

Tiempos de cosecha sobre el valor nutritivo del forraje verde hidropónico de cebada

Harvest times on the nutritional value of hydroponic green barley forage

Yovana Aroni Quintanilla¹, Maritza Arias Quispe¹, Jose Luis Contreras Paco^{1*}, Alfonso Cordero Fernandez², James Curasma Ccente¹, Paul Mayhua Mendoza³, Luz Marina Vilcapaza Quispe³

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de los días de cosecha (16, 18, 20 y 22 después de la germinación) sobre el valor nutritivo del forraje verde hidropónico (FVH) de cebada en términos de la composición química: materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), materia mineral (MM) y fibra detergente neutro (FDN), y la determinación de los parámetros cinéticos de la degradación *in situ* de la MS y PC, utilizando tres bovinos con fistula ruminal. Los tiempos de incubación fueron: 0, 6, 12, 24, 48 y 72 horas. La MS y la MM fueron similares ($p>0.05$) en los cultivos, mientras que la mayor concentración de la PC se observó el día 16 y 18 (15.07 y 14.66%, respectivamente). La FDN disminuyó linealmente por efecto de los días de cosecha. El factor día influyó de forma cuadrática sobre la degradación de la fracción soluble (FS) de la MS y PC, estimándose 60 y 62.53% como máximas degradaciones de FS a los 17 y 15 días de cosecha, respectivamente. Contrariamente la fracción potencialmente degradable (FPD) de la MS

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

² Escuela de Posgrado de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

³ Departamento Académico de Zootecnia, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

* Autor de correspondencia: José Luis Contreras Paco; jose.contreras@unh.edu.pe

Recibido: 22 de marzo de 2022

Aceptado para publicación: 5 de agosto de 2024

Publicado: 31 de octubre de 2024

©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

y PC disminuyó en 15.91 y 12.88% a los 19 y 13 días de germinación, respectivamente. La degradabilidad potencial de la MS fue alta y diferente en los días 16 y 18, y con valores mayores y similares en la degradabilidad efectiva para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/hora con relación a los otros días. Igual comportamiento se registró en las tasas de pasaje de la PC. El FVH de cebada a los 16 y 18 días después de germinado presenta mayor contenido de PC, menores fracciones indigestibles de MS y PC y altas degradabilidades efectivas, lo que permite clasificar a estos cultivos como alimentos de alta calidad nutricional que favorecen su utilización como suplemento de los rumiantes.

Palabras clave: forraje verde hidropónico, días de cosecha, degradabilidad *in situ*, parámetros cinéticos

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of harvest days (16, 18, 20 and 22 after germination) on the nutritional value of hydroponic green forage (HGF) of barley in terms of chemical composition: dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), mineral matter (MM) and neutral detergent fibre (NDF), and the determination of the kinetic parameters of the *in situ* degradation of DM and CP, using three cattle with fistula rumen. The incubation times were: 0, 6, 12, 24, 48 and 72 hours. The DM and MM were similar ($p>0.05$) in the cultures, while the highest CP concentration was observed on day 16 and 18 (15.07 and 14.66%, respectively). NDF decreased linearly due to the effect of harvest days. The day factor quadratically influenced the degradation of the soluble fraction (SF) of the DM and PC, estimating 60 and 62.53% as maximum degradation of SF at 17 and 15 days of harvest, respectively. On the contrary, the potentially degradable fraction (PFD) of DM and CP decreased by 15.91 and 12.88% at 19 and 13 days of germination, respectively. The potential degradability of the DM was high and different on days 16 and 18, and with higher and similar values in the effective degradability for the passage rates of 2, 5 and 8%/hour in relation to the other days. The same behaviour was recorded in the CP passage rates. The FVH of barley at 16 and 18 days after germination has a higher CP content, lower indigestible fractions of DM and CP and high effective degradability, which allows these crops to be classified as feeds of high nutritional quality that favour their use as a supplement for ruminants.

Key words: hydroponic green fodder, days to harvest, *in-situ* degradability, kinetic parameters

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera en la región de Huancavelica, Perú, depende en gran medida de los pastizales y las pasturas. Al final de la primavera y el verano (época de lluvias) el crecimiento de las plantas se ve favorecido por las condiciones climáticas, consecuentemente

existen condiciones favorables para el desempeño de los animales; sin embargo, la falta de lluvias durante el otoño, invierno y principios de la primavera (época seca), afecta el crecimiento de las plantas, tanto en cantidad como en valor nutricional (Carvalho, 2006). Cortiana *et al.* (2021) reportaron forrajes en época seca y época de lluvias con valores de materia seca (MS, 40.5 vs 29.1%),

materia orgánica (MO, 90.9 vs 91.3%), proteína cruda (PC, 8.62 vs 10.1%), fibra detergente neutra (FDN, 70.7 vs 68.9%), fibra detergente ácida (FDA, 39.7 vs 37.2%) y nutrientes digestibles totales (NDT, 51.2 vs 59.7%). Ante este escenario se han recurrido a estrategias alimenticias, como la utilización de la suplementación proteica y/o energética, a fin de reducir el efecto negativo de la época seca (Barbero *et al.*, 2017).

El forraje verde hidropónico (FVH) solo o como alimento suplementario constituye un gran avance tecnológico en la alimentación animal, pues puede ser producido durante todo el año y ofertada a los animales en cualquier fase de su fase productiva, sea gestación, lactación, destete o acabado (Carballido, 2007). Este recurso forrajero es el resultado de la germinación de semillas, principalmente de gramíneas, para producir biomasa vegetal, caracterizándose por su alto contenido de proteína cruda, vitaminas y minerales (Flores *et al.*, 2004). Sin embargo, además del tipo de semilla utilizada, factores como la densidad de siembra, tiempos de cosecha y asociaciones de cereales y leguminosas influyen en la composición química del forraje (Müller *et al.*, 2006; Ramos *et al.*, 2021).

La formulación de dietas requiere del conocimiento de las exigencias nutricionales, cantidad de nutrientes ingeridos y de la composición química y degradabilidad y/o digestibilidad de la materia seca y de los nutrientes (Garcez *et al.*, 2016). En el método de degradabilidad *in situ* las muestras se someten al ambiente ruminal, proceso semejante al que sucede en el tracto digestivo de los rumiantes (Ayala *et al.*, 2003). Este método permite obtener informaciones sobre las fracciones solubles (a) y lentamente degradables (b), la tasa de degradación de la fracción b (c), la degradación potencial (DP) y la degradación efectiva (DE) para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h. Esta información permite la confección de tablas de composición de alimentos y, consecuentemente, de gran valor para la formulación de dietas para los animales. Sin embargo, bajo las con-

diciones medioambientales de la región de Huancavelica, los estudios orientados a caracterizar la degradación *in situ* de los nutrientes de los forrajes hidropónicos son escasos. Ante esto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto del día de cosecha sobre la composición química en términos de MS, MO, PC, MM y FDN, y la degradación ruminal *in situ* de la MS y PC del forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Estudio

El estudio fue conducido en las instalaciones de la Escuela Académica Profesional de Zootecnia y en el Laboratorio de Nutrición Animal y Análisis de Alimentos (LUNEA) de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, perteneciente a la Universidad Nacional de Huancavelica. La institución se encuentra en el distrito, provincia y región de Huancavelica, a 3704 msnm, con temperaturas promedio anual de 6 a 14 °C (Flores, 1993).

El FVH de cebada se cultivó en un invernadero tipo capilla con un área de 8×4 m (64 m²) cubierto con plástico doble. La temperatura interna del invernadero fue de 22 y 12 °C en el día y en la noche, respectivamente.

Producción de FVH y Muestreo

Se utilizaron 16 kg de semillas de cebada (*Hordeum vulgare*) de la variedad INIA 411 San Cristóbal, distribuidas en 32 bandejas, siguiendo el proceso de producción del cultivo hidropónico de cebada: Primero, selección y pesado de la semilla; Segundo, lavado y la desinfección de la semilla con hipoclorito de sodio al 1% (10 ml de lejía diluido en 1 L de agua); Tercero, remojo de las semillas sumergidas en agua por un tiempo máximo de 24 h y la germinación de la cebada; Cuarto, siembra de semillas en las bandejas de 640.5 cm² (30.5 ancho x 21 largo x 2 cm altura de bandeja) y al brote de las pri-

meras hojas se continua con riego tres veces al día con un pulverizador manual con solución nutritiva (solución hidropónica La Molina A y B) (Valdivia, 1997). La cosecha y pesaje se realizó los días 16, 18, 20 y 22.

Animales y Tratamientos

Se utilizaron tres toros Brown Swiss, con canaula ruminal permanente, con edades de 5 años y peso medio de 450 kg. Se tuvo un periodo de adaptación de 12 días, donde los animales fueron alimentados con una dieta de partes iguales del cultivo hidropónico de cebada y heno de avena (*Avena sativa* L), suministrados a las 09.00 y 17.00 h, disponiendo de agua y sal mineral a voluntad. Los animales durante la fase experimental fueron alimentados de manera similar al periodo de adaptación.

Se trabajaron cuatro tratamientos de FVH de cebada producidos a los 16, 18, 20 y 22 días después de la germinación, con 8 y 3 repeticiones para la composición química y degradabilidad, respectivamente. El forraje fue cortado a una altura media de 1 cm.

Degradabilidad *in situ* de la MS y PC

Se pesaron 6 g (base MS) de muestra y se colocaron en bolsas de nylon (Ankom) de 10 x 5 cm y con poros de abertura de aproximadamente $50 \pm 10 \mu\text{m}$. Las bolsas se depositaron en la región ventral del rumen de los tres toros (Ørskov y McDonald, 1979). Las bolsas correspondientes al tiempo cero (t_0) no fueron incubadas, pero fueron inmersas en agua a 39 °C por 15 min y secadas en estufa a 60 °C por 24 h. Las bolsas que fueron incubadas en duplicado se retiraron a los tiempos de 6, 12, 24, 48 y 72 h, e inmediatamente colocadas en un balde con agua fría durante 5 min para interrumpir la actividad microbiana. Luego se lavaron en agua corriente para remover las partículas adheridas a la superficie externa hasta que el agua fuera clara. Posteriormente, las bolsas fueron secadas en estufa de ventilación forzada a 60 °C por 24 h. A partir de los residuos de las

bolsas se determinó la degradabilidad de la MS y de la PC con la fórmula: $([\text{Muestra incubada, g} - \text{Residuo, g}] / \text{Muestra incubada, g}) * 100$. La proteína cruda (PC: Kjeldahl) (Silva y Queiroz, 2002) se determinó usando el analizador de fibra Ankom 200 (Ankom Technology Corp., NY, USA).

Los parámetros de cinética de degradación ruminal de la MS y PC fueron estimados por la ecuación descrita por Ørskov y McDonald (1979), $DP = a + b(1 - e^{-CT})$, donde DP = degradabilidad potencial de la MS y PC, calculada por la suma de $a + b$; a = fracción soluble de los nutrientes (FS); b = fracción potencialmente degradable de los nutrientes (FPD) ha determinada tasa de degradación; C = tasa de degradación (TD) de la FPD; T = tiempo de incubación (horas). La fracción no degradada de los nutrientes fue calculada como: $100 - (FS + FPD)$.

La degradabilidad efectiva (DE) de la MS y PC en el rumen fue calculada con base a las constantes a , b y c a partir de la fórmula propuesta por Ørskov y McDonald (1979): $DE = a + [(b \times c) / (c + k)]$, donde k (%/h) = es la tasa estimada de pasaje de las partículas en el rumen (los demás parámetros fueron descritos en la ecuación anterior). Los parámetros a , b y c fueron estimados con el aplicativo *Solver* de Microsoft Excel (Fernández, 2002).

La DE de la MS y PC fueron estimados para cada tiempo de cosecha, considerando la tasa de pasaje de las partículas por el rumen de 2, 5 y 8%/h, que puede ser atribuida a un nivel de consumo alimenticio bajo, medio y alto, según AFRC (1995).

Análisis Químico

Se determinó materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína cruda (PC) usando el equipo (Leco/FP-528), materia mineral (MM) y fibra detergente neutro (FDN) usando el equipo (ANKOM/A200) siguiendo los procedimientos de Silva y Queiroz (2002).

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Se colectaron ocho (8) muestras por tratamiento, las cuales estuvieron distribuidos bajo un diseño completamente al azar: $Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij}$, donde Y_{ij} = (variables de la composición química), μ = media general de las observaciones, t_i = efecto de días de cosecha (1, 2, 3, 4) y e_{ij} = error experimental (muestra/ tiempo de cosecha).

En el estudio de la degradabilidad *in situ* se adoptó el diseño de bloques completamente al azar (3 animales) con arreglo factorial de 4 x 6 (tiempos de cosecha, tiempos de incubación), con el modelo lineal: $Y_{ijk} = \mu + tc_i + t_j + (tc * ti)_{ij} + b_k + e_{ijk}$, donde Y_{ijk} = variable respuesta (parámetros de la degradación *in situ*), μ = media general, tc_i = efecto de los tiempos de cosecha ($i=1, 2, 3, 4$), t_j = efecto de los tiempos de incubación ruminal ($j=1, 2, 3, 4, 5, 6$), $(tc * ti)_{ij}$ = efecto de la interacción entre los factores tc y ti , b_k = efecto de los bloques y e_{ijk} = error experimental.

Los valores obtenidos se sometieron a análisis de variancia y de regresión referente a la composición química y a la degradabilidad de la MS, MO y PC, mediante el procedimiento GLM del SAS v. 9.2 (2009). Para detectar diferencias de medias se utilizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad. La selección de los modelos de regresión se basó en la significación de los coeficientes lineales y cuadráticos, por medio de la prueba de t de Student, a los niveles de 0.1, 1 y 5%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición Química

La composición química del FVH de cebada en los diferentes tiempos de cosecha se presenta en el Cuadro 1. La MS se comportó de forma cuadrática ($p = 0.0003$), observándose una disminución de 16.27% de MS a los 19 días de cosecha. Carrasco y

Espinoza (2016) observaron el mismo comportamiento para la MS en los cultivos hidropónicos de la avena, cebada y trigo, obteniendo el mínimo de 14.41% de MS a los 16.3 días al utilizar como tratamientos 12, 15, 18 y 21 días. La concentración de PC del FVH se ajustó a la respuesta lineal en función a la edad de cosecha, con una disminución de 0.22 puntos porcentuales por cada día de crecimiento del forraje. La cantidad media de PC (14.40%) obtenida es comparable al 14.38% reportado por Huiza (2015), pero superior al 10.31% obtenido por Contreras *et al.* (2015). La variación puede atribuirse a las diferencias de variedades, cantidades de semillas, asociación gramínea leguminosa, tipo de sustrato y a las soluciones nutritivas utilizadas en la producción de forraje hidropónico.

Las concentraciones proteicas obtenidas en el presente estudio son relevantes. En casos donde la PC es menos del 7% ocurre una reducción en la digestión debido a inadecuados niveles de nitrógeno para los microorganismos del rumen, disminuyendo su población y, consecuentemente, disminuye la digestibilidad y la ingestión de proteína soluble. Por tanto, un contenido más elevado de PC es necesario para atender las necesidades proteicas del organismo animal (Van Soest, 1994). Así, los contenidos de PC de praderas nativas reportados en ensilado de maíz (6.4%) por Cabrera *et al.* (2011), y en heno de avena (5.98-7.08%) por Mina *et al.* (2018) no cubrirán las necesidades de la dieta de animales en lactación o de animales en el tercer tercio de gestación. Por tanto, la suplementación proteica con FVH de cebada puede ser considerada como opción para complementar la alimentación de los animales e incrementar la productividad del rebaño.

La FDN mostró una respuesta lineal negativa ($p = 0.0091$) entre los tiempos de cosecha, con una disminución de 0.24% por cada día de crecimiento de la cebada. Las medias de 32.40 a 31.16% entre los días 16 y 22 fueron inferiores al valor de 56.82% reportado por Ramos *et al.* (2021) en la cebada hidropónica cosechada a los 18 días de

Cuadro 1. Valores medios porcentuales de materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), materia mineral (MM) y fibra detergente neutra (FDN) del forraje verde hidropónico de cebada, en función de los días de cosecha y de las ecuaciones de regresión obtenidos por medio de la composición química

Variable	Tiempo de cosecha - TC - (días)				Media	DEM	Ecuación de regresión
	16	18	20	22			
MS (%)	17.75 ^A	15.16 ^B	15.13 ^B	17.59 ^A	16.41	0.27	a
MO ¹	95.95 ^A	95.74 ^A	95.91 ^A	95.98 ^A	95.89	1.81	ns
PC ¹	15.07 ^A	14.66 ^{AB}	14.13 ^{BC}	13.75 ^C	14.40	2.44	b
MM ¹	4.05 ^A	4.27 ^A	4.10 ^A	4.02 ^A	4.11	0.06	ns
FDN ¹	32.40 ^{AB}	33.16 ^A	32.10 ^{AB}	31.16 ^B	32.20	0.18	c

DEM: Desviación estándar de la media

¹: % nutrientes dentro de la MS

^a $\hat{y} = 129.33 - 12.03^{***} TC + 0.32^{***} TC^2$ ($R^2 = 0.4235$), ^b $\hat{y} = 18.67 - 0.22^{***} TC^2$ ($R^2 = 0.4235$), ^c $\hat{y} = 32.40 - 0.24^{**} TC^2$ ($R^2 = 0.2060$)

^{ns}, No significativo; ^{**} y ^{***} significativo a 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"

^{A,B,C}: Diferentes superíndices dentro de filas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

crecimiento. Así mismo, los valores fueron menores a los de 45.72 y 47.91% referidas por Ortiz *et al.* (2019) para el FVH de avena cosechados a los 14 y 17 días, respectivamente. Asimismo, la fracción fibrosa de los FVH de cebada fue menor al 45%, constituyendo una excelente fuente de energía para los rumiantes (Johnson y De Oliveira, 1990).

No hubo diferencia ($p > 0.05$) entre los días de cosecha con relación a la MO y MM, cuyas medias fueron de 95.89 y 4.11%, respectivamente. En comparación con la literatura, Ramos *et al.* (2021) obtuvieron para este forraje 95.86% de MO a los 15 días de cosecha, en tanto que Contreras *et al.* (2015) reportaron 91.59% de MO para el FVH de cebada cosechada a los 20 días de crecimiento, y Huiza (2015) reportó 4.58% de MM para la cebada obtenida a los 15 días, valor ligeramente mayor a la media obtenida en el presente trabajo.

Desaparición de los Nutrientes

La desaparición de la MS del FVH de cebada incubada durante 0, 48 y 72 horas, en función a los días de cosecha tuvo un com-

portamiento lineal negativo ($p = 0.0171$, $p = 0.0008$ y $p = 0.0331$, respectivamente), observándose disminuciones de 0.46, 0.98 y 0.92 puntos porcentuales de MS por cada día de crecimiento de forraje hidropónico (Cuadro 2). No hubo diferencias significativas para la media de la degradabilidad de la MS entre los días de cosecha para la incubación del t_0 y 72 horas, cuyas degradabilidades fueron 58.63 y 72.34%, respectivamente. Dentro de las 48 horas de incubación tampoco se evidenciaron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los días 16 y 18, las que a su vez las desapariciones fueron mayores con relación a la cosecha de los días 20 y 22. El análisis de variancia de la regresión no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) de los días de cosecha sobre la degradabilidad de la MS a las 6, 12 y 24 horas de incubación.

El FVH de cebada cosechada a los 16 y 20 días presentó efecto lineal positivo ($p = 0.0001$) de las horas de incubación sobre la desaparición de la MS, cuyos aumentos en la degradabilidad fueron 0.22 y 0.17% por cada unidad de tiempo de incubación (Cuadro 3). En cambio, para la cosecha del FVH a los 18 y 22 días se ob-

Cuadro 2. Desaparición (degradabilidad) media de la materia seca (MS) y proteína cruda (PC) del forraje verde hidropónico de cebada para seis tiempos de incubación ruminal en función a los tiempos de cosecha

Tiempo de incubación (horas)	Tiempo de cosecha - TC - (días)				Media	DEM	Ecuación de regresión
	16	18	20	22			
Materia seca							
0	59.50 ^A	59.82 ^A	58.19 ^A	56.99 ^A	58.63	0.38	1
6	61.96 ^A	61.12 ^A	60.10 ^A	59.11 ^A	60.58	0.61	ns
12	64.36 ^A	64.60 ^A	62.55 ^A	60.83 ^A	63.08	0.66	ns
24	68.27 ^A	67.21 ^A	64.18 ^A	64.09 ^A	65.94	1.11	ns
48	73.58 ^A	70.80 ^{AB}	68.74 ^B	67.75 ^B	70.22	0.49	2
72	75.38 ^A	73.37 ^A	70.32 ^A	70.30 ^A	72.34	0.90	3
Proteína cruda							
0	63.05 ^A	62.97 ^A	60.08 ^{AB}	57.85 ^B	60.99	0.51	4
6	65.53 ^A	66.10 ^A	63.37 ^{AB}	60.39 ^B	63.85	0.41	5
12	68.61 ^A	70.20 ^A	66.56 ^A	62.19 ^B	66.91	0.47	6
24	71.41 ^A	72.42 ^A	69.05 ^{AB}	64.34 ^B	69.30	0.57	7
48	74.00 ^{AB}	74.73 ^A	72.15 ^{AB}	65.40 ^B	71.57	0.97	8
72	76.63 ^A	77.06 ^A	74.06 ^{AB}	70.85 ^B	74.65	0.61	9

DEM: Desviación estándar de la media

Materia seca: $^1\hat{y} = 67.36 - 0.46^* TC$ ($R^2 = 0.4489$), $^2\hat{y} = 88.79 - 0.98^{***} TC$ ($R^2 = 0.6898$), $^3\hat{y} = 89.73 - 0.92^* TC$ ($R^2 = 0.3789$)

servó un efecto cuadrático ($p = 0.0001$) del tiempo de incubación en la degradabilidad, propiciando degradabilidades máximas de la MS de 73.18 y 70.11%, respectivamente.

A lo largo del tiempo de incubación, a excepción de la cosecha a los 22 días, los tiempos de incubación presentaron estabilización de las medias de degradabilidad de la MS a partir de las 24 horas, no difiriendo ($p > 0.05$) con las observadas a las 48 y 72 horas. Hecho que demuestra que incubaciones por 72 horas son apropiadas para alcanzar los valores máximos de la degradabilidad de la MS; es decir la asíntota.

La desaparición de la PC fue de forma lineal negativa para los tiempos de incubación-

de 0, 6, 48 y 72 horas, observándose disminuciones de 0.92, 0.91, 1.42 y 1.02 puntos porcentuales para cada día de crecimiento del FVH. Para 12 y 24 horas de incubación, el efecto fue cuadrático ($p = 0.0005$ y $p = 0.0011$, respectivamente). Los puntos máximos de desaparición se situaron a los 17.4 días para las 12 horas de incubación, con 68.92 de PC y a los 17.2 días para 24 horas de incubación con 71.41% de PC (Cuadro 2). Los cuatro tiempos de cosecha de FVH presentaron resultados de solubilidad para la PC (t_0) entre 57.85 a 63.05% para los tiempos de cosecha de 22 y 16 días, respectivamente, que representa la porción de nitrógeno soluble o suficientemente molido en partículas pequeñas para salir de los poros de las bolsas de incubación (Molina *et al.*, 2003).

Cuadro 3. Desaparición (degradabilidad) media de la materia seca (MS) y proteína cruda (PC) del forraje verde hidropónico de cebada para cuatro tiempos de cosecha, en función los tiempos de incubación

Tiempos de cosecha (días)	Tiempos de incubación -TI- (horas)						Media	DEM	Ecuación de regresión
	0	6	12	24	48	72			
Materia seca									
16	59.51 ^C	61.96 ^C	64.36 ^{BC}	68.27 ^{ABC}	73.58 ^{AB}	75.38 ^A	67.18	0.87	1
18	59.82 ^C	61.12 ^C	64.60 ^B	67.21 ^B	70.80 ^A	73.37 ^A	66.15	0.29	2
20	58.19 ^C	60.10 ^{BC}	62.55 ^{ABC}	64.18 ^{ABC}	68.74 ^{AB}	70.32 ^A	64.01	0.75	3
22	56.99 ^E	59.11 ^D	60.83 ^D	64.09 ^C	67.75 ^B	70.30 ^A	63.18	0.16	4
Proteína cruda									
16	63.05 ^E	65.53 ^{DE}	68.61 ^{CD}	71.41 ^{BC}	74.00 ^{AB}	76.63 ^A	69.87	0.42	5
18	62.97 ^E	66.10 ^{DE}	70.29 ^{CD}	72.42 ^{BC}	74.73 ^{AB}	77.06 ^A	70.60	0.36	6
20	60.08 ^D	63.37 ^{CD}	66.56 ^{BCD}	69.05 ^{ABC}	72.15 ^{AB}	74.06 ^A	67.54	0.60	7
22	57.85 ^C	60.39 ^{BC}	62.19 ^{BC}	64.34 ^{ABC}	65.40 ^{AB}	70.85 ^A	63.50	0.60	8

DEM: Desviación estándar de la media

Materia seca: $^1\hat{y} = 61.18 + 0.22^{***} TI$ ($R^2 = 0.7390$), $^2\hat{y} = 59.86 + 0.35^{***} TI - 0.0023^{***} TI^2$ ($R^2 = 0.9471$), $^3\hat{y} = 59.52 + 0.17^{***} TI$ ($R^2 = 0.6948$), $^4\hat{y} = 57.18 + 0.32^{***} TI - 0.00198^{***} TI^2$ ($R^2 = 0.9842$)Proteína cruda: $^5\hat{y} = 63.66 + 0.36^{***} TI - 0.0026^{**} TI^2$ ($R^2 = 0.8911$), $^6\hat{y} = 64.02 + 0.41^{***} TI - 0.0033^{**} TI^2$ ($R^2 = 0.8901$), $^7\hat{y} = 60.96 + 0.41^{***} TI - 0.0032^{**} TI^2$ ($R^2 = 0.8325$), $^8\hat{y} = 59.28 + 0.16^{***} TI$ ($R^2 = 0.7412$)

** y *** Significativo a 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"

^{A,B,C,D,E}: Diferentes superíndices dentro de filas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

La desaparición de la PC se comportó de forma cuadrática para los tiempos de cosecha de 16, 18 y 20 días (Cuadro 3), observándose las máximas desapariciones de 76.12, 76.75 y 74.09% de PC a las 69.2, 62.1 y 64.1 horas de incubación. Para la cosecha a los 22 días, el efecto fue lineal positivo ($p = 0.00019$), con aumento de 0.16% de PC por cada día de crecimiento de la cebada. A partir de las 24 horas de incubación se observó la estabilización de las medias de desaparición de la PC para los días de cosecha, no mostrando diferencias significativas entre las degradabilidades a las 48 y 72 horas de incubación. Estos resultados demuestran que incubaciones por 72 horas son suficientes para lograr los valores máximos de la degradabilidad de la PC.

Degradabilidad de la Materia Seca y Proteína Cruda

Las estimaciones de los valores medios de la fracción soluble (FS), fracción potencialmente degradable (FPD), indegradabilidad (I), tasa de degradación de la FPD (TD) se presentan en el Cuadro 4. Los análisis de variancia mostraron efectos significativos ($p < 0.05$) de los tiempos de cosecha sobre los parámetros FS, FPD, I, TD, DP y DE para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h de la MS.

La MS digerida proveniente de la fracción soluble (FS) del FVH de cebada no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los días 16 y 18 de colecta de las muestras, y los valores fueron mayores (59.14 y

Cuadro 4. Valores medios de la fracción soluble (FS), fracción potencialmente degradable (FPD), indegradabilidad (I) y tasa de degradación (TD) de la materia seca (MS) y de la proteína cruda (PC) del forraje verde hidropónico de cebada a diferentes días de cosecha

Parámetros	Tiempos de cosecha -TC- (días)				Media	DEM	Ecuación de regresión
	16	18	20	22			
Materia seca							
FS (%)	59.14 ^{AB}	59.54 ^A	58.15 ^B	56.95 ^C	58.45	10.98	1
FPD (%)	19.87 ^A	16.78 ^B	15.28 ^B	16.98 ^B	17.23	0.35	2
I (%)	21.00 ^C	23.68 ^B	26.56 ^A	26.06 ^A	24.32	0.27	3
TD (%/hora)	2.67 ^A	3.00 ^A	2.67 ^A	2.33 ^A	2.67	0.12	ns
Proteína cruda							
FS (%)	63.03 ^A	62.98 ^A	60.22 ^B	57.98 ^C	61.05	0.20	4
FPD (%)	14.80 ^{AB}	13.99 ^B	14.13 ^B	16.08 ^A	14.75	0.18	5
I (%)	22.16 ^B	23.03 ^B	25.65 ^A	25.95 ^A	24.20	0.21	6
TD (%/hora)	3.67 ^{BC}	5.33 ^A	4.33 ^{AB}	2.67 ^C	4.00	9.77	7

DEM: Desviación estándar de la media

Materia seca: ¹ $\hat{y} = 30.47 + 3.40^* TC - 0.99^{***} TC^2$ ($R^2 = 0.3897$), ² $\hat{y} = 133.32 - 11.87^{***} TC + 0.30^{***} TC^2$ ($R^2 = 0.2820$), ³ $\hat{y} = -63.78 + 8.47^{**} TC + 0.199^{**} TC^2$ ($R^2 = 0.4568$)

Proteína cruda: ⁴ $\hat{y} = 29.20 + 4.32^{**} TC + 0.14^{**} TC^2$ ($R^2 = 0.6853$), ⁵ $\hat{y} = 72.39 - 6.36^{**} TC + 0.17^{**} TC^2$ ($R^2 = 0.1725$), ⁶ $\hat{y} = 10.92 + 0.70^{***} TC$ ($R^2 = 0.4216$), ⁷ $\hat{y} = -66.37 + 7.72^{***} TC - 0.21^{***} TC^2$ ($R^2 = 0.3833$)

^{ns} No significativo; *, **, y *** significativo a 5, 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"

^{A,B,C}: Diferentes superíndices dentro de filas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

59.54%, respectivamente) a los observados a los 20 y 22 días. Este parámetro fue influenciado de forma cuadrática ($p = 0.0001$) por los días de cosecha, estimándose como máximo el 60% de FS a los 17 días de crecimiento, conforme la ecuación $w = 30.47 + 3.40^* TC - 0.99^{***} TC^2$ (Cuadro 4). La FS de la MS obtenido a los 18 días está en línea con los valores de 59.35 y 58.41% reportado por Ortiz *et al.* (2019) para el FVH de avena cosechada a los 14 y 17 días, respectivamente. Sin embargo, las FS de la MS observadas en el presente trabajo son inferiores a los resultados obtenidos por Herrera *et al.* (2010), quienes refieren valores de 69.1, 56.2 y 34.8% para el FVH de trigo cosechadas a los 8, 10 y 12 días, respectivamente. Estas diferencias podrían atribuirse a los diferentes contenidos

que representa la FS (azúcares simples, carbohidratos solubles y fracciones proteicas simples: aminoácidos, nitratos, nitrógeno no proteico y amidas) de las especies vegetales (Solís, 2011).

Dhanoa *et al.* (1999) consideran que los compuestos solubles que constituyen la FS desempeñan papel importante en los estadios tempranos de degradación de forraje, pues al ser consumido por el ganado, se favorece el crecimiento óptimo de los microorganismos ruminales. Los altos niveles de la FS del FVH de cebada obtenidos superarían la capacidad de captación de los constituyentes de la FS por parte de los microorganismos del rumen y que eventualmente afectarían desfavorablemente su utilización (AFRC, 1993).

La degradación de la MS de la fracción potencialmente degradable (FPD) de 19.87% del FVH evaluada a los 16 días fue mayor ($p < 0.05$) que en los otros tres tiempos de cosecha, sin diferencias significativas entre estos últimos. La FPD de la MS se ajustó a la ecuación de regresión cuadrática con relación al aumento de la edad de cosecha, conforme a la ecuación $w = 133.32 - 11.87^{***}TC + 0.30^{***}TC^2$, que permitió estimar como mínimo 15.91% de FPD de la MS a los 19 días de cosecha. Ortiz *et al.* (2019) en la avena hidropónica muestreada a los 8, 11, 14 y 17 días no registraron diferencias en la FPD, mientras que Herrera *et al.* (2010) encontraron 23.2, 30.4 y 48.6% de FPD del FVH de trigo a los 8, 10 y 12 días de germinadas las semillas, respectivamente. En ambos trabajos las FPD de la MS son superiores a lo obtenido en el presente estudio, hecho que puede atribuirse a la magnitud de los compuestos complejos (celulosa y hemicelulosa) que constituye la FPD, cuya degradación es limitada por su relación con compuestos fenólicos como la lignina (Jung y Casler, 1991).

La tasa de degradación (TD) de la MS no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los días de cosecha, cuya media fue de 2.67%/h. Este parámetro está en línea con los valores de 2.8%/h de la avena hidropónica registradas a los 14 y 17 días de crecimiento por Ortiz *et al.* (2019). En cambio, Herrera *et al.* (2010) refieren una TD de 9.0, 4.0 y 4.0%/h para el FVH de trigo evaluadas a los 8, 10 y 12 días de muestreo. 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 (Martins *et al.*, 1999).

La indegradabilidad (I) de la MS del FVH de cebada fue menor en los días 16 y 18 (21 y 23.68%, respectivamente; $p < 0.05$), respecto a los otros días evaluados, como consecuencia de la mayor proporción de las FS y FPD. La I fue influenciada de forma cuadrática por los días de cosecha, correspondiendo como máximo 26.60% de I de la MS a los 21.28 días (Cuadro 4).

Las fracciones solubles de la PC en los días 16 y 18 no difirieron entre sí y presentaron valores elevados (63.03 y 62.98%, respectivamente). En general, el FVH de trigo presenta altos valores de FS de la PC, al igual que otros alimentos como leguminosas y concentrados (Contreras *et al.*, 2019) y frutos (Villela *et al.*, 1999), donde la proteína soluble constituye una parte importante de la proteína total (Sniffen *et al.*, 1992). Por otro lado, Herrera *et al.* (2010) reportaron que la FS de la PC del trigo disminuye (67.7 a 59.4%) conforme avanza el estado fenológico del cultivo hidropónico. En el presente estudio, el análisis de variancia de la regresión verificó respuesta cuadrática del efecto de los días de cosecha sobre la FS de la PC, siendo 62.53% como máximo de esta fracción proteica a los 15.4 días de crecimiento del forraje.

Se reportan que los valores altos de la FS de la PC del FVH de cebada 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 FS no es fisiológicamente aceptable, ya que no debe superar el 40% de la DE de la PC (AFRC, 1995). Considerando la degradabilidad efectiva de la PC al flujo de partículas en el rumen a 2%/h (Cuadro 5), las muestras del FVH de cebada del día 16 presentó la relación (FS): DEPC = 87.24% ($((100 * 63.03) / 72.25)$), valor que es similar a las relaciones de 86.39, 86.28 y 87.20% correspondiente a los días 18, 20 y 22, respectivamente. Estos valores superan el valor recomendado de $< 40\%$, dando lugar a la pérdida de N por los rumiantes.

La fracción potencialmente degradable (FPD) de la PC fue similar en las muestras del menor y mayor día de germinación (14.80

y 13.99%), y en los días intermedios no hubo diferencias significativas en este parámetro. De acuerdo con la ecuación de regresión se verificó el valor mínimo de 13.88% de la FPD obtenida a los 13 días de germinadas las semillas. Los resultados de la cebada hidropónica coinciden parcialmente con el reporte de Herrera *et al.* (2010), quienes observaron valores de 25.6, 33.1 y 33.1% en el FVH de trigo. Comportamiento que podría deberse a la falta de nutrientes en el agua de riego del FVH, pues en el día 22 se incrementa la FPD de la PC de la cebada.

Hubo efecto ($p < 0.05$) de los días de cosecha sobre la TD de la PC. Las mayores TD (5.33 y 4.33%/h) se observaron en los días 18 y 20, sin diferencias significativas entre sí, hecho que pudiera atribuirse a una disminución de la FS de la PC como consecuencia de la madurez de la planta y la mayor concentración de FDN (Van Soest, 1982). Asimismo, Chesson *et al.* (1985) refieren que la variación en la fracción TC es debido a la preferencia de las bacterias ruminales por diferentes tejidos vegetales. Esta observación es coherente con el hecho de que forrajes hidropónicos obtenidos a tempranas edades pueden o no favorecer la población microbiana del rumen, responsables por la degradación de los carbohidratos no estructurales.

En la TD de la PC se constató respuesta cuadrática ($p = 0.0001$) por efecto de los días de cosecha, registrándose 4.58%/h como mínimo a los 18.4 días. Acosta *et al.* (2016) refieren TD de 4 y 4%/h para el FVH de maíz cosechadas a los 12 días con las soluciones nutritivas de la Molina y FAO, respectivamente; valores que coinciden con la media (4%/h) obtenida en el presente trabajo. Las tasas de I de la PC (22.16 y 23.03%) observadas en los días 16 y 18, sin diferencias significativas, fueron menores a los días 20 y 22. Este parámetro se comportó de forma lineal creciente ($p = 0.0001$) por efecto de los días de cosecha, con aumentos de 0.70 puntos porcentuales de I por cada unidad de tiempo.

La degradabilidad potencial (DP) y efectiva (DE) de la MS y PC para las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h del FVH de la cebada que se encuentran en el Cuadro 5. Las mayores DP de la MS correspondió a los días 16 y 18 (79.01 y 76.32%, respectivamente) y las menores a los días 20 y 22. Estas degradabilidades estuvieron constituidas en mayor proporción por la fracción soluble (FS, 59.14 y 59.54%), que permiten el crecimiento óptimo de los microorganismos del rumen. La DE de la MS también fue elevada para la cosecha de los días 16 y 18, en las tasas de pasaje de 2, 5 y 8%/h, con disminuciones de 0.80, 0.66 y 0.61 puntos porcentuales en la DE por cada unidad de tiempo de cosecha. Los resultados de Herrera *et al.* (2010) que refieren 87.2, 76.5 y 66.8% de DE para el FVH de trigo obtenida a los 8, 10 y 12 días, respectivamente.

Las mayores DP de la PC correspondió a los FVH de los días 16 y 18 (77.84 y 76.97%, respectivamente). 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, 1995). Además, la proteína de los forrajes es susceptible a la rápida degradación en el rumen, especialmente la de los forrajes verdes en los cuales se degrada hasta 73% (Klopfenstein *et al.*, 2001). Todas las muestras estudiadas presentaron valores arriba de 60% para esta variable, especialmente en la tasa de pasaje de 2%/h, donde los FVH de los días 16 y 18 mostraron la mayor DE de la PC ($p < 0.05$). En las tasas de pasaje de 2, 5 y 8% los días de cosecha influyeron de forma cuadrática ($p = 0.0001$), observándose a los 17 días las máximas DE estimadas de 73.40, 69.15 y 66.54%, respectivamente.

Cuadro 5. Degradabilidad potencial (DP) y efectiva (DE) en tres tasas de pasaje de la materia seca (MS) y proteína cruda (PC) del forraje verde hidropónico de cebada a diferentes días de cosecha

Parámetros	Tiempos de cosecha -TC- (días)				Media	DEM	Ecuación de regresión
	16	18	20	22			
Materia seca							
DP (%)	79.01 ^A	76.32 ^B	73.43 ^C	73.93 ^C	75.68	0.26	1
DE (2%/h)	70.28 ^A	68.76 ^A	66.36 ^B	65.77 ^B	67.79	0.24	2
DE (5%/h)	65.99 ^A	65.14 ^A	63.10 ^B	62.30 ^B	64.13	0.25	3
DE (8%/h)	64.11 ^A	63.58 ^A	61.71 ^B	60.63 ^B	62.51	0.24	4
Proteína cruda							
DP (%)	77.84 ^A	76.97 ^A	74.35 ^B	74.05 ^B	75.80	0.21	5
DE (2%/h)	72.25 ^A	72.90 ^A	69.80 ^B	66.49 ^C	70.38	0.17	6
DE (5%/h)	69.03 ^A	69.93 ^A	66.78 ^B	63.06 ^C	67.20	0.17	7
DE (8%/h)	67.51 ^A	68.35 ^A	65.19 ^B	61.62 ^C	65.67	0.16	8

DEM: Desviación estándar de la media

Materia seca: ¹ $\hat{y} = 163.78 - 8.47^{**}TC - 0.002^{***}TC^2$ ($R^2 = 0.4568$), ² $\hat{y} = 82.93 - 0.80^{***}TC$ ($R^2 = 0.4844$), ³ $\hat{y} = 76.58 - 0.66^{***}TC$ ($R^2 = 0.3910$), ⁴ $\hat{y} = 74.61 - 0.61^{***}TC$ ($R^2 = 0.3892$)Proteína cruda: ⁵ $\hat{y} = 89.08 - 0.70^{***}TC$ ($R^2 = 0.4216$), ⁶ $\hat{y} = -0.22 + 8.58^{***}TC - 0.25^{***}TC^2$ ($R^2 = 0.7831$), ⁷ $\hat{y} = -15.51 + 9.91^{***}TC - 0.29^{***}TC^2$ ($R^2 = 0.8120$), ⁸ $\hat{y} = -12.74 + 9.44^{***}TC - 0.28^{***}TC^2$ ($R^2 = 0.8111$)

** y *** Significativo a 1 y 0.1% de probabilidad, respectivamente, por la prueba de "t"

^{A,B,C}: Diferentes superíndices dentro de filas indican diferencia estadística ($p < 0.05$)

Los FVH no sufrieron en mayor grado la influencia de las tasas de pasaje, pues presentaron altos valores de la fracción soluble (FS), entre 63.03 y 57.98%, bajos en la fracción potencialmente degradable (FPD, 14.80 a 16.08%) y en las tasas de degradación (TD, 3.67 a 2.67%/h). Por los resultados obtenidos para la DE de la PC, se puede afirmar que casi toda la proteína disponible en los cultivos hidropónicos fue degradada en el rumen, quedando disponible para el crecimiento microbiano. En condiciones tropicales, Barros *et al.* (2017) observaron en *Pennisetum clandestinum* un 27.21%/h de la degradación de la PC a la tasa de pasaje de 5%/h; diferencias que podrían ser debidas a las especies, al estado fenológico de los pastos que incide en la degradación ruminal y a las características físicas y químicas del forraje (Ellis *et al.*, 1988).

CONCLUSIONES

- Los forrajes hidropónicos de la cebada cosechados a los 16 y 18 días se caracterizaron por las mayores fracciones solubles y menores fracciones potencialmente degradables e indigestibles de la materia seca y de la proteína cruda.
- Los forrajes hidropónicos obtenidos a los 16 y 18 días de la germinación sobresalieron por sus altos niveles en las degradabilidades potenciales y efectivas de la materia seca y proteína cruda.
- Por el análisis químico, comportamiento en la degradabilidad y las características ruminales que le confieren un valor nutritivo superior a los forrajes hidropónicos de 16 o 18 días, se les puede recomendar como suplemento en la alimentación animal.

Agradecimientos

Al Laboratorio de nutrición animal y evaluación de alimentos y al grupo de investigación de «pastos y forrajes» de la Escuela Profesional de Zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica por el apoyo en la ejecución del trabajo de investigación.

LITERATURA CITADA

1. [AFRC] *Agricultural and Food Research Council*. 1995. Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford, UK: CAB International. 159 p.
2. [AFRC] *Agricultural and Food Research Council*. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. In: Alderman G, Cottrill BR (eds). An advisory manual prepared by AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CABI. Wallingford, RU. p 134-139.
3. *Acosta N, Lima R, Avellaneda J, Mirabá C*. 2016. Ruminant degradability and fecal digestibility of hydroponic fresh forage of maize (*Zea mays*) in domestic goats in Santa Elena, Ecuador. *Cuban J Agr Sci* 50: 71-75.
4. *Ayala BAJ, Rosado RCM, Capetillo LCM, Sandoval CA*. 2003. Evaluación del método de lavado de bolsas (manual vs lavadora) en la técnica de degradación *in situ*. *Tec Pecu Mex* 41: 337-342.
5. *Barros RM, Oña RJ, Mera AR, Artieda RJ, Curay QS, Avilés ED, Solorio SJ, Guishca CC*. 2017. Degradación ruminal de dietas a base de biomasa pos-cosecha de *Amaranthus cruentus*: efecto sobre los protozoos del rumen y producción de gas *in vitro*. *Rev Inv Vet Perú* 28: 812-821. doi: 10.15381/rivep.v28i4.13931
6. *Barbero R, Malheiros E, Nave R, Mulliniks J, Delevatti M, Koscheck J, Romanzini E, et al*. 2017. Influence of post-weaning management system during the finishing phase on grasslands or feedlot on aiming to improvement of the beef cattle production, *Agricult Syst* 153: 23-31. doi: 10.1016/j.agsy.2017.01.015
7. *Cabrera JC, Alves FG, Bumbieris JVH, Calixto JM, Tadeo dos Santos*. 2011. Cinética de degradação ruminal dos fenos de alfalfa e Tifton-85 e da silagem de milho. *Semin-Cienc Agrar* 32: 747-758
8. *Carballido CCD*. 2007. Forraje verde hidropónico. Artículos Silvoagropecuarios. [Inyernet]. Disponible en: www.usuarios.lycos.es/forrajeverdehidropónico.
9. *Carrasco SD, Espinoza AD*. 2016. Efecto de los cereales forrajeros hidropónicos y los diferentes tiempos de cosecha sobre la composición química y bromatológica y parámetros productivos. Tesis de Ingeniero Zootecnista. Huancavelica: Univ. Nacional de Huancavelica. 73 p.
10. *Carvalho PCF*. 2006. Country pasture/forage resource profiles: Brazil. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
11. *Chesson A, Gordon AH, Lomax JA*. 1985. Methylation analysis of mesophyll, epidermis and fibre cells-walls isolated from the leaves of perennial and Italian rygrass. *Carbohydr Res* 141: 137-147.
12. *Contreras PJJ, Pariona GJ, Cordero FA, Jurado EM, Huamán JR*. 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
13. *Contreras PJJ, Tunque MQ, Cordero FAG* 2015. Rendimiento hidropónico de la arveja con cebada y trigo en la producción de germinados. *Rev Inv Vet Perú* 26: 9-19. doi: 10.15381/rivep.v26i1.-10910
14. *Cortiana TAA, Joice HC, Silveira RCH, Vilmar KG*. 2021. Effects of supplementation on production of beef cattle grazing tropical pastures in Brazil during the wet and dry seasons: a meta-analysis. *Rev Bras Zootecn* 50: e20210020. doi: 10.37496/rbz5020210020
15. *Dhanoa MS, France J, López S, Dijkstra J, Lister SJ, Davies DR, Bannik A*. 1999. Correcting the calculation of extent of degradation to

- account for applying the polyester bag method. *J Anim Sci* 77: 3385-3391. doi: 10.2527/1999.77123385x
16. **Ellis WC, Wylie MJ, Matis JH. 1988.** Dietary digestive interactions determining the feeding value of forages and roughages. In: Ørskov ER (ed) *Feed science*. Amsterdam: Elsevier. p 177-225.
 17. **Fernández HH. 2002.** Un procedimiento simple para estimar parámetros de funciones útiles en producción animal, usando Solver de Excel. *Rev Arg Prod Anim* 24: 75-81.
 18. **Flores ZG, Urdaneta E, Montes J. 2004.** Densidad de siembra de maíz (*Zea mays*) para producción de forraje verde hidropónico. Mem. 12º Congreso Venezolano de Producción e Industria Animal. Maracay, Venezuela.
 19. **Flores MA. 1993.** Producción y utilización de los pastizales altoandinos del Perú. *Red Pastizales Andinos REPAAN* (Perú). 202 p.
 20. **Flores M, Bryant F. 1989.** Manual de pastos y forrajes. Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Rumiantes Menores. 206 p.
 21. **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.
 22. **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.
 23. **Herrera E, Cerrillo M, Juárez A, Murillo M, Rios F, Reyes O, Bernal H. 2010.** Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia* 35: 284-289.
 24. **Huiza MM. 2015.** Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y avena (*Avena sativa*) bajo tres niveles de abonamiento con té de lombriz. Tesis de Ingeniero Agrónomo. La Paz, Bolivia: Univ. Mayor de San Andrés. 85 p.
 25. **Johnson WL, De Oliveira ER. 1990.** Necesidades de nutrientes y sistemas mejorados de alimentación. En: Mejorando la crianza de caprinos de carne en el trópico semi-árido. Programa de Apoyo a la Investigación Colaborativa en Rumiantes Menores SR-CRSP. USA: Univ de California. p 75-82.
 26. **Jung HG, Casler MD. 1991.** Relationship of lignin and esterified phenolics to fermentation of smooth bromegrass fibre. *Anim Feed Sci Tech* 32: 63-68.
 27. **Klopfenstein TJ, Mass RA, Creighton KW, Patterson HH. 2001.** Estimating forage protein degradation in the rumen. *J Anim Sci* 79: 208-216. doi: 10.2527/jas2001.79E-SupplE208x
 28. **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.
 29. **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
 30. **Mina EM, Ramos PF, Cordero FA, Contreras PJ, Curasma CJ, Tunque QM. 2018.** Niveles de urea y agua sobre la composición bromatológica del heno de avena (*Avena sativa* L). *Rev Inv Vet Perú* 29: 743-755. doi: 10.15381/rivep.v29i3.14470
 31. **Molina LR, Rodríguez NM, Mourão de Sousa B, Goncalves 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

32. **Müller L, Manfron PA, Santos OS, Medeiros SLP, Neto NN, Morselli TBGA, Lopez da Luz G, et al. 2006.** Efecto de soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropônica de trigo (*Triticum aestivum* L). *Zootec Trop* 24: 137-152.
33. **Ørskov ER, McDonald I. 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from determining the digestibility of feeds in the rumen. *J Agric Sci* 92: 499-503. doi: 10.1017/S002185960006-3048
34. **Ortiz TP, Paillacho N, Barros RM, Mayorga PS, Chay CA, Guishca CC, Romero HM, et al. 2019.** Influence of cutting age on chemical composition, rumen degradation kinetics and *in vitro* digestibility of green hydroponic fodder of *Avena sativa*. *Trop Subtrop Agroecosyst* 22: 819-825.
35. **Ramos FE, Contreras PJJ, Cordero FAG, Curasma CJ, Ordoñez MBJ, Esteban PM, Rojas DLYC, et al. 2021.** Rendimiento hidropónico del asociado de vicia con avena, cebada y trigo en la producción de germinados. *Rev Inv Vet Perú* 32: e21678. doi: 10.15381/rivep.v32i6.21678
36. **SAS. 2009.** SAS/STAT: User's guide: statistics. Release 9.2. SAS Institute Inc. Cary, NC.
37. **Silva DJ, Quiroz AC. 2002.** Análise de alimentos: métodos químicos y biológicos. Minas Gerais, Brasil: Univ. Federal de Viçosa. 235 p.
38. **Sniffen CJ, O'Connor D, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB. 1992.** A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II Carbohydrate and protein availability. *J Anim Sci* 70: 3562-3577.
39. **Solís C. 2011.** Sustitución del maíz por ensilaje integral de camote (*Ipomoea batatas* L) como fuente energética en la alimentación de bovinos en crecimiento. Tesis de Magíster. Panamá: Univ. de Panamá. 160 p.
40. **Van Soest PJ. 1994.** Nutritional ecology of the ruminant. New York: Cornell University Press. 476 p.
41. **Van Soest PJ. 1982.** Nutritional ecology of ruminant. USA: Cornell University Press. 476 p.
42. **Villela VC, Hernán Maldonado VH, Coelho da Silva JF. 1999.** Composição químico-bromatológica e degradabilidade *in situ* da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro da casca do fruto de três variedades de maracujá (*Passiflora* spp). *Rev Bras Zootec* 28: 1148-1158.