Cornell University, Ithaca, NY. 1998;1-22. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/Choosing.pdf>.

19. Contreras-Govea FE, Albrecht KA, Muck RE. Spring yield and silage characteristics of kura clover, winter wheat, and mixtures. *Agron J* 2006;98:781-787. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0248>.
20. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*. 15th ed. Arlington. Virginia 22201, USA. 1990.
21. NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th rev. ed. Washington, DC: Natl. Acad. Press; 2001.
22. Ortiz MJ, Serrato JS, Reta DG, Castellanos E, Valenzuela JJ, Puentes, GJ. Composición química y producción de forraje de cuatro cultivos alternativos y dos tradicionales en la Comarca Lagunera. XXVI Semana Internacional de Agronomía. Gómez, Palacio, Durango, México. ISBN: 978-607-503-142-2. 2014;290-296. [http://faz.ujed.mx/files/sia\\_2014.pdf](http://faz.ujed.mx/files/sia_2014.pdf).
23. McCartney DH, Vaage AS. Comparative yield and feeding value of barley, oat and triticale silage. *Can J Anim Sci* 1994;74:91-96. <https://doi.org/10.4141/cjas94-014>.
24. Menguistu S, Nurfeta A, Tolera A, Bezabih M, Adie A, Wolde-meskel E, Zenebe M. Livestock production challenge and improved forage production efforts in the Damot Gale district of Wolaita zone, Ethiopia. *Adv Agric Vol.* 2021. Article ID 5553659. <https://doi.org/10.1155/2021/5553659>.
25. Kung L Jr, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. Silage review: interpretation of chemical, microbial and organoleptic components of silages. *J Dairy Sci* 2018;101:4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>.
26. Kung L, Shaver R. Interpretation and use of silage fermentation analysis report. Focus on forage. University of Wisconsin Madison. UW Extension. 2001;3(13):1-5. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2016/10/Fermentation2.pdf>.
27. Muck RE, Moser LE, Pitt RE. Postharvest factors affecting ensiling. 251-304. In: Buxton DR, Muck RE, Harrison JH editors. *Silage science and technology*, Agron Monogr 42. Madison, WI: ASA, CSSA, and SSSA,2003.
28. Ball DM, Collins M, Lacefield GD, Martin NP, Mertens DA, Olson KE, Putnam DH, Undersander DJ, Wolf MW. *Understanding forage quality*. American Farm Bureau Federation Publication 2001;1-01, Park Ridge, IL.
29. Horst EH, Neuman M, Mareze J, Leão GFM, Junior VHB, Mendes MC. Nutritional composition of pre-dried silage of different winter cereals. *Acta Scientiarum. Anim Sci* 2018;40(1):e 42500. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v40i1.42500>.

30. Junior VHB, Emile JC, Jobim CC, Rossi RM, Horst EH, Novak S. Performance and milk quality of cows fed triticale silage or intercropped with oats or legumes. *Scientia Agric* 2021;78(2):e20190124 <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0124>.
31. Sun XZ, Waghorn GC, Hoskin SO, Harrison SJ, Muetzel S, Pacheco D. Methane emissions from sheep fed fresh Brassicas compared to perennial ryegrass. *Anim. Feed Sci Technol* 2012;176:107-116. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.013>.
32. Landau S, Friedman S, Brenner S, Bruckental I, Weinberg ZG, Ashbell G, Hen Y, Dvash L, Leshem Y. The value of safflower (*Carthamus tinctorious*) hay and silage grown under Mediterranean conditions as forage for dairy cattle. *Livest Prod Sci* 2004;88:263-271. <https://doi.org/10.1016/j.livprodsci.2003.11.011>.
33. Seven PT, Çerçi IH. Relationship between nutrient composition and feed digestibility determined with enzymatic and nylon bag (*in situ*) techniques in feed sources. *Bulgarian J Vet Med* 2006;9(2):107-113.
34. Smith LW, Goering HK, Gordon CH. Relationship of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. *J Dairy Sci* 2021;55(8):1140-1147. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(72\)85636-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(72)85636-4).
35. Marina AG, Keyserlingk V, Mathison GW. Use of the *in situ* technique and passage rate constants in predicting voluntary intake and apparent digestibility of forage by steers. *Can J Anim Sci* 1989;69:973-987. <https://doi.org/10.4141/cjas89-112>.
36. Brown AN, Ferreira G, Teets CL, Thomason WE, Teutsch CD. Nutritional composition and *in vitro* digestibility of grass and legume winter (cover) crops. *J Dairy Sci* 2018;101:2037-2047. <http://doi.org/10.3168/jds.2017-13260>.
37. West JW, Hill GM, Gates RN, Mullinix BG. Effects of dietary forage source and amount of forage addition on intake, milk yield, and digestion for lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 1997;80:1656-1665. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76097-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76097-1).
38. Nair J, Christensen D, Yu P, Beattie AD, McAllister T, Damiran D, Preston N, Fuhr L, McKinnon JJ. A nutritional evaluation of common barley varieties grown for silage by beef and dairy producers in western Canada. *Can J Anim Sci* 2016;96:598–608. <https://doi.org/10.1139/cjas-2016-0032>.