

Ruminal degradability and fecal digestibility of hydroponic fresh forage of maize (*Zea mays*) in domestic goats in Santa Elena, Ecuador

Degradabilidad ruminal y digestibilidad fecal del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en caprinos criollos en Santa Elena, Ecuador¹

N. Acosta¹, R. Lima², J. Avellaneda³ and C. Mirabá⁴

¹ Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), Universidad Estatal Península de Santa Elena. Campus La Libertad, vía principal Santa Elena- La Libertad, Ecuador

² Universidad Central de Las Villas "Marta Abreu", Departamento de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Carretera a Camajuaní km 5.5. Santa Clara, Villa Clara, Cuba

³ Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Los Ríos

⁴ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Email: acoslones@yahoo.es

Dry matter, organic matter and crude protein degradability and digestibility were assessed in hydroponic fresh forage hay of maize, cultivated with three nutritive solutions (Hoagland, La Molina and FAO) at 12 d of harvested. The experiment was developed from July to September, 2014 at "La Sevilla" farm located in San Marcos commune, canton and province of Santa Elena, Ecuador. Eight domestic goats were used (four fistulae fitted and without fistulae) which were adapted to the feed for 14 d. For determining ruminal degradability and fecal digestibility, 5 g of each sample were introduced in the rumen in nylon bags (45 – 50 µm) and at 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 h were assessed. Later they were removed and washed until attaining crystalline water and the bromatological analyses were carried out. Ruminal degradation parameters showed high levels of dry matter, organic matter and crude protein degradability. Results evidence that there were no differences in the degradability parameters for dry and organic matter which was demonstrated by the forage produced through different nutritive solutions. On evaluating the effect of the nutritive solution on the degradability parameters of the crude protein of the hydroponic fresh forage of maize, the "a" fraction and the effective rumen degradation with the FAO and Hoagland solutions were higher ($P < 0.05$) regarding that obtained with the solution La Molina. It is concluded that the hydroponic fresh forage of maize cultivated with three nutritive solutions exhibited high levels of degradability and fecal digestibility of the dry matter, organic matter and crude protein in goats. However, results of fecal digestibility of the nutrients studied show that the Hoagland and FAO solutions are the most promissory for producing this forage in the studied region.

Key words: *degradability, digestibility, hydroponic fresh forage of maize*

Introduction

Santa Elena Peninsula is characterized by arid soils with sporadic rainfall that do not allow the adequate grassland growth for ruminant feeding. These conditions, repeated every year, maintain very low production standards compared to other ecological zones of Ecuador. Farmers due to the cited environmental conditions dedicate to goat cattle

Se evaluó la degradabilidad y digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y proteína bruta del heno de forraje verde hidropónico de maíz, cultivado con tres soluciones nutritivas (Hoagland, La Molina y FAO) a 12 d de cosechado. El experimento se desarrolló de julio a septiembre de 2014 en la finca "La Sevilla", situada en la comuna San Marcos, cantón y provincia de Santa Elena, Ecuador. Se utilizaron ocho caprinos criollos (cuatro fistulados y cuatro no fistulados) que se adaptaron al alimento durante 14 d. Para determinar la degradabilidad ruminal y la digestibilidad fecal, se introdujeron en el rumen 5 g de cada muestra en bolsas de nailon (45 – 50 µm) y se procedió a la evaluación a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h. Luego, se retiraron y lavaron hasta lograr cristalinidad en el agua, y se realizaron análisis bromatológicos. Los parámetros de degradación ruminal mostraron niveles altos de degradabilidad de materia seca, materia orgánica y proteína bruta. Los resultados evidenciaron que no hubo diferencias en los parámetros de degradabilidad para la materia seca y la orgánica, lo que se constató por el forraje producido mediante diferentes soluciones nutritivas. Al evaluar el efecto de las soluciones nutritivas en los parámetros de degradabilidad de la proteína bruta del forraje verde hidropónico de maíz, la fracción "a" y la degradación efectiva en rumen con las soluciones FAO y Hoagland, fueron superiores ($P < 0.05$) con respecto al que se obtuvo con la solución La Molina. Se concluye que el forraje verde hidropónico de maíz cultivado con tres soluciones nutritivas mostró niveles altos de degradabilidad y digestibilidad fecal de la materia seca, materia orgánica y proteína bruta en caprinos. No obstante, los resultados de digestibilidad fecal de los nutrientes estudiados muestran que las soluciones Hoagland y FAO son las más promisorias para producir este forraje en la región estudiada.

Palabras clave: *degradabilidad, digestibilidad, forraje verde hidropónico de maíz*

Introducción

La península Santa Elena se caracteriza por tener suelos áridos, con lluvias esporádicas, lo que no permite el crecimiento adecuado de pastizales para la alimentación de rumiantes. Estas condiciones, que se repiten cada año, mantienen estándares de producción muy bajos en comparación con otras zonas ecológicas del Ecuador. Los agricultores, por las condiciones

¹Paper presented at the V Congreso de Producción Animal Tropical, La Habana, Cuba, 2015

production under extensive management. Animals in this region graze large extensions searching for some feed for its nutrient supply. Hence, forage production with the utilization of hydroponic techniques was suggested as alternative for efficient production that will allow less dependence on climatological conditions, field availability and water. In addition the nutritive solutions added supply some nutritional factors.

The hydroponic fresh forage (HFF) is produced from the germination of viable seeds, previously selected, washed and disinfected, technically managed with irrigation and fertilized with standardized nutritive solutions that supply to the plant the necessary nutrients for its growth and development. Harvest is realized at 12 d guaranteeing high digestibility and nutritional quality, characteristics that make the forage fit for animal feeding.

In this study the kinetics of degradation and digestibility of the dry matter (DM), organic matter (OM) and crude protein (CP) of the hydroponic fresh forage of maize (*Z. mays*) was assessed in domestic goats in Santa Elena, Ecuador.

Materials and Methods

The experiment was developed from July to September, 2014 in “La Sevilla” farm located in San Marcos commune, canton and province of Santa Elena, Ecuador (05° 41' 54" South latitude and 97° 77' 35" West longitude), with meteorological conditions of 100 mm/year of rainfall, mean temperature 24° C, relative humidity 83 % and height of 13 masl. The hydroponic fresh forage of maize (HFFM) was cultivated with the utilization of three standardized nutritive solutions (Hoagland, La Molina and FAO). Harvesting was at 12 d of age, then hayed and stored in a ventilated place at 22 °C until the beginning of the research study.

Ruminal degradability of HFFM was determined with the use of four fistulated adult domestic goats in the rumen (*in situ* technique) fed HFFM in a maintenance diet for 14 d of adaptation. For the ruminal degradability studies, samples were ground until reaching a particle size of 1 mm. Five grams of each were weighed and introduced in the rumen in nylon bags of 45 – 50 µm of porosity for determining its degradation at 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 and 72 h (Ørskov and Mc Donald (1979). DM, OM and CP degradability was calculated by the equation:

$$D = a + b (1 - \exp^{-kft}), \text{ where:}$$

t is the incubation time in hours

a is the soluble fraction

b is the potentially degradable fraction

kf is the degradation rate in hours

From the *in sacco* degradability, the effective rumen degradability (ERD) was calculated:

$$ERD = a + b \times kf / (kf + kp), \text{ where:}$$

ambientales citadas, se dedican a la producción de ganado caprino, con manejo extensivo. Los animales en esta región pastorean grandes extensiones en busca de algún alimento que les proporcione nutrientes. Por ello, se planteó producir forraje con la utilización de técnicas hidropónicas como alternativa para la producción eficiente, al permitir menor dependencia ante condiciones climatológicas, disponibilidad de terreno y agua. A ello se adiciona que las soluciones nutritivas utilizadas proveen de algunos factores nutricionales.

El forraje verde hidropónico (FVH) se produce a partir de la germinación de semillas viables, previamente seleccionadas, lavadas y desinfectadas, manejadas técnicamente con riego y fertilizadas con soluciones nutritivas estandarizadas, que proveen a la planta del alimento necesario para su crecimiento y desarrollo. La cosecha se la realiza a los 12 d, lo que garantiza alta digestibilidad y calidad nutricional, características que hacen que el forraje sea apto para la alimentación animal.

En este estudio se evaluó la cinética de degradación y digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y proteína bruta (PB) del forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays*) en caprinos criollos en Santa Elena, Ecuador.

Materiales y Métodos

El experimento se desarrolló de julio a septiembre de 2014 en la finca “La Sevilla”, situada en la comuna San Marcos, cantón y provincia de Santa Elena, Ecuador (05° 41' 54" de latitud sur y 97° 77' 35" de longitud oeste), con condiciones meteorológicas de 100 mm/año de precipitación, temperatura media 24 °C, humedad relativa 83 % y altura de 13 msnm (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología 2012). Se cultivó forraje verde hidropónico de maíz (FVHM) con el empleo de tres soluciones nutritivas estandarizadas (Hoagland, La Molina y FAO). Se cosechó a los 12 d de edad, se henificó y se almacenó en un lugar ventilado a 22 °C hasta el inicio de la investigación.

La degradabilidad ruminal del FVHM se determinó con la utilización de cuatro caprinos criollos adultos fistulados en el rumen (técnica *in situ*), que se alimentaron con FVHM en una dieta de mantenimiento durante 14 d de adaptación. Para los estudios de degradabilidad ruminal, las muestras se molieron hasta alcanzar tamaño de partícula de 1 mm. Se pesaron 5 g de cada una y se introdujeron en el rumen en bolsas de nailon de 45 – 50µm de porosidad para determinar su degradación a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48 y 72 h (Ørskov y Mc Donald 1979). La degradabilidad de la MS, MO y PB se calculó por la ecuación:

$$D = a + b (1 - \exp^{-kft}), \text{ donde:}$$

t es el tiempo de incubación en horas

a es la fracción soluble

b es la fracción potencialmente degradable

kf es la tasa de degradación en horas

A partir de la degradabilidad *in sacco* se calculó la degradabilidad efectiva en rumen (DER):

kp (0.03 per h) is the rate of ruminal passage (Ørskov and Mc Donald 1979)

Bags were removed from the rumen and washed until attaining crystalline water. They were placed in the oven at 65 °C for 48 h. Later, the bromatological analyses were realized for determining the degradation kinetics of the DM, OM and CP in the described times.

In addition the HFFM digestibility was assessed through the *in vivo* technique of total collection of fecal feces (Bondi *et al.* 1989). The real or true digestibility coefficient (TDC) was calculated through the following formula:

TDC (%) = $IF - (FM - EP) / IF \times 100$, where:

IF = ingested feed

FM = fecal material

EP = endogenous products

Four adult goats were introduced in metabolic cages and harnesses with devices for feces collection were placed to each one. Animals were adapted to voluntary HFFM intake for 14 d. Later, feces were collected during the following seven days. Samples were sent to the laboratory and fecal digestibility of DM, OM and CP were determined.

Results and Discussion

The parameters of ruminal degradation (table 1) evidenced high ruminal degradability levels of DM, OM and CP. Results showed that there were no differences ($P < 0.05$) in the degradability parameters for DM and OM exhibited by the HFFM produced with the different nutritive solutions. Values obtained in this study are different to those found by Herrera *et al.* (2007), who evaluated the ruminal degradation of the DM of HFFM cultivated in a rice husk substrate and supplied to the animals with all its content (42.2 % at 48 h), very low values due to the lignin supply of the rice husks. Herrera *et al.* (2010) evaluated DM degradability of HFF of wheat harvested at 10 and 12 d obtaining at 96 h of ruminal incubation values of 76.5 and 66.8 %, respectively, similar to those obtained in this paper.

In the case of OM degradability of HFFM, results obtained are comparable to those reported by Cerrillo *et al.* (2012) who estimated the ruminal degradation of the OM of HFF of wheat (83.1 and 7.7 %) and oat (71.2 and 65.5 %) harvested at 10 and 12 d, respectively.

In this study, on evaluating the effect of the nutritive solutions on the degradability parameters of the CP, the “a” fraction and the ERD in the HFFM produced with the FAO and Hoagland solutions were superior ($P < 0.05$) than in the HFFM from La Molina solution. Herrera *et al.* (2010) on studying ruminal CP degradation of HFF harvested at 10 and 12 d reported values of 79.0 and 76.0 % respectively, similar to those found in the HFFM produced with the FAO and

DER = $a + b \times kf / (kf + kp)$, donde:

kp (0.03 por h) es la velocidad de pasaje ruminal (Ørskov y Mc Donald 1979)

Las bolsas se retiraron del rumen y se lavaron hasta lograr cristalinidad en el agua. Se colocaron en la estufa a 65 °C durante 48 h. Luego, se realizaron los análisis bromatológicos para determinar la cinética de degradación de la MS, MO y PB en los tiempos descritos.

Se evaluó además, la digestibilidad del FVHM mediante la técnica *in vivo* de recolección total de heces fecales (Bondi *et al.* 1989). El coeficiente de digestibilidad real (CDR) o verdadera se calculó mediante la fórmula siguiente:

CDR (%) = $AI - (MF - PE) / AI \times 100$, donde:

AI= alimento ingerido

MF= material fecal

PE= productos endógenos

Se introdujeron cuatro caprinos adultos en jaulas metabólicas y se les colocó el arnés con dispositivos para la recolección de heces. Se adaptaron al consumo voluntario del FVHM durante 14 d. Luego, se recolectaron las heces durante los siete días posteriores. Se enviaron las muestras al laboratorio y se determinó la digestibilidad fecal de la MS, MO y PB.

Los resultados de los análisis se procesaron estadísticamente con el modelo general lineal (GLM) del SPSS 21.0, para evaluar el efecto de las soluciones nutritivas y el efecto animal en la degradabilidad y digestibilidad del FVHM producido con diferentes soluciones nutritivas.

Resultados y Discusión

Los parámetros de degradación ruminal (tabla 1) evidenciaron niveles altos de degradabilidad ruminal de la MS, MO y PB. Los resultados mostraron que no hay diferencias ($P < 0.05$) en los parámetros de degradabilidad para MS y MO mostrados por los FVHM que se produjeron con diferentes soluciones nutritivas. Los valores obtenidos en esta investigación son diferentes a los encontrados por Herrera *et al.* (2007), quienes evaluaron la degradación ruminal de la MS del FVHM cultivado en sustrato de cascarilla de arroz y suministrado a los animales con todo su contenido (42.2 % a las 48 h), valores muy bajos debido al suministro de lignina de la cascarilla de arroz. Herrera *et al.* (2010) evaluaron la degradabilidad de la MS del FVH de trigo cosechado a los 10 y 12 d y lograron a las 96 h de incubación ruminal valores de 76.5 y 66.8 %, respectivamente, similares a los obtenidos en este trabajo.

En el caso de la degradabilidad de la MO del FVHM, los resultados obtenidos son comparables con los informados por Cerrillo *et al.* (2012), quienes estimaron la degradación ruminal de la MO del FVH de trigo (83.1 y 77.7 %) y avena (71.2 y 69.5 %), cosechados a 10 y 12 d, respectivamente.

En este estudio, al evaluar el efecto de las soluciones nutritivas en los parámetros de degradabilidad de la PB, la fracción “a” y la DER en los FVHM producidos con las

Table 1. Ruminal degradability of organic matter, dry matter and crude protein of domestic goats fed hydroponic fresh forage of maize produced with different nutritive solutions in San Marcos, canton and province of Santa Elena, Ecuador

Parameters ¹	Nutritive solutions						P value ²	
	Hoagland		FAO		La Molina		HFF	A
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Ruminal DM degradability (g/100 g)								
a	47.2	1.95	47.2	2.45	50.6	4.14	0.347	0.865
b	63.3	1.41	60.6	4.85	57.4	8.76	0.517	0.913
kf (h)	0.03	0.001	0.03	0.002	0.03	0.007	0.657	0.533
ERD	77.5	0.79	76.8	0.32	79.0	2.65	0.287	0.713
R ²	0.975	0.967	0.937	-				
Ruminal OM degradability (g/100 g)								
a	47.1	2.35	48.7	2.85	48.9	1.92	0.430	0.148
b	61.8	0.96	61.2	2.22	62.5	3.22	0.720	0.424
kf (h)	0.03	0.003	0.03	0.002	0.03	0.002	0.053	0.169
ERD	77.6	0.78	77.7	0.91	77.5	1.35	0.941	0.443
R ²	0.978	0.969	0.938	-				
Ruminal CP degradability (g/100 g)								
a	58.0	0.61	52.5	2.00	49.3	6.08	0.043	0.473
b	29.5	5.58	38.6	3.67	36.7	11.42	0.233	0.283
kf (h)	0.06	0.028	0.04	0.016	0.04	0.027	0.526	0.625
ERD	76.5	1.86	74.7	2.56	67.0	2.17	0.002	0.515
R ²	0.964	0.989	0.947	-				

¹SD: standard deviation

a,b, kf: parameters of ruminal degradability

“a” soluble fraction

“b” potentially degradable fraction in the rumen

kf: rate of degradation

ERD: effective rumen degradation

²It refers to the statistical significance according to the general linear model with HFF: effect of the type of nutritive solutions

A: animal as random effect

Hoagland solutions.

Regarding the fecal digestibility of DM, OM and CP there were differences ($P < 0.01$) between the HFFM produced with different solutions. Hoagland and FAO solutions were those of best results (table 2). In that respect, Herrera *et al.* (2007) assessed the DM digestibility of the HFFM cultivated in rice husk substrate and supplied completely to the animals. Digestibility values in this case were of 55.9%. It is assumed that due to the high lignin content of the rice husks the forage is poorly digestible.

It is concluded that HFFM cultivated with three nutritive solutions showed high levels of degradability and fecal digestibility of DM, OM and CP in goats. However, fecal digestibility results of the studied nutrients reveal that Hoagland and FAO solutions are the most promissory for producing HFFM in the studied region.

soluciones FAO y Hoagland fueron superiores ($P < 0.05$) que en el FVHM proveniente de la solución La Molina. Herrera *et al.* (2010), al estudiar la degradación ruminal de la PB del FVH de trigo cosechado a los 10 y 12 d informaron valores de 79.0 y 76.0 % respectivamente, similares a los encontrados en los FVHM producidos con las soluciones FAO y Hoagland.

En cuanto a la digestibilidad fecal de la MS, MO y PB, hubo diferencias ($P < 0.01$) entre los FVHM producidos con diferentes soluciones. Las soluciones Hoagland y FAO fueron las de mejores resultados (tabla 2). Al respecto, Herrera *et al.* (2007) evaluaron la digestibilidad de la MS del FVHM que se cultivó en sustrato de cascarilla de arroz y se suministró en todo su contenido a los animales. En este caso la digestibilidad llegó a valores de 55.9%. Se asume que por el alto contenido de lignina de la cascarilla de arroz, el forraje resulta poco digestible.

Se concluye que el FVHM cultivado con tres soluciones nutritivas mostró niveles altos de degradabilidad y digestibilidad fecal de la MS, MO y PB

Table 2. Fecal digestibility of the organic matter (dOM), dry matter (dDM) and crude protein (DCP) of domestic goats fed hydroponic fresh forage of maize, produced with different nutritive solutions in San Marcos, canton and province of Santa Elena, Ecuador

Parameters ¹	Soluciones nutritivas						P value ²	
	Hoagland		FAO		La Molina		HFF	A
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
dDM	93.1 ^a	0.17	85.4 ^a	2.26	78.7 ^b	3.30	0.001	0.620
dOM	84.7 ^a	1.05	85.0 ^a	0.20	81.2 ^b	0.95	0.001	0.584
dCP	80.3 ^a	0.22	80.1 ^a	1.02	77.7 ^b	1.26	0.008	0.219

^{ab}Letters with different superscripts in the means of the same row are statistically different, Tukey ($P < 0.05$)

¹SD: standard deviation

²It refers to the statistical significance according to the general linear model with HFF: effect of the type of nutritive solutions

A: animal a random effect

en caprinos. No obstante, los resultados de digestibilidad fecal de los nutrientes estudiados muestran que las soluciones Hoagland y FAO son las más promisorias para producir FVHM en la región estudiada.

References

- Bondi, A. A., Sanz, A. R. & Drori, D. 1989. Nutrición animal. España: Acribia, 546 p., ISBN: 978-84-200-0662-8, Available: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=159168>>, [Consulted: February 12, 2016].
- Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S., Rivera, A. J. A., Guerrero, C. M., Ramírez, L. R. G. & Barragán, H. B. 2012. “Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena”. *Interciencia*, 37 (12):, 906–913, ISSN: 0378-1844.
- Herrera, A. A. M., Depablos, A. L. A., López, M. R., Benezra, S. M. A. & Ríos, de Á. L. 2007. “Degradabilidad y digestibilidad de la materia seca del forraje Hidropónico de Maíz (*Zea mays*). Respuesta animal en términos de consumo y ganancia de peso”. *Revista Científica*, 17 (4): 372–379, ISSN: 0798-2259.
- Herrera, T. E., Cerrillo, S. M. A., Juárez, R. A. S., Murillo, O. M., Rios, R. F. G., Reyes, E. O. & Bernal, B. H. 2010. “Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo”. *Interciencia*, 35 (4), pp. 284–289, ISSN: 0378-1844.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. 2012. “Información hidrológica”. *Anuario Meteorológico*, (52), p. 287, ISSN: 1390-3578.
- Ørskov, E. R. & McDonald, I. 1979. “The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage”. *The Journal of Agricultural Science*, 92 (02): 499–503, ISSN: 1469-5146, DOI: 10.1017/S0021859600063048.

Received: July 20, 2016