

Degradabilidad ruminal de forrajes y alimentos concentrados y estimación del consumo

Ruminal degradability of forages and concentrates and estimation of feed intake

José L. Contreras P.^{1,4}, Jhoser Pariona G.¹, Alfonso Cordero F.³,
Melanio Jurado E.², Rodrigo Huamán J.²

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar los parámetros cinéticos de la degradación *in situ* de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) de cuatro forrajes o mezclas de forrajes: 1) alfalfa; 2) alfalfa-trébol rojo; 3) alfalfa-dactylis; 4) avena, y de dos concentrados: pasta de algodón y cebada molida, así como estimar el consumo de MS de estos forrajes utilizando tres bovinos con fistula ruminal. Se incubaron 5 g de muestra durante 4, 8, 12, 24, 48, 72 y 96 horas para los forrajes y de 2, 4, 8, 12, 24 y 48 horas para los concentrados. El tiempo cero (t_0) fue utilizado para el cálculo de la fracción soluble. La degradabilidad potencial y efectiva a las tasas pasajes de 2, 5 y 8%/hora de la MS, PC y FDN fueron diferentes para los forrajes y alimentos concentrados. Las tasas constantes de degradación (c) de la PC de la asociación alfalfa-dactylis, avena (forraje), pasta de algodón y cebada molida es indicativo que estos recursos tienen un buen potencial para su utilización en la dieta de los rumiantes. La degradabilidad efectiva obtenida de la PC a las tasas de pasajes de 2, 5 y 8%/h permite clasificar a los forrajes solos o asociados y a los concentrados en estudio como alimentos de alta calidad nutricional.

Palabras clave: tasa de degradación *in situ*; parámetros cinéticos; estimación del consumo; alfalfa; avena

¹ FOCAM y Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

² Departamento Académico de Zootecnia, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

³ Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

⁴ E-mail: jose.contreras@unh.edu.pe

Recibido: 13 de marzo de 2019

Aceptado para publicación: 31 de octubre de 2019

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the kinetic parameters of *in situ* degradation of dry matter (MS), crude protein (PC) and neutral detergent fibre (NDF) of four single or mixed forages: 1) alfalfa; 2) alfalfa-red clover; 3) alfalfa-dactylis; 4) oats, and two concentrates: cotton paste and ground barley, as well the estimation of the DM consumption of these forages using three cattle with ruminal fistula. Five grams of sample were incubated for 4, 8, 12, 24, 48, 72 and 96 hours for forages and 2, 4, 8, 12, 24 and 48 hours for concentrates. The zero time (t_0) was used to calculate the soluble fraction. The potential and effective degradability at the 2, 5 and 8%/h passages rates of the MS, PC and NDF were different for forages and concentrates. The constant degradation rates (c) of the PC of the association alfalfa-dactylis, oats (fodder), cotton paste and ground barley indicate that these resources had good potential for ruminant diet use. Due to the effective degradability of the PC at the rates of 2, 5 and 8%/h, the forages alone or associated and the concentrates under study can be classified as feeds of high nutritional quality.

Key words: rate of degradation *in situ*; kinetic parameters; estimation of consumption; alfalfa; oats

INTRODUCCIÓN

La producción en la sierra del Perú, desde el contexto ganadero, se da en los bosques húmedos y, sobre todo en las zonas altas conocidas como praderas naturales. La zona, por sus condiciones agroecológicas alberga el 78.8% de los vacunos, 96.2% de los ovinos y 67.5% de los caprinos del país (Caballero y Flores, 2006). La crianza de vacunos se lleva a cabo para la producción de leche, carne y tracción en sistemas de alimentación con base de pasturas cultivadas solas o asociadas, en pastizales naturales y, ocasionalmente, con el uso de concentrados. Sin embargo, la estacionalidad de la oferta de alimentos (escasez en los meses más fríos y secos del año y abundancia en la época de lluvias), así como la baja producción y calidad de estos recursos perjudica su explotación (Caballero y Flores, 2006).

La formulación de dietas requiere del conocimiento de las exigencias nutricionales, cantidad de nutrientes ingeridos y de la com-

posición química y degradabilidad y/o digestibilidad de la materia seca y de los nutrientes (Garcez *et al.*, 2016). Además, los forrajes tienen un papel fundamental en la nutrición animal, como fuentes de energía de bajo costo y proporcionan la fibra necesaria para el mantenimiento de la función ruminal y de la producción y composición de la leche (Carvalho *et al.*, 2006). Según Souza *et al.* (2000), la degradabilidad de las fracciones fibrosas de los alimentos aumenta cuanto mayor es la participación de los forrajes en la dieta de los animales. Por otro lado, la energía proveniente de la degradación ruminal de la celulosa y hemicelulosa constituye la principal contribución de los forrajes.

Entre los métodos de evaluación de los alimentos, la técnica *in situ* se destaca por su simplicidad y menor costo en comparación con las técnicas *in vivo* (Veloso *et al.*, 2000; Molina *et al.*, 2003). La degradabilidad ruminal *in situ* tiene por objetivo obtener información referente a las fracciones solubles (a) y lentamente degradables (b), la tasa de degradación de la fracción b (c), la degrada-

ción potencial (DP) y la degradación efectiva (DE) para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h. La estimación de la degradación ruminal de especies forrajeras y de alimentos concentrados permite obtener información relevante para la confección de tablas de composición de alimentos y, consecuentemente, indispensables para la formulación de dietas para los animales (Veloso *et al.*, 2000; Ruggieri *et al.*, 2001).

Los objetivos de este estudio fueron evaluar la degradación ruminal *in situ* de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN) de los forrajes: alfalfa (*Medicago sativa* L), sola o asociada al trébol rojo (*Trifolium pratense* L) o dactylis (*Dactylis glomerata* L) y la avena (*Avena sativa* L) y de los concentrados pasta de algodón (*Gossypium hirsutum* L) y cebada molida (*Hordeum vulgare* L), así como estimar el consumo de MS de los forrajes por medio de ecuaciones de predicción propuestos en la literatura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Estudio

La incubación ruminal fue realizada en las instalaciones de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Facultad de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), ubicada en el distrito, provincia y región de Huancavelica, Perú. La zona se encuentra a 3704 msnm. Se utilizaron tres bovinos macho Brown Swiss, con cánula ruminal permanente y peso medio de 545 kg. Los animales permanecieron estabulados durante todo el periodo experimental.

Tratamientos Experimentales

El periodo de adaptación fue de 12 días, durante el cual los animales fueron alimentados con una dieta de partes iguales de alfalfa (*Medicago sativa* L) y heno de avena (*Ave-*

na sativa L), suministrada dos veces al día (08:00 y 17:00), disponiendo de agua y sal mineral a voluntad. La proporción de la mezcla permaneció constante durante el periodo experimental.

Variables

Los forrajes en estudio fueron: alfalfa (100%), alfalfa (50%) - trébol rojo (50%), alfalfa (50%) - dactylis (50%) y avena (100%). Los concentrados utilizados fueron pasta de algodón y cebada grano molido. Los forrajes fueron obtenidos directamente de las propiedades rurales de las provincias de Tayacaja, Acobamba, Huaytará y Huancavelica de la región de Huancavelica, considerándose dos épocas del año: noviembre-marzo (lluvias) y abril-agosto (seca). Los concentrados se recolectaron de los predios de la zona.

Para el muestreo se utilizó la técnica no probabilística de tipo intencionada, recolectando por conveniencia los forrajes de las áreas de producción (Lagares y Puerto, 2001). Las muestras fueron secadas en estufa a 65 °C durante 72 horas, molida en molino con tamiz de 3 mm. Las bolsas de nylon (ANKOM) utilizadas fueron de 7 x 12 cm, con poros de abertura de 50 µm. En cada bolsa fue colocada una muestra de 5 g (base en la MS). Todas las muestras fueron incubadas en duplicado y en un mismo momento en el rumen. Las bolsas fueron adheridas a una cadena de acero inoxidable y suspendido por un hilo de nylon en la cánula. Los tiempos de incubación para los forrajes fueron de 4, 8, 12, 24, 48, 72 y 96 horas, y para los concentrados de 2, 4, 8, 12, 24 y 48 horas.

Las bolsas correspondientes al tiempo 0 horas no fueron incubados, sino inmersos en agua a 39 °C por 15 minutos y secadas en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 24 horas. Las bolsas de nylon luego del retiro del rumen fueron colocados en un balde con agua fría durante 5 minutos para interrumpir la actividad microbiana. Luego fueron lavadas cuidadosamente en agua corriente para

remover las partículas adheridas a la superficie hasta obtener agua clara, sin material en suspensión. Cumplida esta fase, las bolsas fueron secadas en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 24 horas. La diferencia de pesos de las bolsas antes y después a la incubación, con base a la materia seca a 60 °C por 24 horas constituyó el desaparecimiento de la materia seca del alimento en estudio.

El porcentaje de degradación de la MS en cada tiempo fue calculado por la proporción del residuo que quedó en las bolsas después de la incubación en el rumen. Una fracción de cada muestra de residuo fue utilizada para la determinación de la PC y FDN, siguiendo la metodología descrita por Silva y Queiroz (2002). Los parámetros de cinética de degradación ruminal de la MS, PC y FDN fueron calculados mediante la ecuación descrita por Orskov y McDonald (1979): $P = a + b * (1 - \exp^{-ct})$, donde P corresponde a la degradabilidad potencial o desaparecimiento del nutriente (MS, PC o FDN) del alimento (%), (a) es la fracción del alimento soluble en agua en el tiempo cero (degradación inicial, %), (b) es la fracción insoluble en agua, pero potencialmente degradable en determinado tiempo (fracción degradada por los microorganismos, %), (c) es la tasa de degradación de la fracción (b) (%/hora), t = es el periodo de incubación en horas, y exp es la base de los logaritmos naturales: $(a) + (b) \leq 100$.

Los parámetros no lineales (a), (b) y (c) fueron estimados con el aplicativo Solver de Microsoft Excel. La degradabilidad efectiva (DE) de la MS, PC y FDN en el rumen fue calculada por la ecuación de Orskov y McDonald (1979), donde $DE = a + [(b \times c) / (c + k)]$, y que k = es la tasa estimada de pasaje de las partículas en el rumen. Los demás parámetros fueron descritos en la ecuación anterior. La DE de las variables analizadas (MS, PC y FDN) fueron estimadas para cada alimento, considerándose la tasa de pasaje de sólidos por el rumen de 2, 5 y 8%/h, que puede ser atribuido al nivel de consumo alimenticio bajo, medio y alto, según AFRC (1993).

Para las estimaciones del consumo de MS (CMS) de los forrajes se utilizaron las ecuaciones de predicción:

$$CMS = - 0.822 + 0.0748 (a + b) + 40.7c$$

(Ørskov *et al.*, 1988)

$$CMS = - 1.19 + 0.035 (a + b) + 28.5c$$

(von Keyserling y Mathison, 1989)

$$CMS = - 8.286 + 0.266a + 0.102b + 17.96c$$

(Shem *et al.*, 1995)

Diseño Estadístico

El experimento fue realizado utilizando el diseño de bloques completamente al azar (3 animales), con arreglo factorial de 4 x 8 (forrajes, tiempos), con el modelo lineal: $Y_{ijk} = \mu + F_i + T_j + (FT)_{ij} + e_{ijk}$, donde Y_{ijk} = variable respuesta (parámetros de la degradación *in situ*), μ = media general, F_i = efecto de los forrajes ($i=1, 2, 3, 4,$), T_j = efecto de los tiempos de incubación ruminal ($j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$), $(FT)_{ij}$ = efecto de la interacción entre los factores F y e_{ijk} = variable aleatoria normal e independientemente distribuida con una media 0 y variancia δe^2 .

El análisis de los datos de degradación *in situ* para los alimentos concentrados fue el mismo diseño experimental utilizado para los forrajes, con arreglo factorial de 2 x 7 (concentrados, tiempos de incubación ruminal), adoptándose el procedimiento GLM del SAS v. 9.2 (2009). La comparación de medias fue mediante la prueba de Tukey, con nivel de significancia de $p < 0.05$ de probabilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La degradabilidad (desaparecimiento) media de la MS, PC y FDN de la alfalfa sola o asociada al trébol rojo o dactylis y avena, y de la pasta de algodón y la cebada molida en el tiempo cero (t_0) y en los tiempos de incubación ruminal (horas) se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Degradabilidad media de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) de los forrajes en el tiempo cero t_0 y en los tiempos de incubación ruminal (horas)

Forraje	Tiempos de incubación (horas)							
	t_0	4	8	12	24	48	72	96
Materia seca								
Alfalfa	19.20	23.83 ^{Db}	26.75 ^{Db}	36.62 ^{Cb}	42.16 ^{Cb}	75.28 ^{ABa}	81.21 ^{Aa}	81.77 ^{Aa}
A-trébol ¹	13.17	16.04 ^{Eb}	23.65 ^{Eb}	34.66 ^{Db}	46.41 ^{Cb}	78.16 ^{ABa}	81.45 ^{Aa}	81.71 ^{Aa}
A-dactylis ¹	19.33	38.92 ^{Da}	44.12 ^{Da}	58.00 ^{Ca}	65.50 ^{Ca}	76.00 ^{ABa}	79.15 ^{Aab}	80.74 ^{Aa}
Avena	19.78	32.72 ^{Da}	37.94 ^{Da}	40.92 ^{CDb}	48.72 ^{Cb}	48.72 ^{Cb}	72.14 ^{Ab}	79.05 ^{Aa}
CV (%)	6.82							
Proteína cruda								
Alfalfa	45.82	59.90 ^{Cbc}	63.93 ^{BCb}	72.10 ^{BCb}	73.34 ^{Bab}	92.06 ^{Aa}	95.50 ^{Aa}	96.87 ^{Aa}
A-trébol ¹	44.16	56.31 ^{Bc}	58.80 ^{Bb}	63.10 ^{Bb}	67.84 ^{Bb}	81.34 ^{Aab}	86.92 ^{Aab}	90.07 ^{ab}
A-dactylis ¹	16.59	48.47 ^{Cc}	57.17 ^{Cb}	70.51 ^{Bb}	79.86 ^{ABa}	86.10 ^{Aab}	87.99 ^{Aa}	88.48 ^{Ac}
Avena	48.95	74.16 ^{Aa}	80.23 ^{Aa}	83.59 ^{Aa}	81.54 ^{Aa}	80.10 ^{Abc}	76.64 ^{Ab}	78.64 ^{Ac}
CV (%)	6.60							
Fibra detergente neutro								
Alfalfa	20.32	16.29 ^{Da}	23.47 ^{CDa}	30.61 ^{Ca}	43.21 ^{Bab}	55.82 ^{Aa}	62.43 ^{Aab}	66.45 ^{Aa}
A-trébol ¹	10.44	14.54 ^{Ca}	17.06 ^{Ca}	24.32 ^{BCa}	33.48 ^{Bc}	59.62 ^{Aa}	63.36 ^{Aab}	66.25 ^{Aa}
A-dactylis ¹	31.11	23.44 ^{Ca}	25.88 ^{Ca}	33.88 ^{Ca}	45.23 ^{Ba}	58.97 ^{Aa}	64.76 ^{Aa}	67.23 ^{Aa}
Avena	15.99	21.30 ^{FGa}	23.49 ^{EGa}	28.13 ^{Efa}	34.40 ^{DEc}	45.49 ^{CDa}	55.14 ^{BCb}	67.83 ^{Aa}
CV (%)	10.62							

¹ Asociado con alfalfa

Medias con letra mayúscula diferente dentro de una fila y con letra minúscula dentro de una columna difieren significativamente entre sí ($p < 0.05$)

Cuadro 2. Degradabilidad media de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) de los alimentos concentrados (pasta de algodón y cebada) en el tiempo cero (t_0) y en los tiempos de incubación ruminal (horas)

Alimento	Tiempos de incubación (horas)							
	0	2	4	8	12	24	48	
Materia seca								
P. algodón	24.39	32.61 ^{Eb}	42.82 ^{Db}	45.51 ^{CDb}	47.63 ^{CDb}	51.91 ^{BCb}	58.91 ^{Ab}	
Cebada	6.08	41.85 ^{Da}	67.49 ^{Ca}	84.17 ^{Ba}	87.20 ^{ABa}	89.03 ^{Aa}	91.35 ^{Aa}	
Proteína cruda								
P. algodón	55.59	67.00 ^{Fa}	77.94 ^{Ea}	83.09 ^{CDEb}	84.84 ^{BCb}	83.96 ^{CDb}	90.88 ^{Ab}	
Cebada	34.46	53.69 ^{Db}	73.22 ^{Cb}	88.22 ^{Ba}	94.78 ^{Aa}	96.87 ^{Aa}	97.85 ^{Aa}	
Fibra detergente neutro								
P. algodón	43.74	45.37 ^{Eb}	48.05 ^{DEb}	48.80 ^{Db}	50.40 ^{CDb}	53.24 ^{BCb}	58.86 ^{Ab}	
Cebada	68.36	69.31 ^{Fa}	73.67 ^{Ea}	78.11 ^{Da}	79.49 ^{CDa}	81.46 ^{BCa}	85.32 ^{Aa}	

Medias con letra mayúscula diferente dentro de una fila y con letra minúscula dentro de una columna difieren significativamente entre sí ($p < 0.05$)

Las fracciones solubles en el tiempo cero (t_0) de la MS de los forrajes evaluados variaron entre 13.17 y 19.78%. Este último valor se compara favorablemente con las fracciones solubles de 19.49 y 19.33% obtenidas para los ensilados de sorgo genotipo BR 701 y ensilado de napier (*Pennisetum purpureum* Schum) referidas por Molina *et al.* (2003) y Coutinho *et al.* (2010), respectivamente. Los tiempos de incubación de la alfalfa sola o asociada al trébol rojo o dactylis presentaron estabilización de las medias de degradabilidad de la MS a partir de las 48 horas, no difiriendo ($p>0.05$) con las observadas a las 72 y 96 horas, mientras que la estabilización de la degradabilidad en la avena ocurrió a partir de las 72 horas, sin diferencia significativa con las observadas a las 96 horas de incubación; hecho que demuestra que incubaciones por 96 horas son suficientes para alcanzar los valores máximos de degradabilidad de la MS; es decir, la asíntota.

La asociación alfalfa-dactylis y la avena, que no difieren entre sí, presentaron las mayores degradabilidades de la MS a las 4 y 8 horas de incubación. En los tiempos de 48, 72 y 96 horas no hubo diferencias significativas entre la alfalfa, alfalfa-trébol rojo y alfalfa-dactylis para la degradabilidad de la MS. A las 96 horas la degradabilidad media de la MS de la avena fue prácticamente similar a la de los otros forrajes, cuya media fue de 81.41%.

Los forrajes presentaron resultados de solubilidad de la PC (t_0) entre 16.59 y 48.95% para la alfalfa-dactylis y avena, respectivamente. Estos valores representan la porción de nitrógeno soluble o suficientemente molido en partículas pequeñas para salir de los poros de la bolsa de incubación (Molina *et al.*, 2003).

A partir de las 48 horas de incubación se observó la estabilización de las medias de la degradabilidad de la PC para los forrajes en estudio, no mostrando diferencias significativas entre las degradabilidades a las 48,

72 y 96 horas de incubación ruminal. Hecho que está en línea con las observaciones de Molina *et al.* (2003) en los ensilados de seis genotipos de sorgo que registraron estabilización de las medias de desaparición de la PC a partir de las 48 horas de incubación ruminal.

A las 96 horas de incubación ruminal, la alfalfa y alfalfa-trébol rojo, que no difieren entre sí, fueron superiores en la degradabilidad de la PC con relación a la alfalfa-dactylis y avena. Una posible explicación para las diferencias en la degradabilidad de la PC de los materiales incubados a las 96 horas sería el bajo valor del coeficiente de variación (6.60%) y a la homogeneidad de las muestras incubadas en el rumen.

Las fracciones solubles en el tiempo cero (t_0) de la FDN de los forrajes variaron entre 10.44% (alfalfa-trébol rojo) y 31.11% (alfalfa-dactylis). La estabilización de las medias de degradabilidad de la FDN de los forrajes ocurrió a partir de las 48 horas (excepto para la avena), sin diferencias significativas para las 72 y 96 horas de incubación ruminal. Estos resultados demuestran que incubaciones por 96 horas son suficientes para lograr los valores máximos de la degradabilidad de la FDN.

No hubo diferencias significativas para la media de la degradabilidad de la FDN entre forrajes en los tiempos de 4, 8 y 12 horas de incubación. Una probable explicación para la falta de significancia entre los materiales incubados sería el alto coeficiente de variación observado para la degradabilidad de la FDN (10.62%), debido a la falta de homogeneidad de las muestras incubadas.

La degradabilidad media de la MS, PC y FDN de la pasta de algodón y de la cebada molida en el tiempo cero (t_0) y en los tiempos de incubación ruminal (horas) se encuentran en el Cuadro 2. Se observa en el tiempo cero (t_0) una pequeña fracción soluble (6.08%) de la MS de cebada molida con relación a la pasta de algodón (24.39%). Se constató estabilización de las medias de

degradabilidad de la MS para la cebada molida a partir de las 12 horas de incubación ruminal, sin diferencias significativas con las 24 y 48 horas de incubación, cuyo valor medio de degradabilidad fue de 89.19%. Diferencias significativas ($p < 0.05$) fueron observadas entre la pasta de algodón y la cebada molida en cada tiempo de incubación, con valores mayores para este último recurso.

Hubo una gran fracción soluble de la PC en la pasta de algodón en el tiempo cero (t_0) con relación a la cebada molida, representando la fracción de nitrógeno soluble. Este mismo comportamiento fue observado hasta las 4 horas de incubación ruminal, donde las degradabilidades de la PC de la cebada fueron superiores ($p < 0.05$) a partir de las 8 horas con relación a la pasta de algodón. La estabilización en la degradabilidad de la PC de la cebada fue a partir de las 12 horas de incubación. La pasta de algodón y la cebada presentaron resultados diferentes de solubilidad de la FDN (t_0), siendo mayor en la cebada (68.36%).

Las fracciones (a), (b), (i), tasa constante de degradación (c), degradabilidad potencial (DP) y efectiva (DE) de la MS, PC y FDN para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h de los forrajes y alimentos concentrados se encuentran en el Cuadro 3. Los análisis de variancia mostraron efectos significativos ($p < 0.05$) de los forrajes y alimentos concentrados sobre los coeficientes (a), (b), (c), DP y DE para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h de la MS. La avena resultó ser la especie con mayor valor de la fracción soluble de 24.77% con diferencias significativas sobre el resto de los forrajes ($p < 0.05$) y baja tasa de degradación de la fracción (b) (2.28%/h). La fracción soluble de la avena está en línea con el valor de 24.58%/h y tasa de degradación de 8.51%/h reportado por Cordero *et al.* (2018). Factores como el contenido de MS de la especie, el tipo de fermentación y el contenido de carbohidratos solubles pueden contribuir para diferentes tasas de degradación ruminal (Martins *et al.*, 1999). La alfalfa presentó similar tasa de degradación

(2.29%/h) de la MS en comparación con la avena y la asociación alfalfa-trébol rojo, con fracciones solubles de 16.57% y 10.35%, respectivamente.

La asociación alfalfa-dactylis presentó un valor medio en la tasa de degradación (7.80%/h) que fue significativamente superior ($p < 0.05$) a las otras tasas, con 20.36% de fracción soluble y 58.73% de fracción potencialmente degradable. La fracción (b) de la alfalfa sola o asociada al trébol fueron mayores que la alfalfa-dactylis y avena y, consecuentemente, presentaron las mayores DP (95.17 y 91.46%). Sin embargo, las DE fueron similares para las tasas de pasaje de 2 y 5%/h e inferior a la asociación alfalfa-dactylis que presentaron DE de 66.82 y 59.37%.

La MS de la pasta de algodón y cebada molida destacó en las tasas de degradación por la elevada velocidad de hidrólisis, siendo menor en de la pasta de algodón (14.18%/h), aunque sin diferencia significativa (Cuadro 3). Este valor fue superior a la tasa de degradación reportada por Valadares (2010) entre 7.19 y 10.53 %/h. Las DP de la MS en ambos concentrados fueron diferentes ($p < 0.05$). En la cebada molida el mayor porcentaje de DP (90.33%) estuvo constituida por la fracción insoluble (b) que es potencialmente degradable por los microorganismos del rumen. La DE también fue elevada para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h. La tasa de degradación ruminal de 14.18 %/h de la pasta de algodón indica que es un alimento de rápida degradación ruminal de la MS (Martins *et al.*, 1999).

Los parámetros (a), (b) y (c), degradabilidad potencial (DP) y efectivas (DE) de la PC para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h, presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para los forrajes y los concentrados. Con relación a la tasa constante de degradación (c) de la PC, la avena y la asociación alfalfa-dactylis fueron las que degradaron más rápidamente (11.83 y 42.77%/h, respectivamente), y la alfalfa sola o asociada

al trébol rojo degradaron más lentamente. La fracción soluble (a) de la PC de la alfalfa y alfalfa-trébol rojo presentaron valores elevados (49%). Estos forrajes que presentaron los mayores contenidos de PC. De igual manera la fracción (a) de la PC de la avena presentó valor elevado (48.88%).

Se puede concluir que los valores elevados del coeficiente (a) de estos forrajes están relacionados al tamaño de las partículas (Villela *et al.*, 1999) o a los altos contenidos de compuestos no nitrogenados (urea, aminoácidos libres y péptidos pequeños), los cuales se liberan cuando el alimento llega al rumen y se convierten rápidamente en N amoniacal (Guerrero *et al.*, 2010). La contribución de este N a la producción de proteína microbiana es importante (Klopfenstein *et al.*, 2001). Sin embargo, existe un límite por encima del cual la fracción (a) no es fisiológicamente aceptable, ya que no debe superar 40% de la DE de la PC (AFRC, 1993). En este sentido, la PC a la tasa de pasaje de 2%/h, con excepción de la asociación alfalfa-dactylis, que registró una relación (a): DE de la PC = 24.18%, en la alfalfa, alfalfa-trébol rojo y avena las relaciones (60.52, 64.52 y 62.00%, respectivamente) fueron mayores al valor recomendado (<40%) para evitar la pérdida de N en los rumiantes.

La mayor DP correspondió a la alfalfa (97.62%) y la menor a la avena (80.20%) ($p < 0.05$). La mayor degradabilidad de la PC está relacionada, en general, con el mayor nivel de amonio y este puede contribuir al crecimiento de la población y actividad microbiana a nivel del rumen, que pueden dar lugar a un incremento en el aporte de nitrógeno microbiano al intestino delgado y maximizar el consumo de dietas altas en fibra (Ku Vera *et al.*, 1999).

La DE de la PC es una estimación del total del nitrógeno capturado y utilizado por los microorganismos del rumen para la síntesis de proteína y su crecimiento (AFRC, 1993). La proteína de los forrajes es suscep-

tible a la rápida degradación en el rumen, especialmente la de los forrajes verdes en los cuales se degrada hasta 73% (Klopfenstein *et al.*, 2001). Todos los forrajes estudiados presentaron valores elevados para la DE de la PC, especialmente en la tasa de pasaje de 2%/h, donde la alfalfa y la avena mostraron la mayor DE de la PC ($p < 0.05$). La asociación alfalfa-dactylis sufrió la mayor influencia de las tasas de pasajes, pues presentó la fracción soluble (a) bajo (18.25%) y la fracción potencialmente degradable (b) alto (68.66%), con relación a los otros forrajes. Por otro lado, la avena presentó altos valores de (a) (48.88%) y (c) (42.77%) y bajo valor de (b) (31.32%), indicando el bajo efecto de las tasas de pasajes consideradas. Por los resultados obtenidos para la DE de la PC, se puede afirmar que casi toda la proteína disponible en los forrajes fue degradada en el rumen, quedando disponible para el crecimiento microbiano.

La DE de la PC de la pasta de algodón fue de 82.14% para la tasa de pasaje de 5%/h, semejante a lo observado por Martins *et al.* (1999) de 81.40%. Este alimento presentó rápida degradación ruminal, (c) 26.05%/h y la fracción (a) alta (55.46%), evidenciando que la proteína de este alimento, juntamente con los demás parámetros es de alta y rápida degradación ruminal. Así mismo, la cebada molida sufrió mayor influencia de las tasas de pasajes estudiadas, ya que presentó (a) (33.19%) bajo y (b) (64.96%) alto, con relación a la pasta de algodón; sin embargo, por la alta tasa de degradación (22.41%/h) y la fracción (a) de 33.19% la PC de este alimento, se le caracteriza como de alta y rápida degradación ruminal (Martins *et al.*, 1999).

Dada la elevada tasa de digestión de la PC de la pasta de algodón, la utilización de este alimento debe ser concomitante al suministro de carbohidratos de rápida fermentación, como salvado de trigo, maíz molido, melaza, cebada molida, entre otros. Lo mismo debe suceder con la cebada molida en la que debe participar alimentos proteicos de rápida degradación.

Cuadro 3. Fracciones solubles (a), insolubles potencialmente degradables (b), indigestible (i), tasa de degradación constante de la fracción b (c), degradabilidad potencial (DP) y efectivas (DE) de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutra de forrajes y alimentos concentrados

	Fracciones (%)			c (%/h)	DP (%)	Degradabilidades efectivas (%) a tasas de pasaje de		
	A	B	i			2%/h	5%/h	8%/h
Forrajes								
Materia seca								
AL ¹	16.57 ^c	78.60 ^a	4.83	2.29 ^b	95.17 ^a	57.90 ^b	40.91 ^{bc}	33.82 ^c
AL-TR	10.35 ^d	81.11 ^a	8.54	3.06 ^b	91.46 ^b	57.71 ^b	39.55 ^c	31.27 ^d
AL-DA	20.36 ^b	58.73 ^b	20.91	7.80 ^a	79.09 ^d	66.82 ^a	59.37 ^a	49.04 ^a
AV	24.77 ^a	61.46 ^b	13.77	2.28 ^b	86.23 ^c	56.43 ^c	43.39 ^b	38.00 ^b
Concentrados								
P. algodón	25.73 ^a	29.80 ^b	44.47	14.18 ^b	55.53 ^b	51.78 ^b	47.68 ^b	44.71 ^b
Cebada M.	5.33 ^b	85.00 ^a	9.67	30.78 ^a	90.33 ^a	85.15 ^a	78.46 ^a	72.80 ^a
Proteína cruda								
Forrajes								
AL ¹	49.50 ^a	48.12 ^b	2.38	4.10 ^c	97.62 ^a	81.79 ^a	71.12 ^b	65.75 ^b
AL-TR	48.09 ^a	46.97 ^b	4.94	2.79 ^c	95.06 ^b	74.53 ^b	64.48 ^c	60.02 ^c
AL-DA	18.25 ^b	68.66 ^a	13.09	11.83 ^b	86.91 ^c	75.49 ^b	66.29 ^c	58.99 ^c
AV	48.88 ^a	31.32 ^c	19.80	42.77 ^a	80.20 ^d	78.84 ^a	77.07 ^a	75.40 ^a
Concentrados								
P. algodón	55.46 ^a	32.13 ^b	12.41	26.05 ^a	87.59 ^b	85.14 ^b	82.14 ^b	79.72 ^b
Cebada M.	33.19 ^b	64.96 ^a	1.85	22.41 ^b	98.5 ^a	92.86 ^a	86.36 ^a	81.15 ^a
Fibra detergente neutro								
Forrajes								
AL ¹	15.50 ^b	56.22 ^b	28.28	2.60 ^a	71.72 ^c	47.00 ^b	34.50 ^b	29.10 ^b
AL-TR	7.67 ^c	68.96 ^a	23.37	2.44 ^{ab}	76.63 ^{bc}	44.65 ^c	29.89 ^c	23.46 ^d
AL-DA	23.42 ^a	54.50 ^b	22.08	2.02 ^b	77.92 ^{ab}	50.17 ^a	38.76 ^a	34.20 ^a
AV	17.48 ^b	65.09 ^a	17.43	1.21 ^c	82.57 ^a	42.19 ^d	30.36 ^c	26.19 ^c
Concentrados								
P. algodón	44.53 ^b	19.02 ^a	36.45	3.35 ^b	63.55 ^b	55.64 ^b	51.52 ^b	49.66 ^b
Cebada M.	67.89 ^a	18.88 ^a	13.23	8.99 ^a	86.77 ^a	82.25 ^a	78.92 ^a	76.98 ^a

¹ AL = Alfalfa; AL-TR = alfalfa-trébol rojo; AL-DA = alfalfa-dactylis; AV = avena

Medias con letras diferentes dentro de una columna son estadísticamente diferentes ($p < 0.05$)

Los parámetros de la degradabilidad ruminal de la FDN fueron influenciados significativamente ($p < 0.05$) para los forrajes y alimentos concentrados en estudio (Cuadro 3). Viendo los parámetros de la degradabilidad de la FDN y considerando que los carbohidratos fibrosos (CF=FDN) son los principales componentes de los fo-

rrajes, en el presente estudio se presentaron tasas de degradaciones bajas (lentas), que variaron entre 2.02 y 2.60%/h con digestión incompleta (i: 28.28, 23.37 y 22.08%) en la alfalfa, alfalfa-trébol rojo y alfalfa-dactylis. Así, ante el conocimiento de las fracciones que componen la FDN (D y i), se puede presumir que la fracción no digestible (i) tiene conside-

Cuadro 4. Estimaciones del consumo de MS (kg) de forrajes con ecuaciones propuestas por varios autores

Forrajes	Consumo de MS ¹ (kg/día)		
	Ørskov <i>et al.</i> (1988) ¹	Shem <i>et al.</i> (1995) ²	Von Keyserling y Mathison (1989) ³
Alfalfa	6.83	4.55	2.79
Alfalfa-trébol rojo	6.55	3.29	2.88
Alfalfa-dactylis	5.62	4.52	3.80
Avena	6.16	4.98	2.48

¹ CMS = -0.822 + 0.0748 (a + b) + 40.7c

² CMS = -8.286 + 0.266a + 0.102b + 17.96c

³ CMS = -1.19 + 0.035 (a + b) + 28.5c

able efecto sobre la indigestibilidad de los alimentos (Da Silva *et al.*, 2005). La asociación alfalfa-trébol rojo presentó la fracción (a) baja (7.67 %) y la fracción (b) alto (68.96%); por tanto, fue afectada en mayor grado por las tasas de pasajes, mientras que el mayor porcentaje de la DP de la FDN en la avena estuvo constituido por la fracción (b) y con tasa de degradación baja (1.21%/h) y, consecuentemente, hubo mayor influencia de las tasas de pasajes estudiados. Según los datos de la DE de la FDN se puede concluir que no toda la pared celular de los forrajes fue degradada en el rumen.

En la fracción soluble de la FDN (a), se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los concentrados, correspondiendo a la cebada la mayor fracción (67.89%) y a la pasta de algodón la menor fracción (44.53%) (Cuadro 3). Para la fracción insoluble en agua, pero potencialmente degradable (b), se puede constatar que los valores fueron semejantes entre sí (19.02 y 18.88%). Como dato comparativo se puede citar el trabajo de Villela *et al.* (1999) con cáscara de variedades de maracuyá, donde la fracción (a) varió entre 2 y 10% y la fracción (b) entre 48 y 58%. Por otro lado, con relación a (c), la pasta de algodón presentó una tasa de degradación de 3.35%/h, que la caracteriza como de lenta

degradación ruminal. Contrariamente la cebada molida presentó una mayor tasa de degradación (8.99%/h), caracterizándose como de rápida degradación de la FDN.

Observando los valores de la DE de la FDN, se puede considerar que la cebada presentó altos valores de (a) y (c) y, consecuentemente, este alimento tuvo baja influencia de las tasas de pasajes; en tanto que la pasta de algodón presentó lenta e incompleta digestión ($i = 36.45\%$) de la FDN con relación a la cebada molida ($i = 13.23\%$). Por los datos de la DE de la FDN se puede afirmar que casi toda la FDN de la cebada fue degradada en el rumen, y que cerca de la mitad de la FDN de la pasta de algodón no fue degradada.

Las estimaciones del consumo en base a los parámetros de la degradabilidad *in situ* de la MS obtenidas por las ecuaciones de Shem *et al.* (1995) y von Keyserling y Mathison (1989) fueron semejantes entre sí, con valores menores que las determinadas con la ecuación de Ørskov *et al.* (1988) (Cuadro 4). Los consumos equivalentes varían entre 1.31 y 1.59% PV al utilizar la fórmula de Ørskov *et al.* (1988). Según Noller (1966), los forrajes en estudio serían clasificados como recursos de pobre calidad. Las bajas estimaciones del consumo de MS obtenidos en el

presente estudio pueden ser atribuidas a que las ecuaciones no consideran el tiempo de colonización de la fibra y el contenido de humedad. Además, es posible que otras características de los forrajes puedan haber influido en la predicción del consumo, como la tasa de reducción de partículas y la tasa de salida de la digesta (Orskov *et al.*, 1988).

CONCLUSIONES

- La incubación de muestras de alfalfa, alfalfa-trébol rojo, alfalfa-dactylis y avena suspendidas en el rumen por hasta 96 horas fueron suficientes para alcanzar valores máximos de degradabilidad de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro. La cebada molida permitió las máximas degradabilidades de la materia seca y de la proteína cruda a las 48 horas de incubación.
- La asociación alfalfa-dactylis sobresalió por su mayor degradabilidad efectiva de la materia seca, fracción soluble (*a*) y tasa de degradación. La alfalfa fue superior en la fracción soluble (*a*), degradabilidad potencial y efectiva de la proteína cruda en la tasa de pasaje de 2%/h.
- La avena fue más relevante por su menor fracción indigestible de la fibra detergente neutro y mayor fracción potencialmente degradable, mientras que la cebada molida destaca por su elevada fracción potencialmente degradable (*b*), degradabilidad potencial y degradabilidades efectivas de la proteína cruda.
- Las ecuaciones de predicción, utilizando los parámetros de la degradación *in situ* de los forrajes no proporcionaron estimaciones de consumo válidas.

Agradecimientos

Se agradece al Fondo de Desarrollo Socioeconómico del Proyecto de Camisea por el financiamiento a través del Proyecto «Ge-

neración y evaluación de un sistema computarizado en formulación de raciones al mínimo costo para ganado lechero en la provincia de Huaytará Acobamba, Tayacaja y Huancavelica de la región Huancavelica» y a los ganaderos dedicados a la crianza de ganado bovino lechero de las distintos distritos y provincias de la región Huancavelica-Perú por su apoyo en brindar muestras de cultivos para este estudio.

LITERATURA CITADA

1. [AFRC] *Agricultural and Food Research Council*. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford, UK: CAB International. 159p.
2. *Caballero AW, Flores MA*. 2006. Pobreza y pobreza extrema rural: en la pequeña agricultura y en la agricultura de minifundio. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria la Molina. 454 p.
3. *Cabral L, Valadares S, Tilemahos J, de Souza A, Detmann E*. 2005. Degradabilidade *in situ* da materia seca, da proteína bruta e da fibra de alguns alimentos. Pesqui Agropecu Bras 40: 777-781. doi: 10.1590/S0100-204X2005000800007
4. *Carvalho GG, Pires AJ, Veloso CM, Silva FF, Silva R*. 2006. Ruminal degradability of tropical forages hays. Rev Bras Agrocienc 12: 81-85 doi: 10.18539/CAST.V12I1.4493
5. *Cordero A, Contreras J, Curasma J, Tunque M, Enriquez D*. 2018. Degradabilidad *in situ* y estimación del consumo de forrajes y concentrados en alpacas (*Vicugna pacos*). Rev Inv Vet Perú 29: 429-437. doi: 10.15381/rivep.v29i2.14484
6. *Garcez B, Alves A, Oliveira D, Moreira M, Reis JA, Santana YA*. 2016. Efeito do tamanho de partícula sobre a degradação ruminal do feno do restolho da cultura do girasol. Rev Bras Ciênc Vet 23: 76-80.

7. **Guerrero M, Juárez AS, Ramírez RG, Montoya R, Murillo M, La OO, Cerri-lo MA. 2010.** Composición química y degradabilidad de la proteína de forrajes nativos de la región semiárida del norte de México. *Cuban J Agr Sci* 44: 147-154.
8. **Klopfenstein TJ, Mass RA, Creighton KW, Patterson HH. 2001.** Estimating forage protein degradation in the rumen. *J Anim Sci* 79(Suppl E): 208-216. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE208x
9. **Ku Vera JC, Ramírez L, Jiménez G, Jiménez G, Alayón JA, Ramírez L. 1999.** Árboles y arbustos para la producción animal en el trópico mexicano. En: IV Seminario Internacional sobre Sistemas Agropecuarios Sostenibles. Cali, Colombia.
10. **Lagares P, Puerto J. 2001.** Población y muestra. Técnicas de muestreos. Management Mathematics for European Schools. 20 p. [Internet]. Disponible en: http://recursos.salonesvirtuales.com/assets/bloques/paula_lagares.pdf
11. **Martins AS, Zeoula LM, Prado IN, Martins EN, Loyola VR. 1999.** Ruminant *in situ* degradability of dry matter and crude protein of corn and sorghum silages and some concentrate feeds. *Rev Bras Zootecn* 28: 1109-1117. doi: 10.1590/S1516-35981999000500029.
12. **Molina LR, Rodríguez NM, Mourão de Sousa B, Gonçalves LC, Borges I. 2003.** Potential degradability parameters of the dry matter and crude protein of six sorghum silage genotypes (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), with or without tannin on grain, evaluated by *in situ* technique. *Rev Bras Zootecn* 32: 222-228. doi : 10.1590/S1516-3598200-3000100028
13. **Noller CH, Nascimento J, Queiroz D. 1996.** Exigências nutricionais de animais em pastejo. En: Simpósio sobre manejo de pastagens. Piracicaba, Brasil.
14. **Ørskov ER, McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J Agri Sci* 92: 499-453. doi: 10.1017/S0021859600063048
15. **Ørskov ER, Reid GW, Kay MR. 1988.** Prediction of intake of cattle from degradation characteristics of roughages. *Anim Sci* 46: 29-34. doi: 10.1017/S000335610000307X
16. **Ruggieri AC, Tonani FL, Andrade P, Silveira AC. 2001.** Effect of wilting and addition of corn meal on *in situ* degradability of alfalfa silage (*Medicago sativa* L). *Arq Bras Med Vet Zoo* 53: 94-99.
17. **SAS. 2009.** SAS/STAT: User's guide: statistics. Release 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC.
18. **Shem MN, Ørskov ER, Kimambo AE. 1995.** Prediction of voluntary dry-matter intake, digestible dry-matter intake and growth rate of cattle from degradation characteristics of tropical foods. *J Anim Sci* 60: 65-74. doi: 10.1017/S13577-29800008146
19. **Silva DJ, Queiroz AC. 2002.** Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3° ed. Viçosa, Brasil: Editora UFV. 235 p.
20. **Souza NH, Franzolin R, Rodriguez PH, Scoton RA. 2000.** Effects of the increasing levels of neutral detergent fiber in the diet on the ruminal fermentation in water buffaloes and cattle. *Rev Bras Zootecn* 29: 1565-1177.
21. **Valadares FSC, Silva MPA, Luiz CM. 2010.** Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos. 3° ed. Viçosa, Brasil: UFV/DZO. 502 p.
22. **Veloso CM, Rodríguez NM, Sampaio IBM, Gonçalves LC, Mourão GB. 2000.** pH e amônia ruminais, relação folhas: hastes e degradabilidade ruminal da fibra de forrageiras tropicais. *Rev Bra Zootec* 29: 871-879. doi: 10.1590/S1516-35982000000300033
23. **Villela V, Maldonado VH, da Silva JH. 1999.** Chemical composition and *in situ* degradability of dry matter, crude protein

and neutral detergent fiber of three varieties passion fruit (*Passiflora* spp) shelves. Rev Bras Zootecn 28: 1148-1158. doi: 10.1590/S1516-35981999-000500034

24. Von Keyserlingk MA, Mathison GW. 1989. Use of the *in situ* technique and passage rate constants in predicting voluntary intake and apparent digestibility of forages by steers. Can J Anim Sci 69: 973-987. doi: 10.4141/CJAS89-112