

Composición bromatológica del ensilado de vicia (*Vicia sativa* L) asociado con cebada (*Hordeum vulgare* L) y urea

Bromatological composition of vetch (*Vicia sativa* L) silage associated with barley (*Hordeum vulgare* L) and urea

José Luis Contreras Paco^{3,4}, Erika Pierina Basurto Salvatierra¹, Alfonso Cordero Fernandez², Hugo Raúl Ramírez Rivera¹, Rufino Paucar Chanca¹, Michael Esteban Paytan¹, Kelly Huaman Soto²

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la composición bromatológica del ensilado de vicia asociado a la cebada en cinco proporciones y dos niveles de urea. Se utilizó un diseño completamente al azar con tres repeticiones en esquema factorial de 5 x 2 (proporciones, urea). Las proporciones de vicia y cebada fueron: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 y 100:0, respectivamente. La urea participó en los niveles de 0 y 1% en base materia seca. Se utilizaron microsilos de tubos de PVC de 10 cm (diámetro) x 60 cm (altura) durante 121 días. Se tomaron muestras de los silos para determinar materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDA), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa, materia mineral (MM) y pH. Los ensilados vicia:cebada 50:50, 75:25 y 100:0 sin urea presentaron mayor contenido de MS que los ensilados amonificados ($p < 0.05$). La PC aumentó linealmente en los ensilados con y sin urea, especialmente los amonificados vicia:cebada 25:75 y 50:50. La FDN de las proporciones vicia:cebada amonificadas presentaron efecto lineal negativo (52.58 a 45.30% de FDN) al igual que la hemicelulosa (21.92 a 9.51%). La FDA, asimismo, disminuyó en los ensilados vicia/cebada sin y con urea con la proporción de 75:25 (35.92 a 31.23% de FDA). Se confirma que la amonificación con urea mejoró el valor nutritivo de la asociación vicia-cebada.

Palabras clave: cebada, vicia, amonificación, forrajes, ensilado

¹ Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos, Universidad Nacional de Huancavelica, Ciudad Universitaria de Paturpampa, Huancavelica, Perú

² Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

³ Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

⁴ E-mail: jose.contreras@unh.edu.pe

Recibido: 5 de noviembre de 2019

Aceptado para publicación; 6 de julio de 2020

Publicado: 29 de septiembre de 2020

ABSTRACT

The present study aimed to determine the bromatological composition of the vetch silage associated with barley in five proportions and two levels of urea. A completely randomized design with three repetitions in a factorial scheme of 5 x 2 (proportions, urea) was used. The ratios of vetch and barley were: 0:100, 25:75, 50:50, 75:25 and 100:0, respectively. Urea was added in 0 and 1% levels on a dry matter basis. Micro silos of PVC tubes 10 cm (diameter) x 60 cm (height) were used for 121 days. Samples were taken from the silos to determine dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), hemicellulose, mineral matter (MM) and pH. The vetch:barley 50:50, 75:25 and 100:0 without urea had higher DM content than the ammonified silages ($p < 0.05$). The CP increased linearly in the silages with and without urea, especially the vetch/barley ammoniates: 25:75 and 50:50. The NDF of the ammoniated vetch/barley ratios presented a negative linear effect (52.58 to 45.30% of NDF), as did hemicellulose (21.92 to 9.51%). The FDA also decreased vetch/barley silages without and with urea with the ratio of 75:25 (35.92 to 31.23% of FDA). It is confirmed that the urea ammonification improved the nutritional value of the vetch-barley association.

Key words: associated, barley, vicia, ammonification, production, forages

INTRODUCCIÓN

La sierra central del Perú se caracteriza por tener una época de lluvias con abundancia de pastos y otra época seca que frena la actividad productiva de la ganadería, debiendo utilizarse estrategias que disminuyan sus efectos negativos. Frente a esta realidad, se buscan fuentes alimenticias forrajeras con abundante producción durante la época de lluvias que puedan ser cosechadas y conservadas para su utilización durante los meses de sequía (Nestares, 2014).

La avena forrajera es el principal forraje utilizado en la zona de la sierra y se cuenta con diversas variedades; no obstante, se requiere precisar sus valores nutricionales. De igual manera la vicia es una alternativa forrajera de alta calidad en áreas templadas de los valles de la sierra (Ordoñez y Bojórquez, 2011).

Forrajes a partir de cereales como la avena, sorgo cebada, maíz y trigo son de gran importancia en la alimentación del ganado por

su alta producción de materia seca y bajo costo; sin embargo, son deficientes en tenores de proteína. Por otro lado, las leguminosas forrajeras se utilizan en la nutrición del ganado por su alto contenido de proteínas a bajo costo, pero tienen un bajo rendimiento de materia seca (Eskandari *et al.*, 2009).

La conservación de forrajes de cereales de grano pequeño, por sus altos excedentes de producción en verde, son destinados a la elaboración de ensilado debido a su gran rendimiento de materia seca (MS) y de energía por unidad de superficie (Leaver y Hill, 1992), pero una cosecha en estado fenológico avanzado influye en su valor nutritivo, debido a los tenores en fibra detergente neutra que afectan el llenado del rumen y la ingesta de MS (Khorasani *et al.*, 1997).

Se ha evidenciado que los ensilados de trigo y cebada en relación con ensilados de avena tienen una mejor respuesta animal (Elizalde *et al.*, 1995). No se dispone de evidencias de uso de incorporación de vicia; sin embargo, el ensilado de cebada puede ser una alternativa respecto al ensilado de maíz (*Zea*

mays), en sistemas de engorda de novillos (Rojas y Catrileo, 1996). Por otro lado, el uso de urea aplicado en ensilados de cebada y avena se refleja en un aumento del componente nitrogenado (nitrógeno amoniacal) y pH de los ensilajes tratados, aunque el uso de cebada sin adición de urea mostró una mejor respuesta animal en términos de peso vivo y eficiencia de utilización de los alimentos (Elizalde y Gallardo, 2003).

El tratamiento de materia primas altos en fibra, empleando urea como fuente de amoníaco, generalmente denominado amonificación, se conoce como método de fácil implantación en la producción forrajera en las zonas productoras de cereales, siendo utilizadas para incrementar la calidad de recursos con elevado contenido de fracciones refractarias en su pared celular (Briceño *et al.*, 2011).

En la región de Huancavelica no existe información de la composición bromatológica de la vicia y cebada como ensilado, y menos aún para la asociación vicia y cebada. Además, se desconoce la influencia de la urea sobre el valor nutritivo de estos forrajes. Bajo estas consideraciones, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la composición bromatológica del ensilado de vicia asociado a la cebada en cinco proporciones y con dos niveles de urea.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El experimento se llevó a cabo en la Escuela Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), Perú, a 3500 msnm. La zona se caracteriza por ser templado moderado y lluvioso en los meses de diciembre a marzo y con bajas temperaturas en los meses de abril a octubre. La temperatura media anual varía entre 6 y 14 °C (Flores, 1993). Los análisis bromatológicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición

Animal y Evaluación de Alimentos (LUNEA) de la UNH, entre abril de 2016 y febrero de 2017.

Material Biológico

Se utilizó la vicia (*Vicia sativa* L) variedad California, y cebada (*Hordeum vulgare* L) variedad Centenario. La siembra se realizó en diciembre de 2016 y la cosecha fue a inicios de marzo de 2017 a una edad de 110 días, según el estado lechoso del grano de cebada. La vicia tuvo una edad de 125 días, ya que fue sembrada poco antes para tener cosechas simultáneas.

El área de cultivo fue en un terreno con más de dos años de descanso con las características físicas y químicas necesarias para la introducción de cultivos anuales. Se utilizó un área de 2500 m², siendo ³/₄ partes para la cebada y el resto para la vicia. Los cultivos fueron sembrados por separado, con mayor atención al manejo de la vicia por tener un crecimiento semirecto postrado. El deshierbe de ambas especies se realizó manualmente, aproximadamente a los 35 días de crecimiento. El rendimiento para la cebada en verde fue de 2.56 kg/m² y de vicia de 3.26 kg/m². La vicia y la cebada fueron cortadas manualmente a ras del suelo, con la ayuda de hoces, y pasadas a través de una picadora estacionaria regulada para cortar forraje en partículas de 2 cm de longitud.

Tratamientos Experimentales

Se trabajó con cinco tratamientos, con diferentes proporciones de vicia y avena picada: 0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0, respectivamente, utilizando tres repeticiones por tratamiento.

La urea granulada (1%) se agregó en el momento de la mezcla de los forrajes. Los recipientes para el ensilaje fueron tubos de policloruro de vinilo (PVC) de 60 cm de altura y 10 cm de diámetro. El forraje fue compactado con una prensa mecánica, dis-

poniéndose en capas de 10 cm de espesor. Cada microsilo tuvo aproximadamente 1800 g de forraje.

Los microsilos se cerraron herméticamente con tapas de PVC cubiertas con cinta adhesiva y se almacenaron en un lugar protegido, a temperatura ambiente, durante 121 días. Transcurrido este tiempo, los microsilos fueron abiertos y el contenido fue vertido sobre un plástico, descartándose el material descompuesto (parte superior de los silos).

Variables Evaluadas

Muestras de cada tratamiento fueron deshidratadas en estufa de circulación forzada a 65 °C durante 48 h y se molieron en un molino Wiley Retsch SM100 hasta un tamaño de partícula de 2 mm. Se analizó la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y materia mineral (MM) de acuerdo con las recomendaciones de AOAC (2000) y la fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) conforme a la metodología descrita por Van Soest (1994). La hemicelulosa (Hem) fue determinada por diferencia entre la FDN y FDA. El pH fue determinado según Kung *et al.* (1984) con el uso de un potenciómetro multiparamétrico HANNA Edge HI2020-01.

Diseño Estadístico

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial de 2 x 5 (2 niveles de urea y 5 proporciones de avena y cebada) con tres repeticiones por tratamiento, de acuerdo al siguiente modelo aditivo lineal: $Y_{ijk} = \mu + U_i + P_j + (UP)_{ij} + e_{ijk}$, donde: Y_{ijk} = se refiere a la variable respuesta (MS, PC, MM, FDN, FDA, Hem, expresados en porcentajes, y pH); μ = media general, U_i = efecto de urea ($i = 0$ y 1%), P_j = efecto de proporción de cebada: vicia ($j = 1, 2, 3, 4$ y 5), $(UP)_{ij}$ = efecto de la interacción entre urea y proporción cebada/vicia. y e_{ijk} = error experimental.

Los niveles de urea (0 y 1%) como factor de estudio fueron descompuestas a través de una regresión polinomial en efectos

lineal y cuadrático para las variables estudiadas. La selección del mejor modelo fue hecha con base en la significación de los coeficientes de regresión, utilizándose la prueba de «t» y el coeficiente de determinación. Para el efecto de comparación de medias, fue utilizada la prueba de Tukey, con el nivel de significación de 5%. Todas las variables fueron analizadas por el procedimiento GLM del programa estadístico SAS v. 9.2 para Windows (SAS, 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis de varianza sobre el efecto de la urea y de las proporciones vicia/cebada y la interacción de estos factores sobre las variables en estudio se muestran en el Cuadro 1. En los cuadros 2 y 3 se presentan las regresiones de las proporciones de vicia/cebada dentro de los niveles de urea, y las diferencias estadísticas de los niveles de urea dentro de cada proporción de los forrajes en estudio.

Tenor de Materia Seca (MS)

Los valores de materia seca (MS) en los ensilados de vicia/cebada (Cuadro 1) variaron en función a los niveles de urea. Los ensilados sin urea tuvieron mayores contenidos de MS ($p < 0.05$) con relación a los amonificados de urea (27.25 vs. 22.82%) (Cuadro 2). En los tratamientos adicionados con urea, el análisis de variancia de la regresión verificó el efecto lineal negativo ($Y = 25.127 - 0.046x$; ($p < 0.0001$) de las proporciones de vicia:cebada sobre el contenido de MS. Por tanto, se espera una disminución de 0.046% de MS del ensilado por cada incremento en la proporción de vicia:cebada.

No hubo efecto de las proporciones de vicia/cebada ni de la interacción de urea x proporción en términos de MS ($p = 0.4708$; $p = 0.0738$, respectivamente). Los tratamientos con urea en función a las proporciones evidenciaron respuesta lineal negativa, con

Cuadro 1. Resumen del análisis de variancia de la materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (Hemi), materia mineral (MM)¹ y pH del ensilado vicia:cebada, en función a la urea y a las proporciones de los forrajes²

Fuentes de variación	GL	P valor						
		MS (%)	PC	FDN	FDA	Hemi	MM	pH
Urea (U)	1	<.0001	0.0001	0.3936	0.8717	0.4627	0.2950	<.0001
Proporción (P)	4	0.4708	<.0001	0.1623	0.0118	<.0001	0.0002	<.0001
Interacción U x P	4	0.0738	0.2334	0.0984	0.1157	0.2257	0.1140	<.0001
Tratamiento	9							
Error	20							
CV (%)		9.12	13.10	8.67	8.00	20.36	6.95	3.04

¹Valores en porcentaje de la materia seca

²Vicia y avena picada: 0:100; 25:75; 50:50; 75:25; 100:0, respectivamente

coeficiente de regresión de -0.046% de MS ($p < 0.01$). Duarte *et al.* (1999) refieren que disminuciones en los contenidos de agua de forrajes amonificados pueden deberse al elevado poder higroscópico de la urea y del amonio, permitiendo que el material absorba agua del ambiente; hecho que no ha ocurrido en el presente estudio, toda vez que el contenido de agua de los ensilados amonificados se incrementó en función de las proporciones (0:100 = 75.1 y 100:0 = 79.0% de agua, respectivamente).

Tenor de Proteína Cruda (PC)

El tenor de PC de los ensilados vicia:cebada (Cuadro 1) presentaron variaciones ($p = 0.001$) en función de la urea y de las proporciones de los forrajes, sin que la interacción de estos factores fuera significativa ($p = 0.2334$). La concentración de PC, como era de esperarse, se incrementó con la mayor proporción de vicia en el ensilado ($p < 0.05$). El ensilado de vicia libre de cebada (100:0, 19.42% PC) no difirió del tratamiento 75:25 (17.47% PC), pero fue significativamente superior a los otros tratamientos

($p < 0.05$), mientras que estos no difirieron entre sí. Se encontró un efecto lineal positivo ($p = 0.0001$) en el contenido de PC de los tratamientos en función a las proporciones, según la ecuación $PC = 12.355 + 0.068$ ($p < 0.001$).

Según el Cuadro 2, la concentración media de PC de los ensilados libres de urea se incrementó a medida que la vicia participó en mayor magnitud, a excepción del tratamiento 50/50, cuyo contenido medio de PC fue igual al tratamiento libre de vicia (11.51%). Los tratamientos libres de urea propiciaron respuesta lineal positiva en las concentraciones de PC de los ensilados en función a las proporciones; es decir, hubo un aumento en el contenido medio de PC en torno de 54.21% con relación al tratamiento 0:100 (11.51% de PC)). La adición de urea a los tratamientos vicia:cebada permitió mayores concentraciones de PC de los ensilados, representando efecto lineal positivo ($Y = 13.755 + 0.077$; $p < 0.001$), propiciando así un incremento de 69.29% de PC en relación al tratamiento libre de vicia.

Cuadro 2. Tenores medios de materia seca (MS), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) del ensilado de vicia:cebada, en función a los niveles de urea y a las proporciones de vicia y cebada

Niveles de urea (%)	Proporciones de vicia: cebada					Medias de urea
	0 : 100	25 : 75	50 : 50	75 : 25	100 : 0	
Materia seca						
0 ¹	24.83 ^{aA}	28.28 ^{aA}	27.61 ^{Aa}	28.64 ^{aA}	26.93 ^{aA}	27.25 ^A
1 ²	24.87 ^{aA}	24.47 ^{aA}	23.09 ^{aB}	20.69 ^{aB}	21.00 ^{aB}	22.82 ^B
Medias de proporciones	24.85 ^a	26.37 ^a	25.35 ^a	24.66 ^a	23.96 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 27.25						
² Y = 25.127 - 0.046 ^{***} , R ² = 0.7829						
Proteína cruda						
0 ¹	11.51 ^{b A}	13.24 ^{abB}	11.51 ^{bB}	15.86 ^{abA}	17.75 ^{aA}	13.97 ^B
1 ²	12.47 ^{bA}	17.08 ^{abA}	18.30 ^{aA}	19.08 ^{aA}	21.11 ^{aA}	17.60 ^A
Medias de proporciones	11.99 ^c	15.15 ^{bc}	14.91 ^{bc}	17.47 ^{ab}	19.42 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 10.955 + 0.060 ^{**} , R ² = 0.4814						
² Y = 13.755 + 0.077 ^{***} , R ² = 0.6977						
Fibra detergente neutro						
0 ¹	47.66 ^{aA}	48.57 ^{aA}	52.71 ^{aA}	52.31 ^{aA}	43.40 ^{aA}	48.93 ^A
1 ²	52.58 ^{aA}	47.94 ^{aA}	44.90 ^{aA}	47.27 ^{aA}	45.30 ^{aA}	47.59 ^A
Medias de proporciones	50.12 ^a	48.80 ^a	48.80 ^a	49.79 ^a	44.35 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 48.93						
² Y = 50.645 - 0.061 [*] , R ² = 0.3761						
Fibra detergente ácido						
0 ¹	28.23 ^{bA}	30.92 ^{abA}	32.27 ^{abA}	35.92 ^{aA}	35.08 ^{aA}	32.48 ^A
1 ²	30.67 ^{aA}	33.66 ^{aA}	30.69 ^{aA}	31.23 ^{aB}	35.41 ^{aA}	32.33 ^A
Medias de proporciones	29.45 ^b	32.29 ^{ab}	31.48 ^{ab}	33.57 ^{ab}	35.24 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 28.747 + 0.075 ^{**} , R ² = 0.5302						
² Y = 32.33						

^{A,B} Diferentes superíndices dentro de columnas en cada variable indican diferencia estadística (p<0.05)

^{a, b, c} Diferentes superíndices dentro de filas en cada variable indican diferencia estadística (p<0.05)

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Cuadro 3. Tenores medios de hemicelulosa (Hem), minerales totales (MT) y pH del ensilado de vicia: cebada, en función a los niveles de urea y proporciones

Niveles de urea (%)	Proporciones de vicia: cebada					Medias de urea
	0 : 100	25 : 75	50 : 50	75 : 25	100 : 0	
Hemicelulosa						
0 ¹	19.55 ^{aA}	17.65 ^{Aa}	20.44 ^{Aa}	16.39 ^{abA}	8.32 ^{bA}	16.46 ^A
1 ²	21.92 ^{aA}	16.21 ^{abA}	14.21 ^{abB}	16.04 ^{abA}	9.51 ^{bA}	15.57 ^A
Medias de proporciones	20.73 ^a	16.92 ^a	17.32 ^a	16.21 ^a	8.91 ^b	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 18.474 + 0.124 - 0.0022*, R ² = 0.6335						
² Y = 20.573 - 0.099**, R ² = 0.5510						
Minerales						
0 ¹	6.62 ^{bA}	6.92 ^{abA}	7.28 ^{abA}	7.00 ^{abB}	7.98 ^{aA}	7.15 ^A
1 ²	6.22 ^{bcA}	6.71 ^{Ba}	7.69 ^{abA}	8.12 ^{aA}	8.04 ^{aA}	7.35 ^A
Medias de proporciones	6.41 ^c	6.81 ^{bc}	7.48 ^{ac}	7.55 ^{ab}	8.01 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 6.600 + 0.011*, R ² = 0.3538						
² Y = 6.343 + 0.020***, R ² = 0.7465						
pH						
0 ¹	4.47 ^{aB}	4.57 ^{Ab}	4.63 ^{Ab}	4.60 ^{aB}	4.87 ^{aB}	4.63 ^B
1 ²	4.80 ^{bA}	4.87 ^{Ba}	5.07 ^{Ba}	8.43 ^{aA}	8.10 ^{aA}	6.25 ^A
Medias de proporciones	4.63 ^b	4.72 ^b	4.85 ^b	6.52 ^a	6.48 ^a	
Ecuaciones de regresión						
¹ Y = 4.460 + 0.003**, R ² = 0.4636						
² Y = 4.220 + 0.041***, R ² = 0.7530						

^{A,B} Diferentes superíndices dentro de columnas en cada variable indican diferencia estadística (p<0.05)

a, b, c Diferentes superíndices dentro de filas en cada variable indican diferencia estadística (p<0.05)

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Los tratamientos amonificados (Cuadro 2) con relación a los ensilados sin urea en las proporciones de 25:75 y 50:50 fueron significativamente superiores ($p < 0.05$) en los contenidos de PC (17.08 y 13.24%, 18.30 y 11.51%, respectivamente), mostrando el efecto benéfico de la adición de urea en el ensilaje. Cordero *et al.* (2013) reportan contenidos de PC de 15.32 y 8.95% para ensilados de avena (*Avena sativa* L) con y sin urea, respectivamente. Mina *et al.* (2018), asimismo, encontraron mayores niveles de PC del heno de avena al utilizar 2, 4 y 6% de urea en combinación de 30 y 40% de agua.

El efecto lineal positivo de los niveles de urea en el contenido de PC de los ensilados y de otros forrajes no significa adicionar altas dosis de urea como fuentes de nitrógeno no proteico (NNP), pues sobreestimaría las necesidades nutricionales de los animales. Las concentraciones proteicas obtenidas en el presente estudio fueron superiores al valor crítico de 7% (Sampaio *et al.*, 2009), valor que compromete el funcionamiento normal del rumen. Las concentraciones proteicas que variaron entre 11.51 y 21.11% (Cuadro 2) con las proporciones de vicia: cebada con o sin urea permitirían cubrir las necesidades de PC de en alpacas, debido a un nivel alimenticio necesario para la producción de fibra (Franco *et al.*, 2009).

Tenor de Fibra Detergente Neutro (FDN)

La urea y las proporciones de vicia/cebada, así como la interacción entre estos factores no influyeron significativamente en la FDN de los ensilados ($p = 0.3936$, $p = 0.1623$ y $p = 0.2334$, respectivamente; Cuadro 1). Los tratamientos constituidos por las proporciones de ensilados amonificados mostraron el efecto benéfico de la adición de urea en las concentraciones de FDN, propiciando respuesta de tipo lineal negativo (Cuadro 2); es decir, la urea favoreció una disminución en los contenidos de FDN. Los ensilados constituidos de partes iguales de vicia:cebada no presentaron diferencias significativas en los

contenidos de FDN al ser tratados con y sin urea (44.90 y 52.71%, respectivamente).

La reducción de la FDN obtenida en el presente estudio concuerda con los resultados de otras investigaciones (Beneval *et al.*, 2000; Fadel *et al.*, 2003; Cordero *et al.*, 2013; Mina *et al.*, 2018). Es importante resaltar, no obstante, que no todos los forrajes responden de forma uniforme al proceso de amonificación (Mina *et al.*, 2018). Generalmente forrajes de baja calidad inicial presentan una mejor respuesta a la amonización (Beneval *et al.*, 2000). Según Klofstein (1978), el efecto de la reducción de la FDN de los forrajes por la urea se debe principalmente a la solubilización de la hemicelulosa.

Tenor de Fibra Detergente Ácido (FDA)

Las proporciones de vicia/avena influenciaron significativamente el contenido de FDA en los ensilados ($p = 0.0118$). Sin embargo, ni la urea ni la interacción entre estos factores influyeron significativamente los resultados ($p = 0.8717$; $p = 0.1157$, respectivamente) en la FDA de los tratamientos en estudio.

Los tratamientos constituidos por las diferentes proporciones propiciaron una respuesta lineal positiva ($Y = 29.834 + 0.051$; $p < 0.01$); es decir, hubo un aumento de 0.051% de FDA por cada unidad de aumento en la proporción de vicia: cebada utilizada (Cuadro 2).

Desdoblado la interacción de proporciones vicia/cebada dentro de tratamientos sin urea, se constató una tendencia en el aumento de los valores de FDA, verificándose respuesta de tipo lineal positiva ($Y = 28.747 + 0.075$; $p < 0.01$). Las diferentes proporciones de vicia: cebada amonificadas no afectaron significativamente los contenidos de FDA, cuya media fue de 32.33%. Beneval *et al.* (2000) y Fadel *et al.* (2003) reportan una interacción significativa entre las proporciones de urea y agua para la FDA en el heno de *Brachiaria brizanta* y paja de arroz amonificado, respectivamente.

Hubo una reducción de cinco puntos porcentuales en la reducción de la FDA en los tratamientos con urea en relación de aquellos ensilados libre de amonificación en la proporción de 75:25 de vicia:cebada. Resultado que está en línea con lo observado por Cordero *et al.* (2013) en el ensilado de avena marchitado ocho horas antes del ensilaje, sin y con 1% de urea (28.81 y 23.88% de FDA).

Tenor de Hemicelulosa (hem)

Hubo efecto significativo ($p=0.0001$) de las proporciones de vicia:avena en los contenidos de hemicelulosa (hem), sin efecto significativo ($p=0.4627$) para la urea ni para la interacción entre este factor y las proporciones de vicia:cebada (Cuadro 3).

El tratamiento de ensilado vicia:cebada (100:0) fue significativamente diferente ($p<0.05$) de los otros tratamientos, que no difirieron entre sí, cuya media fue de 17.80% de hemicelulosa. El análisis de variancia de la regresión verificó comportamiento lineal negativo ($Y = 20.893 - 0.097x$; $p<0.01$) para la hemicelulosa de las proporciones en estudio, existiendo una disminución de 0.097% de hemicelulosa por unidad porcentual de vicia adicionada a los tratamientos.

A pesar que no hubo interacción significativa entre las proporciones y la urea sobre los contenidos de hemicelulosa ($p=0.2257$), se constató que a medida que aumenta las proporciones de vicia:cebada sin urea, los contenidos de hemicelulosa de forma no lineal aumentan (Cuadro 3), lo que demuestra que el nivel 28.18% vicia:cebada proporcionaría la mayor cantidad de hemicelulosa (20.22%) de los ensilados, correspondiendo a un aumento en la hemicelulosa de 3.42% en relación al tratamiento 0:100 sin urea (19.55%), y una disminución de 143% de hemicelulosa en el tratamiento (100:0).

Los tratamientos con las diferentes proporciones con urea presentaron tendencia lineal negativa en los contenidos de hemicelulosa de los ensilados, cuyo coeficiente de

regresión fue de -0.097%. Cordero *et al.* (2013), asimismo, observaron una reducción en los contenidos de hemicelulosa de los ensilados de avena marchitada con y sin 1% de urea al momento del ensilaje de 17.50 y 20.21%, respectivamente. Esta forma de comportamiento también fue observada por Mina *et al.* (2018) en la fracción de hemicelulosa del heno de avena amonificado con urea. Reis *et al.* (1995), por otro lado, mostraron la solubilización de la hemicelulosa de forrajes de baja calidad vía amonificación. Según McDonald *et al.* (1991), la reducción de la hemicelulosa de las especies forrajeras puede ser por la hidrólisis ácida, que resulta de la actividad de la enzima hemicelulasa presente en el forraje.

Los contenidos de hemicelulosa de los ensilados constituidos por partes iguales de vicia:cebada amonificados con y sin urea fueron significativamente diferentes (14.21 y 20.44%, respectivamente; $p<0.05$).

Tenor de Materia Mineral (MM)

La proporción vicia:cebada tuvo un efecto significativo ($p=0.0002$) en el contenido mineral de los ensilados. Los ensilados constituidos exclusivamente de vicia no difirieron significativamente de los ensilados en las proporciones de 50:50 y 75:25 de vicia:cebada, pero fueron significativamente superiores ($p<0.05$) de los ensilados formados de 0:100 y 25:75 de leguminosa gramínea en los contenidos de materia mineral (Cuadro 3). De esta manera, la relación entre la materia mineral y las proporciones de vicia:cebada describió un modelo lineal positivo, con coeficiente de regresión de 0.016 ($p=0.0001$).

A pesar de que no hubo interacción entre las proporciones y los niveles de urea, la materia mineral fue influenciada de forma lineal positiva por las proporciones en los tratamientos sin urea ($p<0.05$), verificándose la mayor cantidad de materia mineral en los tratamientos formados exclusivamente de vicia (100:0) en relación de aquellos libres de esta

leguminosa, con valores de 7.98 y 6.62% de contenido mineral, respectivamente. El desdoblamiento de proporciones dentro de tratamientos con urea ($p=0.0003$), mostró un efecto lineal positivo con contenidos de materia mineral superiores con las proporciones de vicia:cebada de 50:50, 75:25 y 100:0 con relación a las proporciones de 0:100 y 25:75, respectivamente.

Los ensilados amonificados fueron significativamente superiores ($p<0.05$) a los tratamientos sin urea en la proporción de 75:25 en los contenidos de materia mineral (Cuadro 3). Mina *et al.* (2018) encontraron efecto cuadrático por los niveles de 2, 4 y 6% de urea en la materia mineral, estimando el valor máximo de 8.13% de MM para el nivel de 5.11% de urea.

Tenor de pH

En el Cuadro 3 se observa que la urea, las proporciones y la interacción entre estos factores influyeron significativamente ($p=0.0001$) en los valores de pH de los ensilados. El pH fue influenciado de forma lineal positiva por las proporciones conforme la ecuación de regresión $Y = 4.340 + 0.022x$; ($p<0.01$), existiendo un aumento de 0.022 partes de pH por cada unidad de aumento en la proporción vicia: cebada.

No se constató diferencia significativa entre las proporciones vicia: cebada sin urea, cuya media fue de 4.63. Según Reis y Da Silva (2011) los ensilados varían en pH entre 4 y 5, estando los resultados del presente estudio dentro del rango establecido. Los ensilados amonificados con urea en las proporciones de 0:100, 25:75 y 50:50 que no difieren entre sí, y presentaron valores menores de pH que los ensilados con 75:25 y 100:0 de la proporción vicia: cebada (8.43 y 8.10 de pH, respectivamente). Estos valores de pH elevados obtenidos en estos tratamientos

podrían atribuirse a la presión de compresión del material ensilado (Do Amaral *et al.*, 2007), reflejando que la mayor densidad promueve un mejor ambiente para las bacterias productoras de ácido láctico.

El nivel de urea dentro de cada una de las proporciones de vicia:cebada evidenciaron diferencias significativas ($p<0.05$) en los valores de pH, correspondiendo los mayores valores a los ensilados amonificados con urea.

CONCLUSIONES

- La adición de 1% de urea a las proporciones de vicia: cebada disminuyeron los contenidos de material seca de los ensilados.
- Los niveles de proteína cruda de los ensilados se incrementaron significativamente ($p=0.0009$) con la amonificación.
- La mayor proporción de vicia en el ensilado causó una disminución de las paredes celulares (FDN) del material amonificado. El ensilado vicia:cebada (75.25) amonificado redujo en 13% la FDA con relación a los ensilados libre de urea.
- El pH de los ensilados de vicia: cebada sin urea estuvo entre 4.47 y 4.87, mientras que aquellos amonificados en proporciones de 75:25 y 100:0 presentaron mayores valores de pH.

Agradecimiento

Los autores agradecen al proyecto FOCAM «Evaluación de la siembra de avena y cebada asociado a la vicia y conservar el forraje para la alimentación de alpacas en las zonas altoandinas en el distrito, provincia y región Huancavelica» por el apoyo económico para la realización del estudio.

LITERATURA CITADA

1. [AOAC] *Association of Official Analytical Chemists*. 2000. Official methods of analysis. 17th ed. AOAC International.
2. **Beneval R, De Souza H, Rodrigues K. 2000.** Composição química de feno de *Brachiaria brizantha* cv Marandu tratado com diferentes proporções de uréia e de água. Cienc Anim Bras 1: 108-113.
3. **Briceño A, Ojeda A. 2011.** Efecto de diferentes proporciones de recursos fibrosos tratados y sin tratar con urea sobre la producción de gas y degradabilidad in vitro. Rev Fac Agron Venezuela 37: 11-18.
4. **Cordero FA, Contreras PJ, Carhuapoma QW, Soldevilla CW. 2013.** Efecto de diferentes proporciones de urea y el marchitamiento sobre la composición bromatológica del ensilado de avena (*Avena sativa* L). En: XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. La Habana, Cuba.
5. **Do Amaral R, Bernardes T, Siqueira G, Reis R. 2007.** Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu producidas com quatro pressões de compactação. Rev Bras Zootec 36: 532-539. doi: 10.1590/S1516-35982007000-300003
6. **Elizalde HF, Hargreaves A, Goic L. 1995.** Evaluación de ensilaje de cereales de grano pequeño sobre la ganancia de peso de toretes. En: XIV Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Mar del Plata, Argentina.
7. **Elizalde VF, Gallardo CM. 2003.** Evaluación de ensilajes de avena y cebada en la ganancia de peso de vaquillas en crecimiento Agric Téc 63: 380-386. doi: 10.4067/S0365-28072003000400006
8. **Eskandari H, Ghanbari A, Javanmard A. 2009.** Intercropping of cereals and legumes for forage production. Not Sci Biol 1: 7-13. doi: 10.15835/nsb113479
9. **Fadel R, Rosa B, Pereira de Oliveira I, Oliveira J. 2003.** Avaliação de diferentes proporções de água e de uréia sobre a composição bromatológica da palha de arroz. Cienc Anim Bras 4: 101-107.
10. **Flores A. 1993.** Producción y utilización de los pastizales altoandinos del Perú. Perú: Red de Pastizales Andinos – REPAAN. 202 p.
11. **Franco FF, San Martín HF, Ara GM, Olazabal LJ, Carcelén CF. 2009.** Efecto del nivel alimenticio sobre el rendimiento y calidad de fibra en alpacas. Rev Inv Vet Perú 20: 187-195. doi: 10.15381/rivep.v20i2.605
12. **Khorasani GR, Jedel PE, Helm JH, Kennelly JJ. 1997.** Influence of stage of maturity on yield components and chemical composition of cereal grain silages. Can J Anim Sci 77: 259-267. doi: 10.4141/A96-034
13. **Klofenstein T. 1978.** Chemical treatment of crop residues. J Anim Sci 46: 841-848. doi: 10.2527/jas1978.-463841x
14. **Kung JR, Grieve DB, Thomas JW, Huber JT. 1984.** Added ammonia or microbial inocula for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. J Dairy Sci 67: 299-306
15. **Leaver JD, Hill J. 1992.** Feeding cattle on whole crops cereals. In: Stark BA, Wilkinson JM (eds). Whole crop cereals. 2nd ed. Aberystwyth, UK; Chalcombe Publ. p 59-72.
16. **McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. 1991.** Biochemistry of silage. 2nd ed. UK: Chalcombe. 340 p.
17. **Mina EM, Ramos PF, Cordero FA, Contreras PJ, Curasma CJ, Tunque QM. 2018.** Niveles de urea y agua sobre la composición bromatológica del heno de avena. Rev Inv Vet Perú 29: 743-755. doi: 10.15381/rivep.v29i3.14470
18. **Nestares PA. 2014.** Técnicas de conservación de forrajes para la alimentación animal. Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego. 57 p.

19. **Ordoñez H, Bojórquez C. 2011.** Manejo del establecimiento de pasturas para zonas altoandinas del Perú. Lima, Perú: CONCYTEC. 259 p.
20. **Reis RA, Da Silva SC. 2011.** Consumo de forragens. En: Berchielli TT, Pires AV, De Oliveira SG (eds). Nutrição de ruminantes. 2º ed. Jaboticabal, SP, Brasil: FUNEP. 616 p.
21. **Reis RA, Rodriguez LRA, Pedroso P. 1995.** Avaliação de fontes de amônia para o tratamento de volumosos de baixa qualidade. Rev Soc Bras Zootec 24: 486-493.
22. **Rojas C, Catrileo A. 1996.** Ensilaje de cebada en la engorda invernal de novillos Hereford. En: XXI Reunión Anual Sociedad Chilena de Producción Animal. Coyhaique, Chile.
23. **Sampaio CB, Detmann E, Lazzarini I, de Souza M, Paulino M, Valadares S. 2009.** Rumen dynamics of neutral detergent fiber in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. Rev Bras Zootec 38: 560-569. doi: 10.1590/S1516-35982009000300023
24. **SAS. 2009.** SAS/STAT: User's Guide: Statistics. Release 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
25. **Van Soest PJ. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca, NY: Cornell University Press. 476 p.