

## Cinética ruminal de la degradación del ensilado de avena-follaje de papa conteniendo salvado de trigo en bovinos Brown Swiss

### Ruminal kinetics of the degradation oat-potato foliage silage containing wheat bran in Brown Swiss cattle

Deice Carrasco Sanchez<sup>1</sup>, José Luis Contreras Paco<sup>1\*</sup>, Alfonso Cordero Fernandez<sup>2</sup>, James Curasma Ccente

#### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar la cinética ruminal de la degradación de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN) del ensilado de avena – follaje de papa, en la proporción de 70:30, incluyendo cuatro niveles de salvado de trigo (0, 10, 20, 30%, con base a la materia natural de la masa ensilada). Se utilizó un diseño de bloques al azar factorial de 4 x 6 (niveles, tiempos) con tres repeticiones. Se emplearon tres bovinos Brown Swiss con fistula ruminal. Se incubaron 5 g de muestra en bolsa de nylon durante 4, 8, 12, 24, 48 y 72 h. El tiempo cero ( $t_0$ ) fue utilizado para el cálculo de la fracción soluble. La desaparición (degradabilidad) de la MS, PC y FDN tuvo comportamiento cuadrático, observándose aumento en la degradabilidad de estos nutrientes hasta el nivel óptimo de 27.64, 22.64 y 27.80% de inclusión de salvado de trigo al ensilado de avena – follaje de papa para 48 h de incubación, respectivamente. A excepción de la MS, la degradabilidad potencial y efectiva a las tasas de flujo de 2, 5 y 8%/h de la PC y FDN de los ensilados fueron influenciados por los niveles de salvado de trigo. En los ensilados con 10, 20 y 30% de salvado de trigo, la degradabilidad potencial de la FDN

<sup>1</sup> Escuela de Posgrado, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

<sup>2</sup> Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos, Universidad Nacional de Huancavelica, Ciudad Universitaria de Paturpampa, Huancavelica, Perú

\* E-mail: jose.contreras@unh.edu.pe

Recibido: 3 de mayo de 2022

Aceptado para publicación: 18 de noviembre de 2022

Publicado: 22 de diciembre de 2022

©Los autores. Este artículo es publicado por la Rev Inv Vet Perú de la Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original

osciló entre 74.99 a 84.36%. El salvado de trigo, en los niveles estudiados, mejoró la tasa constante (c) de degradabilidad potencial y efectiva de la MS, PC y FDN de los ensilados, que fueron caracterizados como alimentos de alta calidad nutricional.

**Palabras clave:** degradabilidad *in situ*, ensilados, avena, follaje de papa, salvado de trigo

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the ruminal kinetics of the degradation of dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fibre (NDF) of oat silage - potato foliage, in the ratio of 70:30, including four levels of wheat bran (0, 10, 20, 30%, based on the natural matter of the ensiled mass). A factorial randomized block design of 4 x 6 (levels, times) with three replications was used. Three Brown Swiss cattle with ruminal fistula were used. Samples (5 g) were placed in a nylon bag and incubated for 4, 8, 12, 24, 48 and 72 h. Zero time (t<sub>0</sub>) was used to calculate the soluble fraction. The disappearance (degradability) of DM, CP and NDF showed a quadratic result, observing an increase in the degradability of these nutrients up to the optimum level of 27.64, 22.64 and 27.80% inclusion of wheat bran in oat silage - potato foliage for 48 h of incubation, respectively. Except for DM, the potential and effective degradability at flow rates of 2, 5 and 8%/h of the CP and NDF of the silages were influenced by the levels of wheat bran. In the silages with 10, 20 and 30% wheat bran, the potential degradability of NDF ranged from 74.99 to 84.36%. Wheat bran, at the levels studied, improved the constant rate (c) of potential and effective degradability of the DM, CP and NDF of the silages, which were characterized as feeds of high nutritional quality.

**Key words:** *in situ* degradability, silage, oats, potato foliage, wheat bran

## INTRODUCCIÓN

Los distritos de la región de Huanca-velica, Perú, se encuentran en altitudes entre 2300 y 3500 msnm, y presentan clima de tipo CW y DWV, caracterizados por ser templado moderado y lluvioso en el verano, y frío y seco en el invierno. La temperatura media anual varía entre 6 a 14 °C. La mayor parte de los suelos de la región son superficiales (Litosoles) (Flores, 1993).

La baja calidad y cantidad de forrajes en la época seca (abril a octubre) demandan el uso de prácticas de conservación de alimentos producidos en el periodo de lluvias. Dentro de las gramíneas anuales, la avena (*Avena sativa* L) es una de las especies forrajeras que destaca para la producción de

ensilaje. El cultivo de la avena es una práctica bastante difundida en la sierra peruana por su adaptación, facilidad de sembrío y presentar adecuada concentración de proteína cruda (6.17%) (Contreras, 2019). Según Júnior y Lavezzo (2001), las especies forrajeras para ensilaje deben ser cortadas cuando presenten un razonable rendimiento de materia seca (MS) por área, buen contenido de proteína cruda y bajos contenidos de las fracciones fibrosas.

Se espera una buena fermentación del ensilaje cuando el forraje presenta entre 28 y 34% de MS y entre 6 y 8% de carbohidratos solubles para desencadenar fermentaciones lácticas. El bajo contenido de MS en el proceso de ensilaje promueve la baja presión osmótica, favoreciendo el desarrollo de bac-

terias del género *Clostridium*, los cuales desdoblán los azúcares, ácido láctico, proteína y aminoácidos a ácido butírico, acético, amonio y gas carbónico, dando lugar en la disminución del valor nutritivo del ensilado (McDonald *et al.*, 1991).

En general, en muchos países existe una gran diversidad y cantidad de residuos agroindustriales con diferentes potencialidades alimenticias. Sin embargo, la mayoría de estos residuos se pierden, en función de su poco conocimiento de su valor nutritivo y sus limitaciones cuanto, a la respuesta animal, con su inclusión en la dieta (Villela *et al.*, 1999). La región de Huancavelica dispone de grandes cantidades de residuos de la agricultura, como es el caso del follaje de papa (*Solanum tuberosum*), no utilizables en la alimentación humana, pero que podrían ser aprovechados en la dieta animal, constituyendo un factor importante en la reducción de los costos de producción. No obstante, este residuo presenta alto contenido de humedad y fibra que pueden limitar la utilización directa en la alimentación de los bovinos, pero una alternativa viable sería bajo la forma de ensilaje, juntamente con la avena forrajera.

Para minimizar los problemas de humedad de las especies que inhiben el adecuado proceso fermentativo se puede aumentar el porcentaje de MS de la especie forrajera en el interior del silo. Dentro de las técnicas posibles sobresale la adición de aditivos absorbentes y nutritivos, como el salvado de trigo, que además de contribuir en el perfil fermentativo de los ensilados, puede contribuir en el mejoramiento del valor nutritivo (Candido *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2010; Maza *et al.*, 2011; Oliveira *et al.*, 2012, 2017; Bonfá *et al.*, 2017).

La digestión de los rumiantes es un proceso complejo que involucra múltiples interacciones entre la dieta, los microorganismos ruminales y el hospedero (Noguera y Posada, 2007). Histológicamente, los tejidos de las plantas forrajeras pueden ser divididas en tres tipos: 1) material rápidamente fermentable

(células del mesófilo), 2) material de lenta fermentación (esclerenquima, parénquima), y 3) material indigestible (tejido vascular lignificado) (Akin, 1979). El conocimiento de la digestibilidad de los forrajes es importante para un buen balance de las raciones y de la óptima fermentación ruminal.

La técnica gravimétrica o *in situ* consiste en determinar la degradabilidad de nutrientes (MS, proteína cruda [PC], fibra detergente neutra [FDN], etc.) a través de la introducción de sacos de nylon, con cantidad conocida de alimento, en animales con rumen fistulado (Lana, 2005). La proporción de nutrientes que están disponibles para el rumiante varía en función de la competencia entre las tasas de degradación y pasaje (Noguera y Posada, 2007).

El conocimiento de las tasas de degradación y el flujo de los alimentos proporcionan datos para un balance más eficiente de las raciones para los rumiantes. Sin embargo, bajo las condiciones de la región de Huancavelica, han sido escasos o nulos los estudios orientados a caracterizar la degradación *in situ* de los nutrientes y del real potencial nutritivo de los ensilados con aditivos. Teniendo en cuenta estas consideraciones, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la degradabilidad ruminal de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) de ensilados de avena-follaje de papa en la proporción 70:30 conteniendo cuatro niveles de inclusión de salvado de trigo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del Estudio

El experimento fue conducido en las instalaciones de la Escuela Profesional de Zootecnia (EAPZ) de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, perteneciente a la Universidad Nacional de Huancavelica (UNH), ubicada

en el distrito, provincia y región de Huanca-velica, Perú. La zona se encuentra a 3704 m sobre el nivel del mar. Los análisis químicos bromatológicos fueron realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal y Evaluación de Alimentos de la UNH.

### Tratamientos Experimentales

Fueron utilizados como silos experimentales 12 baldes de plástico con tapa a presión de 10 kg de capacidad, distribuidos en cuatro niveles de inclusión de salvado de trigo (ST) (0, 10, 20, 30% con base a la materia natural) al ensilaje de avena – follaje de papa (proporción 70:30). Cada tratamiento constó de tres repeticiones.

Para la confección de los ensilados se utilizó avena cortada a los 125 días de crecimiento, procesado en máquina picadora y mezclada con salvado de trigo. La inclusión del coproducto fue hecha en base a la materia natural de la masa ensilada, colocándose en cada silo 5 kg de materia fresca. Los silos fueron abiertos a los 30 días y se tomaron muestras que fueron sometidas a pre-deshidratación en estufa de ventilación forzada a 65 °C por 72 h y molidas en molino tipo Willy en tamiz de 3 mm.

### Animales y Variables

Para el ensayo *in situ* fueron utilizados tres toros Brown Swiss portadores de cánulas ruminales permanentes, con edades de 3.0-3.5 años y peso medio de 540 kg. Los animales permanecieron en corrales individuales, con comedero y bebedero. Se tuvo un periodo de adaptación de 12 días, donde los animales fueron alimentados *ad libitum* con una dieta de partes iguales de alfalfa (*Medicago sativa* L) y de avena (*Avena sativa* L), suministrada a las 08:00 y 17:00 h. La proporción de la mezcla permaneció constante durante todo el periodo experimental.

### Degradabilidad Ruminal

Se utilizaron bolsas de nylon (Ankom, Turk Hill, USA) de 7 x12 cm, con poros de abertura de aproximadamente 50 µm. En cada bolsa fue colocada una muestra de 5 g (base en la MS). Todas las muestras fueron incubadas en duplicado en el rumen por las mañanas. Las bolsas fueron adheridas a una cadena de acero inoxidable que estaba suspendida por un hilo de nylon en la cánula. Los tiempos de incubación fueron 6, 12, 24, 48 y 72 h. Las bolsas correspondientes al tiempo cero horas (t0) no fueron incubados, pero fueron inmersas en agua a 39 °C por 15 min y secadas en estufa (Jeio Tech - of-300h, Corea del Sur) de ventilación forzada a 60 °C por 24 h.

Las bolsas de nylon fueron retiradas tras los tiempos de incubación respectivos, y colocadas en un balde con agua fría durante 5 min para interrumpir la actividad microbiana. Luego fueron lavadas manualmente en agua corriente hasta que desapareciera la coloración turbia. Posteriormente, las bolsas fueron secadas en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 24 h. La desaparición *in situ* de la MS se determinó utilizando la siguiente fórmula:  $([Muestra\ incubada,\ g - Residuo,\ g] / Muestra\ incubada,\ g) * 100$ . Concentraciones de PC en cada muestra fue cuantificada por la técnica de Kjeldahl (Silva y Queiroz, 2002), donde la PC fue determinada por la multiplicación del porcentaje de N en cada muestra por 6.25. La FDN se obtuvo mediante el analizador de fibra Ankom 200 (Ankom Technology Corp., USA).

Para el análisis e interpretación de los perfiles de degradación de la MS, PC y FDN se calculó utilizando el modelo asintótico exponencial de primer orden de la ecuación descrita por Ørskov y McDonald (1979),  $DP = a + b*(1-e^{-c*t})$ , (ecuación I), donde: DP = degradabilidad potencial (%); (a) = fracción soluble (%); (b) = fracción insoluble poten-

cialmente degradable (%); (c) = tasa constante de degradación por acción fermentativa de (b) (%/hora); t = tiempo (horas); e = base de los logaritmos naturales; «a» + «b» < 100.

Los coeficientes (a), (b) y (c) fueron calculados con el aplicativo Solver de Microsoft Excel, y utilizados para el cálculo de la degradabilidad efectiva (DE) de la MS, PC y FDN en el rumen de acuerdo con la ecuación de Ørskov y McDonald (1979):  $DE = a + [(b \times c)/(c + k)]$ , (ecuación II), donde: DE = corresponde a la degradabilidad ruminal efectiva del componente nutritivo analizado y que k = es la tasa estimada de pasaje del alimento, asumiéndose las tasas de pasaje de los sólidos para el duodeno de 2, 5 y 8%/hora, que puede ser atribuido a un nivel de consumo alimenticio bajo, medio y alto, según AFRC (1993). Los demás parámetros fueron descritos en la ecuación I.

### Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar (3 animales) con arreglo factorial de 4 x 6 (niveles, tiempos), con el modelo lineal:  $Y_{ijk} = \mu + n_i + t_j + (nxt)_{ij} + b_k$ , donde  $Y_{ijk}$  = variable respuesta (parámetros de la degradación *in situ*),  $\mu$  = media general,  $n_i$  = efecto de los niveles de salvado de trigo (i= 1, 2, 3, 4),  $t_j$  = efecto de los tiempos de incubación ruminal (j=1, 2, 3, 4, 5, 6),  $(nxt)_{ij}$  = efecto de la interacción entre los factores n y t,  $b_k$  = efecto de los bloques y  $b_k$  = error experimental.

Se realizó el análisis de variancia y de regresión en los datos relativos a la degradabilidad de la MS, PC y FDN, adoptándose el procedimiento GLM del SAS v. 9.2 (2009). Las diferencias de medias fueron comparadas por la prueba de Tukey a 5% de probabilidad. La selección de los modelos de regresión se basó en la significación de los coeficientes lineales, cuadráticos y cúbicos, por medio de la prueba de t de Student a los niveles de 0.1, 1 y 5%.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Desaparición de Nutrientes

Las desapariciones (degradabilidades) medias de la MS, PC y FDN de los ensilados de avena – follaje de papa (AFP) de los niveles de 0, 10, 20 y 30% de salvado de trigo (ST) en combinación con los diferentes tiempos de incubación ruminal se presentan en el Cuadro 1.

El análisis de variancia de la regresión, a excepción de las 72 h de incubación, determinó una respuesta cuadrática ( $p < 0.001$ ) en la degradabilidad de la MS en función a los niveles de ST para los tiempos de 0, 6, 12, 24 y 48 h, registrándose valores máximos estimados de 33.37, 46.94, 50.00, 59.13 y 70.65% de la degradabilidad de la MS con la inclusión de 23.48, 25.51, 28.13, 29.91 y 27.64% de ST, respectivamente. El aumento en la degradabilidad de la MS para las 72 h de incubación fue de 0.62 unidades porcentuales por cada 1% de inclusión del coproducto. En condiciones tropicales Rêgo *et al.* (2010), trabajando con la inclusión del subproducto del grano de achote (*Bixa Orellana* L) en el ensilado del pasto elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) a las 96 h de incubación observaron comportamiento lineal creciente de 0.62% de desaparición de la MS para cada unidad del subproducto adicionado.

La solubilidad de la PC ( $t_0$ ) de los ensilados fue de 31.30 a 47.46% para el ensilado libre de ST y con la inclusión de 20% de ST (Cuadro 1). Estos valores representan el nitrógeno soluble o lo suficientemente triturado en partículas pequeñas para salir de las bolsas de incubación (Molina *et al.*, 2003). Al igual que en el ( $t_0$ ), el análisis de variancia de la regresión mostró respuesta cuadrática en la desaparición de la PC para los otros tiempos de incubación, y que con 24.06, 23.14, 22.02, 24.21, 22.64 y 24.71% de inclusión de ST a la AFP correspondieron las máximas desapariciones de PC de 47.56, 56.00, 60.50, 67.18, 74.00 y 78.06%, respectivamente.

Cuadro 1. Desaparición (degradabilidad) media de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN) del ensilado de avena – follaje de papa en seis tiempos de incubación ruminal, en función a los niveles de salvado de trigo

Tiempos (horas)	Niveles de salvado de trigo (%)				Ecuación de regresión Valor de Y	R <sup>2</sup>
	0	10	20	30		
Desaparición de la MS (%)						
T <sub>0</sub>	11.49	25.68	33.52	31.84	11.334 + 1.878***ST - 0.040***ST <sup>2</sup>	0.9756
6	15.37	36.42	44.65	46.65	15.699 + 2.449***ST - 0.048***ST <sup>2</sup>	0.9867
12	21.48	36.61	48.17	48.76	21.110 + 2.025***ST - 0.036***ST <sup>2</sup>	0.9693
24	31.06	44.72	57.48	58.17	30.505 + 1.914***ST - 0.032***ST <sup>2</sup>	0.8940
48	39.91	58.32	65.62	65.94	40.120 + 2.211***ST - 0.045***ST <sup>2</sup>	0.9391
72	51.16	59.55	67.53	69.09	52.567 + 0.6177***ST	0.7688
Desaparición de la PC (%)						
0	31.30	41.59	47.46	46.41	31.172 + 1.362***ST - 0.083***ST <sup>2</sup>	0.9537
6	36.38	50.84	54.80	55.02	36.722 + 1.666***ST - 0.036***ST <sup>2</sup>	0.9294
12	43.42	54.24	61.54	58.05	43.058 + 1.585***ST - 0.036***ST <sup>2</sup>	0.9284
24	51.01	60.81	67.48	66.14	50.766 + 1.356***ST - 0.028***ST <sup>2</sup>	0.9411
48	56.40	69.09	73.45	72.71	56.559 + 1.540***ST - 0.034***ST <sup>2</sup>	0.9289
72	64.11	72.76	77.75	77.11	64.012 + 1.137***ST - 0.023***ST <sup>2</sup>	0.8839
Desaparición de la FDN (%)						
0	31.29	47.10	56.55	57.28	31.172 + 2.005***ST - 0.038***ST <sup>2</sup>	0.9822
6	35.58	58.23	68.58	72.63	35.882 + 2.610***ST - 0.047***ST <sup>2</sup>	0.9891
12	40.41	58.97	73.20	74.99	40.007 + 2.437***ST - 0.042***ST <sup>2</sup>	0.9839
24	49.64	66.36	78.34	80.07	49.367 + 2.156***ST - 0.037***ST <sup>2</sup>	0.9772
48	55.60	72.88	81.80	84.33	55.699 + 2.057***ST - 0.037***ST <sup>2</sup>	0.9947
72	62.16	74.29	82.03	85.47	62.165 + 1.428***ST - 0.022***ST <sup>2</sup>	0.9489

\*, \*\* y \*\*\* Significativo a 5, 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"  
<sup>ST</sup> Nivel de salvado de trigo en el ensilado de avena-follaje de papa

Se puede observar para el t<sub>0</sub> y los otros tiempos de incubación ruminal que la desaparición de la FDN tuvo un efecto cuadrático con los niveles crecientes de la inclusión de ST al ensilado de AFP (Cuadro 1). A partir de este modelo se estimó que la inclusión de 26.38% de ST en t<sub>0</sub> permite obtener la menor desaparición de la FDN (57.62%), mientras que con 27.77 y 29.01% de ST en los tiempos de incubación 6 y 12 h se registraron valores intermedios del desaparecimiento de la FDN (72.12 vs 75.42%). El óptimo de la des-

aparición de la FDN se logró entre 80.77 y 85.33% con el uso de 29.14 y 32.45% de ST en los tiempos de incubación de 24 y 72 h. Hecho que demuestra que con la concentración entre 26 y 32% de ST se consiguen las máximas degradabilidades de la FDN en los ensilados en estudio.

La desaparición media de la MS, PC y FDN en el tiempo cero y en los tiempos de incubación ruminal (horas) para cada nivel de inclusión de ST en los ensilados de AFP

Cuadro 2. Desaparición (degradabilidad) media de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutra (FDN) del ensilado de avena – follaje de papa incluido de niveles de salvado de trigo, en función a los tiempos de incubación ruminal

Niveles salvado de trigo (%)	Tiempos de incubación (horas)						Ecuación de regresión Valor de Y	R <sup>2</sup>
	0	6	12	24	48	72		
Desaparición de la MS (%)								
0	11.49	15.37	21.48	31.06	39.91	51.16	13.820 + 0.5405***T	0.9311
10	25.68	36.42	36.61	44.72	58.32	59.55	27.278 + 0.964***T - 0.00711***T	0.9457
20	33.52	44.65	48.17	57.48	65.62	67.53	35.930 + 1.098***T - 0.00927***T	0.9423
30	31.84	46.65	48.76	58.17	65.94	69.09	33.723 + 1.709***T - 0.0318**T <sup>2</sup> +0.000208*T <sup>3</sup>	0.9483
Desaparición de la PC (%)								
0	31.30	36.38	43.42	51.01	56.40	64.11	32.465 + 0.823***T-0.006***T <sup>2</sup>	0.9549
10	41.59	50.84	54.24	60.81	69.09	72.76	43.818 + 0.868***T - 0.0065***T <sup>2</sup>	0.9508
20	47.46	54.80	61.54	67.48	73.45	77.75	49.456 + 0.888***T- 0.0071***T <sup>2</sup>	0.9528
30	46.41	55.02	58.05	66.14	72.71	77.11	48.369 + 0.854***T - 0.0065***T <sup>2</sup>	0.9557
Desaparición de la FDN								
0	31.29	35.58	40.41	49.64	55.60	62.16	31.589 + 0.791***T - 0.0052**T <sup>2</sup>	0.9549
10	47.10	58.23	58.97	66.36	72.88	74.29	49.875 + 0.855***T- 0.00726***T <sup>2</sup>	0.9291
20	56.55	68.58	73.20	78.34	81.80	82.03	60.498 + 0.951***T- 0.00927***T	0.8991
30	57.28	72.63	74.99	80.07	84.33	85.47	62.525 + 0.950***T- 0.0090***T <sup>2</sup>	0.8677

\*, \*\* y \*\*\* Significativo a 5, 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de “t”  
<sup>†</sup> Tiempo de incubación ruminal

se encuentran en el Cuadro 2. Las fracciones solubles en t<sub>0</sub> de la MS variaron entre 11.49 y 51.16% para los tratamientos libres de ST (control, 0). El primer valor es inferior con las fracciones solubles de 19.49, 19.33 y 19.78% observadas para los ensilados de sorgo genotipo BR 701, napier (*Panicum purpureum* Schum) y avena observados por Molina *et al.* (2003), Coutinho *et al.* (2010) y Contreras *et al.* (2019), respectivamente. Por otro lado, Contreras *et al.* (2018) en la cebada refieren degradabilidades de MS de 15.69,

15.12 y 16.72% en el t<sub>0</sub> evaluadas a los 130, 150 y 170 días de edad, respectivamente. Estos altos valores de solubilidad en t<sub>0</sub> podrían deberse a que en molindas muy finas el material puede pasar fácilmente por los poros de la bolsa de incubación; sin embargo, Michalet-Doreau y Ould-Bah (1992) indican que las partículas que escapan de las bolsas y que no son degradadas no afectarían la degradabilidad final del material incubado. El ensilado de avena – follaje de papa sin la inclusión de ST en función a las horas de

incubación presentó una respuesta lineal positiva en la degradabilidad de la MS, con el aumento de 0.54% de degradabilidad por cada hora de incubación ruminal (Cuadro 2).

Para los ensilados incluidos de 10 y 20% de ST correspondieron las máximas estimaciones de desapariciones de la MS (59.95% vs 68.44%) a las 67.8 y 59.2 h, respectivamente. Así mismo, el óptimo de desaparición de la MS de 69.86% ocurrió a las 72.8 h en el ensilado con 30% del coproducto ST (Cuadro 2). Contreras *et al.* (2019) observaron para la avena la estabilización de la MS a partir de las 72 h, sin diferencias significativas con las de 96 h de incubación. En el presente estudio se demuestra que incubaciones ruminales entre 60 y 72 h son suficientes para lograr las máximas desapariciones de la MS.

En los ensilados incluidos de 20 y 30% de ST se observaron las óptimas estimaciones de las desapariciones de la PC (77.22 y 76.42%) a las 62.53 y 65.69 h de la incubación, respectivamente. Comportamiento que demuestra que los valores de la desaparición de la PC se estabilizaron a partir de esas horas de incubación, correspondiendo el valor intermedio máximo de 72.79% de la desaparición de la PC al ensilado con 10% de ST, hecho que ocurrió a las 66.77 horas de incubación. En cambio los ensilados libre de ST mostraron las máximas desapariciones de la PC (60.68%) a las 68.68 h de acuerdo con las ecuaciones de regresión (Cuadro 2). Molina *et al.* (2003) y Contreras *et al.* (2019) en ensilados de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* [L] Moench), y en forrajes solo o asociados de alfalfa (*Medicago sativa*), dactylis (*Dactylis glomerata*) y avena obtuvieron estabilización de la PC a partir de las 48 h de incubación, hecho que está en línea con el presente estudio.

La fracción soluble en el  $t_0$  de la FDN del ensilado libre de ST fue de 31.29%, valor que no está en consonancia con la fracción soluble de 15.99% observada para la avena por Contreras *et al.* (2019), hecho que probablemente pudiera atribuirse a la falta de

homogeneidad de las muestras incubadas. La desaparición de la FDN se comportó de forma cuadrática para los ensilados incluidos de los niveles de ST en estudio en función a los tiempos de incubación. Las estimaciones de las desapariciones óptimas de la FDN fueron de 61.67, 75.05, 84.89 y 87.59% en los tiempos de incubación ruminal de 76.1, 58.9, 51.3 y 52.8 h. Estos resultados demuestran, excepto para el ensilado libre de ST, que incubaciones entre 51 y 58 h son suficientes para alcanzar los valores máximos de la degradabilidad de la FDN de los ensilados de AFP con ST, es decir, la asíntota.

### Degradabilidad de la MS, PC y FDN

La fracción soluble (a), fracción insoluble potencialmente degradable (b), tasa de degradación (c) de la fracción (b) y la fracción indigestible (i) de los ensilados incluidos de los niveles de ST se encuentran en la Tabla 3.

Mediante la comparación entre las medias de los coeficientes (a), (b) y (c) se verifica el efecto significativo ( $p < 0.05$ ) de los niveles de ST sobre la MS. Hubo un aumento progresivo en la fracción (a) de la MS de los ensilados incluidos de 10 y 20% de ST, representando aumentos de 139.18 y 203.10% con relación al tratamiento libre de ST, respectivamente. Estos incrementos pueden ser atribuidos a la mayor solubilidad del ST. El tratamiento libre de ST presentó la fracción soluble ( $a = 11.28\%$ ) de la MS inferior a los valores de 24.58 y 24.77% para la avena, como cultivo de invierno, en estudios de degradabilidad en alpacas (Cordero *et al.*, 2018) y bovinos (Contreras *et al.*, 2019). En condiciones tropicales la adición de subproductos de la agricultura o agroindustrial a los forrajes en el momento del ensilaje mostraron el efecto benéfico en la solubilidad de la MS de los ensilados (Carvalho *et al.*, 2008; Coutinho *et al.*, 2010). En el presente estudio el análisis de variancia de la regresión modeló respuesta cuadrática, con el valor óptimo estimado de 35.02% de la fracción (a) de la MS con el nivel de 24.05% de ST.

Cuadro 3. Parámetros de degradabilidad ruminal de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) del ensilado de avena-follaje de papa con niveles de salvado de trigo

Parámetros de degradación	Niveles de salvado de trigo (%)				Ecuación de regresión Valor de Y	R <sup>2</sup>
	0	10	20	30		
Materia seca						
a (%)	11.28 <sup>c</sup>	26.98 <sup>b</sup>	34.19 <sup>a</sup>	33.39 <sup>a</sup>	11.307 + 1.972 <sup>***</sup> ST - 0.041 <sup>***</sup> ST <sup>2</sup>	0.9719
b (%)	59.27 <sup>a</sup>	40.44 <sup>b</sup>	34.59 <sup>c</sup>	36.20 <sup>c</sup>	58.997 - 2.283 <sup>***</sup> ST + 0.051 <sup>**</sup> ST <sup>2</sup>	0.8647
i (%)	29.45	32.58	31.22	30.41	ns	
c (%/h)	1.67 <sup>c</sup>	3.00 <sup>b</sup>	4.67 <sup>a</sup>	5.33 <sup>a</sup>	1.767 + 0.127 <sup>***</sup> ST	0.7367
Proteína cruda						
a (%)	31.35 <sup>c</sup>	42.55 <sup>b</sup>	47.82 <sup>a</sup>	47.07 <sup>a</sup>	31.349 + 1.421 <sup>***</sup> ST - 0.030 <sup>***</sup> ST <sup>2</sup>	0.9646
b (%)	36.68 <sup>a</sup>	32.14 <sup>b</sup>	30.59 <sup>b</sup>	31.71 <sup>b</sup>	36.664 - 0.589 <sup>***</sup> ST + 0.014 <sup>***</sup> ST <sup>2</sup>	0.3937
i (%)	31.97 <sup>a</sup>	25.31 <sup>b</sup>	21.60 <sup>c</sup>	21.22 <sup>c</sup>	31.996 - 0.824 <sup>***</sup> ST + 0.015 <sup>***</sup> ST <sup>2</sup>	0.7451
c (%/h)	3.00 <sup>b</sup>	3.67 <sup>ab</sup>	4.33 <sup>a</sup>	3.67 <sup>ab</sup>	2.933 + 0.127 <sup>***</sup> ST - 0.0033 <sup>**</sup> ST	0.2250
Fibra detergente neutro						
a (%)	30.90 <sup>c</sup>	48.29 <sup>b</sup>	56.97 <sup>a</sup>	58.21 <sup>a</sup>	30.961 + 2.118 <sup>***</sup> ST - 0.040 <sup>***</sup> ST <sup>2</sup>	0.9821
b (%)	36.89 <sup>a</sup>	26.70 <sup>b</sup>	4.95 <sup>b</sup>	26.15 <sup>b</sup>	33.767 - 0.340 <sup>*</sup> ST	0.3678
i (%)	32.21	25.01	18.08	15.64	31.234 - 0.566 <sup>***</sup> ST	0.7104
c (%/h)	3.00 <sup>c</sup>	5.33 <sup>b</sup>	9.00 <sup>a</sup>	10.00 <sup>a</sup>	3.133 + 0.2467 <sup>***</sup> ST	0.8477

<sup>a</sup> fracción soluble, <sup>b</sup> fracción insoluble potencialmente degradable, <sup>i</sup> fracción indigestible, <sup>c</sup> tasa fraccional de degradación

<sup>a</sup>, <sup>b</sup>, <sup>c</sup>, <sup>d</sup>: Diferentes superíndices dentro de filas para un mismo parámetro indican diferencia estadística (p<0.05)

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup> y <sup>\*\*\*</sup> Significativo a 5, 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"

<sup>ST</sup> Nivel de salvado de trigo en el ensilado de avena-follaje de papa

La fracción (b) de la MS de los ensilados de acuerdo con los niveles equidistantes de ST variaron entre 59.27% para el menor a 36.20% para el superior, representando una disminución del 31.80, 41.64 y 38.92% para los tratamientos con 10, 20 y 30% de ST con relación al tratamiento control, respectivamente. En este parámetro existió respuesta cuadrática por efecto de los niveles del coproducto (p<0.001), estimándose el valor mínimo de 33.45% de la fracción (b) de la MS con el nivel de 22.38% de ST, de acuerdo con la ecuación del Cuadro 3. Cordero *et al.* (2018, 2019) encontraron para la fracción

(b) de la MS de la avena 56.00 y 61.46%, respectivamente. Estas diferencias en la fracción (b) de la MS de los forrajes, que es potencialmente degradable por los microorganismos del rumen, puede estar relacionada por las concentraciones de FDN y FDA de la especie en estudio, que permiten la disminución de la degradabilidad del forraje (Razz *et al.*, 1999).

La fracción indigestible (i) de la MS de los ensilados no mostraron diferencias significativas (p>0.05), cuyos valores oscilaron entre 29.45 y 32.58% en los ensilados sin y con

10% de ST, respectivamente. El tratamiento control (0 ST) presentó 1.67%/h en la degradación (c) de la MS, y que a partir de ese nivel del coproducto utilizado hubo aumento en la tasa de degradación, observándose efecto lineal positivo ( $p < 0.001$ ) en la degradación de la MS, atribuyéndose un aumento de 0.13%/h en la tasa de degradación de la MS por cada unidad de ST incluida en el ensilado. En este ensilado la tasa de degradación  $c = 1.67\%/h$  es inferior ( $c = 2.28\%/h$ ) a lo referido por Contreras *et al.* (2019) en la avena. Así mismo, las demás tasas de degradación obtenidas en el presente estudio son inferiores a  $c = 8.51\%/h$  registradas por Cordero *et al.* (2018) en estudios de degradabilidad con alpacas. 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).

Sampaio (1988) considera que recursos vegetales con tasas de degradación entre 2 y 6%/h son clasificados como alimentos de buena calidad. La inclusión de niveles crecientes de ST permitió aumento en las tasas de degradación de la MS ( $c = 3.00, 4.67$  y  $5.33\%/h$ ). Por tanto, de acuerdo con este parámetro de degradabilidad, los ensilados incluidos de 10, 20 y 30% de ST serían considerados como alimentos de buena calidad.

La DE de los alimentos es el parámetro que muestra la disminución de la DP por influencia de las tasas de flujo. En el caso del ensilado de AFP libre de ST se presentó una disminución de la DPMS de 16.03% (36.76 – 20.73%) al considerar las tasas de pasaje (k) de 2 y 8%/h. En estas tasas de flujo los ensilados con 10, 20 y 30% de ST, las disminuciones de la DPMS fueron 12.73% (49.93 – 37.20), 11.43% (58.56 – 47.13) y 11.78% (59.38 – 47.60), respectivamente. Teniendo en cuenta la DPMS = 70.55% y el valor de 20.37% obtenido con  $k = 8\%/h$ , la disminución de la degradabilidad fue mayor (70.62%) en el ensilado sin ST; y considerando los parámetros  $b = 59.27\%$  y  $c = 3.00\%/h$ , este ensilado permaneció un mayor espacio de

tiempo en el rumen para la degradabilidad de la MS. En cambio, en los ensilados incluidos de 10, 20 y 30% de ST, el efecto depresor de la tasa de flujo (k) de 8%/h sobre la degradabilidad de la MS fueron de 44.82, 31.48 y 31.60%, respectivamente, lo que demuestra el efecto benéfico del ST en la degradabilidad de la MS de los ensilados en estudio.

El análisis de variancia de la regresión evidenció efecto cuadrático ( $p = 0.0001$ ) de los niveles de ST sobre la fracción soluble (a) de la PC del ensilado de AFP, que oscilaron entre 31.35 (0% de ST) y 47.07% (30% de ST), respectivamente (Cuadro 3). Se observa el óptimo estimado de 48.18% de la solubilidad de PC de los ensilados con la adición de 23.68% de ST. Contreras *et al.* (2019) refieren el valor elevado (48.88%) de la fracción (a) de la avena. Por otro lado, según Villela *et al.* (1999), los valores elevados del coeficiente (a) están relacionados al tamaño de las partículas 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 nitrógeno amoniacal (Guerrero *et al.*, 2010). Klopfenstein *et al.* (2001) refieren que la contribución de este N a la producción de proteína microbiana es muy importante; sin embargo, existe un límite por encima del cual la fracción (a) no es fisiológicamente aceptable, pues no debe superar el 40% de la DEPC (AFRC, 1993).

En este sentido, considerando la DEPC (Cuadro 4) a la tasa de pasaje de partículas de 5%/h, los ensilados de AFP conteniendo 10, 20 y 30% de ST presentaron similares y las mayores relaciones de la fracción soluble (a) de la PC con DEPC;  $(a)/DEPC = 75.44, 76.96$  y  $77.47\%$  en comparación al ensilado libre de ST que evidenció la menor relación  $(a)/DEPC = 69.85\%$  ( $31.35 \cdot 100/44.88$ ). Por tanto, los ensilados de AFP sin o con ST superaron el nivel de  $< 40\%$  de la DEPC, dando lugar a la pérdida de N por los rumiantes. Así mismo, se observaron elevadas relaciones de

(a)/DEPC (76.02, 80.42, 81.48 y 82.13% para 0, 10, 20, 30% de ST, respectivamente) al considerar la tasa de pasaje de 8%/h. Contreras *et al.* (2019) observaron mayores pérdidas de N en la alfalfa, alfalfa-trébol rojo y avena (60.52, 64.52 y 62.00%, respectivamente) en comparación a la alfalfa-dactylis (24.18%) al relacionar (a)/DEPC, a la tasa de pasaje de 2%/h.

La fracción potencialmente degradable (b) de la PC de los ensilados fue influenciada ( $p=0.0001$ ) por los niveles de ST, que variaron de 36.68% (0% ST) a 31.71% (30% ST), cuya respuesta fue de naturaleza cuadrática ( $p=0.0001$ ), evidenciando la estimación mínima de 30.47% de la fracción (b) al adicionar 21.04% de ST (Cuadro 3). A excepción de la fracción  $b = 36.68\%$  obtenida para el ensilado libre de ST, el valor de 31.32% de (b) de la avena referido por Contreras *et al.* (2019) se compara favorablemente con los valores de 32.14, 30.59 y 31.71% observados en los ensilados con 10, 20 y 30% de ST. Valores de 39.92, 25.73 y 22.61% de la fracción (b) de la PC de la cebada a los 130, 150 y 170 días de crecimiento fueron encontradas por Contreras *et al.* (2018). Según NRC (2007) la cantidad de la fracción de la proteína potencialmente degradable (b) es función del tiempo que el alimento permanece sometido a la actividad enzimática de los microorganismos del rumen.

La fracción indigestible (i) de la PC de los ensilados fue influenciada ( $p=0.0001$ ) por los niveles de ST, que osciló de 31.97% para el ensilado libre de ST a 21.22% para la mayor concentración de ST. El análisis de variancia de la regresión evidenció el modelo cuadrático  $Y = 31.996 - 0.824^{***} ST + 0.015^{***} ST^2$ , y que la inclusión de 27.47% de ST corresponde a la mínima indigestibilidad (20.68%). Comportamiento opuesto fue observado para la tasa de degradación (c) de la PC, que aumentó a medida que se incrementó la inclusión de ST. El mayor valor (4.33%/h) fue observado en el nivel de inclusión de 20% de ST. El análisis de variancia de la regresión dio lugar a la esti-

mación del óptimo de (c) de la PC en 4.15%/h con inclusión de 19.24% de ST.

Los parámetros de la degradabilidad ruminal de la FDN (a), (b) y (c), a excepción de la indegradabilidad (i) fueron influenciados ( $p<0.05$ ) por las variaciones de los niveles de ST. En función a los niveles de ST la fracción soluble de la FDN (a) varió entre 30.90% para la menor a 58.21% para la mayor concentración de ST (Cuadro 3). Los datos expresaron el modelo cuadrático  $Y = 30.961 + 2.118^{***} ST - 0.040^{***} ST^2$ , y que el valor de 26.47% de ST permitió obtener el 60.10%, como el óptimo de la solubilidad de la FDN. Contreras *et al.* (2019), evaluando la degradabilidad ruminal verificaron 17.48 y 15.50% de la fracción soluble de la avena y alfalfa, respectivamente. Estos valores en comparación con lo obtenido en el presente estudio son muy inferiores, hecho que pudiera atribuirse a la contribución del ST en la fracción soluble de la FDN de los ensilados en estudio, pues este coproducto, además de la fracción  $a = 55.8\%$  en la MS, presenta para la fracción  $b = 41.9$  y la tasa de degradación de 15.5%/h (Martins *et al.* (1999).

Considerando que los carbohidratos fibrosos (CF=FDN) constituyen los principales componentes de los forrajes, en el presente trabajo se presentaron tasas de degradaciones (c) bajas (lentas), que variaron entre 3.00 y 5.33%/h, con digestiones incompletas (i) de 32.21 y 25.01% para los ensilados sin y con 10% de ST, respectivamente. Los ensilados con 20 y 30% de ST presentaron las mayores tasas de degradación (9.00 vs 10.00%/h) y las menores indegradabilidades (18.08 vs 15.64%). Por el parámetro (c), estos ensilados se caracterizan como de rápida degradación. Según Chesson *et al.* (1985), la variación en el parámetro (c) se debe a la preferencia de las bacterias ruminales por los diferentes tipos de tejidos vegetales. Esta observación es coherente con el hecho que mayores niveles de aditivos pueden favorecer o no a los microorganismos del rumen responsables por la degradación de carbohidratos no estructurales predominan-

tes en los ensilados. En el Cuadro 3 también se puede observar la regresión lineal positiva, con 0.25%/h de aumento en la tasa de degradación de los ensilados por cada 1% de la inclusión de ST. En forma inversa ocurrió en la fracción indigestible (i) con la disminución de 0.57% de la FDN por cada unidad de inclusión de ST.

En la fracción insoluble potencialmente degradable (b) no se observaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las concentraciones de 10, 20 y 30% de ST en comparación al tratamiento control (0 ST). Sin embargo, el análisis de variancia de la regresión constató una disminución de 0.34% en la fracción (b) por cada unidad de inclusión de ST a los ensilados en estudio. Comportamiento opuesto fue con la fracción soluble de la FDN (a), donde hubo el aumento de 2.12% por cada 1% de inclusión de ST.

Los valores de la degradabilidad potencial (DP) y degradabilidad efectiva o real (DE) de la MS, PC y FDN para las tasas de flujo de 2, 5 y 8%/h del ensilado de AFP incluido de niveles de ST pueden ser observadas en el Cuadro 4. Entre los tratamientos experimentales no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ) para la DPMS. Este parámetro de 70.55% obtenida en los ensilados libre de ST no coincide favorablemente con las DPMS (80.58 y 86.23%) en la avena observadas por Cordero *et al.* (2018) y Contreras *et al.* (2019) en estudios de degradabilidad de forrajes en alpacas y bovinos, respectivamente.

El análisis de variancia mostró efectos significativos ( $p < 0.05$ ) de los niveles de ST sobre las DEMS para las tasas de flujos de 2, 5 y 8%/h (Cuadro 4). La DEMS para las tres tasas de flujo observada en los niveles de 20 y 30% de inclusión de ST, que no difieren entre sí, fueron significativamente ( $p < 0.05$ ) de mayor magnitud y diferentes con relación a los tratamientos control y con 10% de inclusión de ST. Las tasas de degradación (c) de la MS (4.67 y 5.33%/h) no difirieron entre los ensilados con la inclusión de 20 y 30% de

ST, indicando que este coproducto no interfirió en la velocidad de degradación de estos ensilados.

Los tratamientos en estudio en la tasa de pasaje de 8% presentaron DEMS debajo de 50%. Valores inferiores a lo referido también se observan en los ensilados sin y con 10% de ST en las tasas de pasaje de 2 y 5%/h. Además, en el presente trabajo, las DEMS disminuyeron a medida que aumentó las tasas de pasaje. Comparando los niveles de 20 y 30% de ST a las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h las DEMS de estos tratamientos fueron superiores a lo relatado por Contreras *et al.* (2019) en la avena, que registraron valores de 56.43, 43.39 y 38.00%, respectivamente. Las DEMS para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h de los tratamientos en estudio fueron inferiores para la avena, como cultivo de invierno, observadas por Cordero *et al.* (2018), que reportaron 70.48, 60.64 y 54.23%, respectivamente. Diferencias que podrían ser atribuidas a las variedades, estado de maduración, fertilización y época de utilización de las especies forrajeras.

La DPPC aumentó con los niveles de ST, alcanzando 78.78% en el nivel de 30% de ST, y la estimación máxima fue de 79.32% con la inclusión de 27.47% de ST. Según Ku Vera *et al.* (1999), 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 puede dar lugar a un incremento en el aporte de N microbiano al intestino delgado y maximizar el consumo de dietas altas en fibra.

Klopfenstein *et al.* (2001) refieren que la PC de los forrajes es susceptible a la rápida degradación en el rumen, preferentemente los forrajes tiernos, degradándose hasta 73%. Los ensilados adicionados de ST presentaron valores altos de la DEPC en la tasa de pasaje de 2%/h. Hecho similar sucedió en las tasas de 5%/h y 8%/h (Cuadro 4). El análisis de variancia de la regresión comprobó efecto cuadrático de los niveles de ST sobre

Cuadro 4. Degradabilidad potencial (DP) y efectiva o real (DE) de la materia seca (MS), proteína cruda (PC) y fibra detergente neutro (FDN) del ensilado de avena- follaje de papa con niveles de salvado de trigo, estimada para las tasas de pasaje de 0.02, 0.05 y 0.08 h<sup>-1</sup>

Niveles de salvado de trigo (%)	Degradabilidad potencial (DP) <sup>1</sup>	Degradabilidad efectiva (DE) <sup>2</sup>		
		Tasa de pasaje (%/hora)		
		2	5	8
Materia seca				
0	70.55 <sup>a</sup>	36.76 <sup>c</sup>	24.94 <sup>c</sup>	20.73 <sup>c</sup>
10	67.42 <sup>a</sup>	49.93 <sup>b</sup>	41.13 <sup>b</sup>	37.20 <sup>b</sup>
20	68.78 <sup>a</sup>	58.56 <sup>a</sup>	51.09 <sup>a</sup>	47.13 <sup>a</sup>
30	69.59 <sup>a</sup>	59.38 <sup>a</sup>	51.74 <sup>a</sup>	47.60 <sup>a</sup>
Proteína cruda				
0	68.04 <sup>c,3</sup>	52.97 <sup>d 4</sup>	44.88 <sup>d 5</sup>	41.24 <sup>d 6</sup>
10	74.60 <sup>b</sup>	63.49 <sup>c</sup>	56.40 <sup>c</sup>	52.91 <sup>c</sup>
20	78.40 <sup>a</sup>	68.81 <sup>a</sup>	62.14 <sup>a</sup>	58.69 <sup>a</sup>
30	78.78 <sup>a</sup>	67.78 <sup>b</sup>	60.76 <sup>b</sup>	57.31 <sup>b</sup>
Fibra detergente neutro				
0	67.79 <sup>c</sup>	51.59 <sup>d</sup>	43.17 <sup>d</sup>	39.98 <sup>d</sup>
10	74.99 <sup>b</sup>	67.39 <sup>c</sup>	61.70 <sup>c</sup>	58.63 <sup>c</sup>
20	81.92 <sup>a</sup>	77.40 <sup>b</sup>	73.07 <sup>b</sup>	70.26 <sup>b</sup>
30	84.36 <sup>a</sup>	79.94 <sup>a</sup>	75.55 <sup>a</sup>	72.65 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Obtenido por el modelo  $DP = a + b*(1-e^{-c*t})$ , <sup>2</sup>Obtenido por el modelo  $DE = a + [(b * c)/(c + k)]$

<sup>a, b, c</sup>Diferentes superíndices dentro de columnas indican diferencia estadística (p<0.05)

<sup>3</sup>DP = 68.004 + 0.824\*\*\*ST - 0.015\*\*\*ST<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.7451; <sup>4</sup>DE 2% = 52.910 + 1.364\*\*\*ST - 0.029\*\*\*ST<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.9793; <sup>5</sup>DE 5% = 44.817 + 1.501\*\*\*ST - 0.0322\*\*\*ST<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.9701; <sup>6</sup>DE 8% = 41.173 + 1.519\*\*\*ST - 0.0326\*\*\*ST<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> = 0.9683

la DEPC, registrándose valores óptimos estimados de 68.95, 62.31 y 58.87% de DEPC, con la adición de 23.52, 23.31 y 23.30% de ST, respectivamente. Analizando los valores de la DEPC, se puede concluir que el ensilado libre de ST fue afectada en mayor grado por las tasas de pasajes, pues, presentó la fracción (a) baja (31.35%) y la fracción (b) alta (36.68%) con relación a los otros ensilados que mostraron valores altos de la fracción (a) y valores bajos de la fracción (b). Por tanto, a partir de las DEPC de los ensilados se puede afirmar que no toda la proteína disponible fue degradada en el rumen de los animales.

Para las DP y DEFNDN en las diferentes tasas de pasaje se registraron diferencias significativas (p<0.05). Al igual que los parámetros (a) y (c), la inclusión del ST en los ensilados incrementaron las DP de la MS. Los ensilados de AFP incluidos de 20 y 30% de ST, que no difieren entre sí, presentaron las mayores DPFNDN, y consecuentemente fueron los ensilados menos fibrosos: 100 - 81.92 = 18.08 y 100 - 84.36 = 15.64% de indegradabilidad (i), respectivamente. Hecho que favoreció las mejores condiciones en el ambiente ruminal para el ataque microbiano, aumentando así la DP FDN. El ensilado libre

de ST fue la más fibrosa (32.21% de i), seguido por el ensilado con 10% de ST (25.01% de i). La DPFND verificada para los ensilados incluidos de 10, 20 y 30% de ST, que variaron entre 74.99 y 84.36%, está en concordancia con la DPFND de 82.57% observadas por Contreras *et al.* (2019) en la avena, y con los valores de 85.21 y 81.18% de la cebada de 130 y 170 días de crecimiento (Contreras *et al.*, 2018), respectivamente.

Considerando que el grado de digestión de la FDN depende del tiempo de permanencia del alimento en el ambiente ruminal o de su velocidad de flujo de las partículas (k) (DE), los ensilados con 10, 20 y 30% de ST presentaron reducciones mínimas en la DEFND (67.39 a 58.63, 77.40 a 70.26, 79.94 a 72.62%, respectivamente), cuando las tasas de flujo pasan de 2 a 8%/h. Estos datos indican que la degradabilidad y el valor energético de la fibra se redujeron en 8.76, 7.14 y 7.29%, respectivamente, para animales de alto nivel de producción y consumo (vacas lecheras en lactancia temprana, terneros de engorde intensivo), donde el tránsito digestivo es rápido (Salado *et al.*, 2005). Resultado que no ha ocurrido con el ensilado sin aditivo (0 ST), pues teniendo en cuenta la DPFND [(a) + (b)] = 67.79% y K = 8%/h, la disminución en la degradabilidad fue de 41.02%, y que asociado a la fracción insoluble potencialmente degradable (b = 36.89%) y tasa de degradación (c = 3.00%/h), era necesario un mayor tiempo para degradar la pared celular (lenta degradabilidad). En cambio el efecto depresor de la tasa de flujo de 8%/h sobre la degradabilidad de la FDN para los ensilados incluidos de 10, 20 y 30% de ST fueron de 21.82, 14.23 y 13.88%, respectivamente. Estos ensilados presentaron menores proporciones de la fracción (b) (26.70, 24.95 y 26.15, respectivamente) y mayores tasas de degradación (c) de 5.33, 9.00 y 10.00%/h, respectivamente. Esto indica que estos forrajes desaparecieron del rumen en un menor tiempo en comparación al ensilado libre de ST.

## CONCLUSIONES

- En las condiciones del desarrollo del presente trabajo, se verifica que incubaciones ruminales de muestras de ensilados de avena – follaje de papa (70:30%) con inclusión de niveles de salvado de trigo, por el espacio de 72 horas son apropiados para lograr los valores óptimos de la degradabilidad de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro.
- La tasa de flujo de 8%/hora de la degradabilidad efectiva proporcionó los mayores efectos depresores (disminuciones) en la degradabilidad de la materia seca, proteína cruda y fibra detergente neutro del ensilado libre de salvado de trigo, presentando las mayores fracciones potencialmente degradable (b) y menores tasas de degradación (c).
- La asociación de avena – follaje de papa incluidos de 10, 20 o 30% de salvado de trigo permite contar con ensilados de mayor degradabilidad potencial, efectiva y tasas de degradación ruminal, constituyendo una alternativa para la alimentación de los rumiantes, y considerando el aspecto económico, puede ser adoptada por cualquiera de los niveles de salvado de trigo.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de desarrollo socioeconómico de Camisea (FOCAM- Estudiantes de posgrado) del trabajo de investigación «Valor nutritivo, degradabilidad y del consumo por bovinos del ensilado de avena (*Avena sativa* L) asociado al follaje de papa (*Solanum tuberosum*), con diferentes niveles de salvado de trigo (*Triticum aestivum* L)» por el apoyo económico para la realización del estudio.

## LITERATURA CITADA

1. [AFRC] *Agricultural and Food Research Council*. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford, UK: CAB International. 176 p.
2. *Akin DE*. 1979. Microscopic evaluation of forage by rumen microorganisms. A review. *J Anim Sci* 48: 701-722. doi: 10.2527/jas1979.483701x
3. *Andrade IV, Pires AJ, Pinto de Carvalho GG, Veloso C, Bonomo P*. 2010. Perdas, características fermentativas e valor nutritivo da silagem de capim elefante contendo subprodutos agrícolas. *Rev Bras Zootecn* 39: 2578-2588. doi: 10.1590/S1516-35982010001200004
4. *Bonfá C, Villela S, Castro G, Dos Santos RA, Ricardo E, Neto OS*. 2017. Silagem de capim-elefante adicionada de casca de abacaxi. *Rev Ceres* 64: 176-182. doi: 10.1590/0034-737X201764-020010
5. *Cândido MJ, Neiva JN, Rodríguez NM, Ferreira AC*. 2007. Características fermentativas e composição química de silagens de capimelefante contendo subproduto desidratado do maracujá. *Rev Bras Zootecn* 36: 1489-1494. doi: 10.1590/S1516-35982007000700005
6. *Carvalho GG, Garcia R, Pires AJ, Detmann E, Pereira O, Fernandes FE*. 2008. Degradação ruminal de silagem de capim-elefante emurcheado ou com diferentes níveis de farelo de cacau. *Rev Bras Zootecn* 37: 1347-1354. doi: 10.1590/S1516-35982008000800003
7. *Chesson A, Gordon AH, Lomax JA*. 1985. Methylation analysis of mesophyll, epidermis and cell – walls isolated from the leaves of perennial and Italian ryegrass. *Carbohyd Res* 141: 137-147. doi: 10.1016/S0008-6215(00)90762-6
8. *Contreras JL, Ochoa J, Huamán R, Cordero AG, Curasma J, Ramos YV, Gutiérrez R*. 2018. Kinetics of *in situ* degradation of barley (*Hordeum vulgare* L) at different cut ages. *Dairy Vet Anim Res* 7: 279-285. doi: 10.15406/jdvar-2018.07.00227
9. *Contreras JL, Pariona J, Cordero A, Jurado M, Huamán R*. 2019. Degradabilidad ruminal de forrajes y alimentos concentrados y estimación del consumo. *Rev Inv Vet Perú* 30: 1481-1493. doi: 10.15381/rivep.v30i4.17189
10. *Cordero A, Contreras JL, Curasma J, Tunque M, Enríquez D*. 2018. Degradabilidad y estimación del consumo de forrajes y concentrados en alpacas (*Vicugna pacos*). *Rev Inv Vet Perú* 29: 429-437. doi: 10.15381/rivep.v29i-2.14484
11. *Coutinho A, Candio MJ, Pereira E, Feitosa J, Rego MM*. 2010. Degradação de silagens de capim-elefante contendo subproduto do urucum. *Rev Cienc Agron* 41: 482-489.
12. *Flores A*. 1993. Producción y utilización de los pastizales altoandinos del Perú. Perú: Red Pastizales Andinos REPAAN. 202 p.
13. *Guerrero M, Juárez AS, Ramírez RG, Montoya R, Murillo M, La OO, Cerrillo 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.
14. *Júnior EF, Lavezzo W*. 2001. Qualidade da silagem de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) emurcheado ou acrescido de farelo de mandioca. *Rev Bras Zootecn* 30: 1424-1431. doi: 10.1590/S1516-35982001000600006
15. *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
16. *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: Agroforestería para la producción animal en América Latina. Roma, Italia: FAO. p 231-250.

17. **Lana R de P. 2005.** Nutrição e alimentação animal: mitos e realidades. UFV. 344 p.
18. **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
19. **Maza L, Vergara O, Paternina E. 2011.** Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa (*Pennisetum* sp) más yuca fresca (*Manihot esculenta*). Rev MVZ Córdoba 16: 2528-253. doi: 10.21897/rmvz.1017
20. **McDonald P, Henderson AR, Heron SJE. 1991.** The biochemistry of silage. 2<sup>nd</sup> ed. Marlow: Chalcombe. 340 p.
21. **Michalet-Doreau B, Ould-Bah MY. 1992.** *In vitro* and *in sacco* methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. Anim Feed Sci Tech 40: 57-86. doi: 10.1016/0377-8401(92)90112-J
22. **Molina LR, Rodriguez NM, de Sousa B, Goncalves L, Borges I. 2003.** Parâmetros de degradabilidade potencial da materia seca e da proteína bruta das silagens de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L) Moench), com e sem tanino no grão, avaliados pela técnica *in situ*. Rev Bras Zootecn 32: 222-228. doi: 10.1590/S1516-35982003000-100028
23. **[NRC] National Research Council. 2007.** Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids and new world camelids. Washington DC: NRC. 381 p.
24. **Rosero R, Posada SL. 2007.** Modelación de la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. Rev Colomb Cienc Pec 20: 174-182.
25. **Oliveira A, Garcia R, Pires AJ, Oliveira H, Almeida VV, Oliveira UL, Lima Júnior D. 2017.** Elephant grass silages with or without wilting, with cassava meal in silage production. Rev Bras Saúde Prod Anim 18: 417-429. doi: 10.1590/S1519-99402017000300002
26. **Oliveira A, Garcia R, Pires AJ, Oliveira H, Almeida VV, Veloso CM, Rocha AL, et al. 2012.** Farelo de mandioca na ensilagem de capim-elefante: fracionamento de carboidratos e proteínas e características fermentativas. Rev Bras Saúde Prod Anim 13: 1020-1031.
27. **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.
28. **Razz R, Clavero T, Urdaneta J. 1999.** Fracciones nitrogenadas de dos ecotipos de *Leucaena leucocephala* bajo diferentes niveles de fertilización. Pastos y Forrajes 22: 65-70.
29. **Rêgo A, Cndido MJ, Pereira E, Feitosa J, Rêgo MM. 2010.** Degradação de silagens de capim-elefante contendo subproduto do urucum. Rev Cienc Agron 41: 482-489.
30. **Salado EE, Comeron EA, Silva C, Gaggiotti MC, Alesso A, Pardo J. 2005.** Cascarilla de soja y afrechillo de trigo: cinética de la degradabilidad ruminal de la fibra. En: XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal. Tampico, México.
31. **Sampaio IBM. 1988.** Experimental designs and modeling techniques in the study of roughage degradation in rumen and growth of ruminants. PhD Thesis. UK: University of Reading. 214 p.
32. **SAS. 2009.** SAS/STAT: User's guide: statistics. Release 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC.
33. **Silva DJ, Queiroz AC. 2002.** Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3<sup>o</sup> ed. Viçosa, Brasil: Editora UFV. 235 p.
34. **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