

# EFECTO DEL TIEMPO DE COSECHA SOBRE EL VALOR PROTEICO Y ENERGÉTICO DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO

Esperanza Herrera-Torres, María Andrea Cerrillo-Soto, Arturo Saúl Juárez-Reyes, Manuel Murillo-Ortiz, Francisco Gerardo Ríos-Rincón, Osvaldo Reyes-Estrada y Hugo Bernal-Barragán

## RESUMEN

Se evaluó el efecto del tiempo de cosecha (8, 10 y 12 días después de la germinación) en el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico (FVH) de trigo, a partir de determinaciones de proteína cruda (PC), materia seca (MS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA), digestibilidad de materia orgánica (DMO), parámetros de degradabilidad *in situ* de la MS y PC, así como de la producción de gas *in vitro*. Los datos se analizaron con un diseño completamente al azar. Para detectar diferencias entre medias se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey. La mayor concentración de PC se observó el día 10 (21,49%), mientras que las concentraciones de FDN y FDA incrementaron ( $p < 0,05$ ) conforme avanzó el día de cosecha. La degra-

dación de la fracción soluble de la MS (**a**) fue mayor el día 8 y disminuyó al aumentar el día de la cosecha, mientras que la fracción lentamente degradable (**b**) aumentó. Igual comportamiento se registró en los parámetros de degradación de la proteína. La DMO fue mayor el día 10 ( $p < 0,05$ ). La producción de las fracciones **a** y **b** fueron diferentes ( $p < 0,05$ ) entre los días de cosecha, mientras que la tasa constante de producción de gas y el contenido de energía metabolizable fueron mayores el día 10. El FVH de trigo a los 10 días después de germinado presenta mayor contenido de proteína y energía que a los 8 y 12 días, lo cual favorece su empleo en la nutrición de rumiantes.

## Introducción

La producción de forraje verde hidropónico (FVH) representa una alternativa importante para afrontar las dificultades de alimentación en rumiantes en zonas áridas y semiáridas (López *et al.*, 2009). El FVH es producto de la germinación de semillas, principalmente de gramíneas, para producir biomasa vegetal de alta calidad nutricional, en periodos de 9-20 días. Este proceso permite producir forraje de forma intensiva en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, si se establecen las condiciones apropiadas (Carballido, 2007). Los animales consu-

men las raíces, tallos, hojas y restos de semillas del FVH y obtienen proteína, energía, vitaminas y minerales. La eficiencia en la producción de FVH depende de factores tales como la densidad de siembra, tipo de semilla y día de cosecha (Henríquez, 2000), los cuales influyen en su valor nutritivo. La combinación de análisis químicos convencionales (composición química) y no convencionales (estimaciones de la cinética ruminal a partir de estudios *in vitro*), ofrece una buena perspectiva para determinar el momento óptimo de cosecha del FVH. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del día de cosecha sobre el valor

proteico y energético del FVH de trigo.

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El trabajo de laboratorio se realizó en la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. El FVH de trigo se cultivó en un invernadero tipo túnel con un área de 16 6m (96m<sup>2</sup>) cubierto con malla-sombra, ubicado en el Rancho Huerta Grande, Municipio de Nombre de Dios, Durango, México (23°51'N, 104°15'O, 1730msnm). La temperatura interna del invernadero fue

de 25°C. El clima se clasifica como BS<sub>k</sub> con una precipitación media anual de 700mm y una temperatura media anual de 16°C (INEGI, 2004).

### Producción de FVH y muestreo

La semilla de trigo (*Triticum aestivum* L) se lavó tres veces con agua y se desinfectó con una solución 5% de hipoclorito de sodio. La semilla permaneció en remojo en un recipiente plástico por 24h, protegida de la luz solar. Se eliminó el agua de remojo y la semilla fue transferida a un recipiente plástico perforado donde permaneció por otras 24h. En la mañana siguiente

## PALABRAS CLAVE / Energía / Forraje Verde Hidropónico / Tiempo de Cosecha / Valor Proteico /

Recibido: 15/12/2009. Modificado: 03/03/2010. Aceptado: 06/03/2010.

**Esperanza Herrera-Torres.** Ingeniero Bioquímico en Alimentos, Instituto Tecnológico de Durango, México. Maestro en Ciencias y alumna del Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), México. Auxiliar de investigador, UJED, México. Dirección: Carretera Mezquitlan km. 11.5, Durango, Dgo. México. e-mail: heto99@yahoo.com.mx

**María Andrea Cerrillo-Soto.** Ph.D. en Nutrición Animal, Iowa State University, EEUU. Profesor, UJED, México

**Arturo Saúl Juárez-Reyes.** Doctor, Université Pierre et Marie Curie, France. Profesor, UJED, México.

**Manuel Murillo-Ortiz.** Médico Veterinario Zootecnista y Maestro en Ciencias, UNED, México. Doctor en Filosofía, Universidad Autónoma de Chapingo (UACH), México.

Profesor Investigador, UJED, México.

**Francisco Gerardo Ríos-Rincón.** Médico Veterinario Zootecnista, UJED, México. Maestro en Ciencias y Doctor en Filosofía (UACH), México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Sinaloa, México.

**Osvaldo Reyes-Estrada.** Médico Veterinario Zootecnista, Maestro en Ciencias y alumno de Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Forestales, UJED,

México. Auxiliar de Investigación, UJED, México.

**Hugo Bernal-Barragán.** D.Sc. Agr. en Nutrición y Fisiología Animal, Universitaet Honhenheim, Alemania. Profesor, Universidad Autónoma de Nuevo León, México.

## EFFECT OF HARVEST TIME ON THE PROTEIN AND ENERGY VALUE OF WHEAT HYDROPONIC GREEN FODDER

Esperanza Herrera-Torres, María Andrea Cerrillo-Soto, Arturo Saúl Juárez-Reyes, Manuel Murillo-Ortiz, Francisco Gerardo Rios-Rincón, Osvaldo Reyes-Estrada and Hugo Bernal-Barragán

### SUMMARY

The effect of harvest time (8, 10 and 12 days after germination) on the protein and energy value of wheat hydroponic green fodder was evaluated on the base of crude protein (CP), dry matter (DM), neutral detergent fiber (NDF), and acid detergent fiber (ADF) content, and of organic matter digestibility (OMD), in situ dry matter, crude protein degradability, and in vitro gas production estimations. Data were analyzed according to a completely randomized design. Mean differences were detected using Tukey's test. The highest CP concentrations (21,4%;  $p < 0,05$ ) were obtained 10 days after germination, whereas NDF and ADF values were different ( $p < 0,05$ ) among harvesting times. Degradation of the soluble fraction (a) of DM was higher at day 8 and

decreased at longer harvest times. On the contrary, the slowly degradable fraction (b) increased with plant maturity. This same pattern was registered with the CP degradation parameters. The highest OMD values were registered at 10 days after germination ( $p < 0,05$ ). Gas production from the a and b fractions of the feed was different among harvesting days ( $p < 0,05$ ), whereas the constant rate of gas production c and the metabolizable energy content were superior at 10 days after germination. The wheat hydroponic green fodder harvested at 10 days after germination had superior protein and energy values compared to their counterparts harvested 8 and 10 days after germination, which favors its utilization in ruminant nutrition.

## EFEITO DA ÉPOCA DE COLHEITA NO VALOR DA ENERGIA E PROTEÍNA DA FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA

Esperanza Herrera-Torres, María Andrea Cerrillo-Soto, Arturo Saúl Juárez-Reyes, Manuel Murillo-Ortiz, Francisco Gerardo Rios-Rincón, Osvaldo Reyes-Estrada e Hugo Bernal-Barragán

### RESUMO

Avalio-se o efeito da época de colheita (8, 10 e 12 dias após a germinação) no valor da energia e proteína da forragem verde hidropônica (FVH) de trigo com base no conteúdo de proteína bruta (PB), matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), digestibilidade da matéria orgânica (DMO), parâmetros de degradabilidade in situ da MS e PB, bem como da produção de gás ( $CO_2$ ) in vitro. Os dados foram analisados segundo um delineamento inteiramente casualizado. O teste de Tukey foi utilizado para estabelecer as diferenças entre as médias. A maior concentração de PB (21,4%) foi observada no dia 10 após a germinação, enquanto que as concentrações de FDN e FDA aumentaram ( $p < 0,05$ ) conforme avança a data de colheita. A degradação da fração

solúvel da MS (a) foi maior no dia 8 e diminuiu nas colheitas posteriores, enquanto que a fração lentamente degradável (b) aumentou com a maturação da planta. Esse mesmo padrão foi registrado nos parâmetros de degradação da PB. A DMO foi maior ( $p < 0,05$ ) no dia 10 dias após a germinação. A produção de gás das duas frações foi diferente ( $p < 0,05$ ) entre os dias de colheita, enquanto que a taxa constante de produção de gás e o conteúdo de energia metabolizável foram superiores no dia 10 da germinação. Conclui-se que a FVH do trigo colhida aos 10 dias após a germinação apresenta um maior conteúdo de proteína e energia em comparação a colheita realizada nos dias 8 e 12, o que favorece sua utilização na alimentação de ruminantes.

se pesaron 800g de semilla germinada y se depositaron manualmente en charolas de 40 x 40cm; la semilla se extendió tratando de cubrir de manera uniforme el área de la charola e inmediatamente se introdujeron al invernadero. Después de la siembra se realizaron cinco riegos con duración de 2min, a las 8:00, 12:00, 14:00, 18:00 y 20:00.

Se colectaron muestras del forraje a los 8, 10, y 12 días después de la germinación, durante noviembre 2008. La planta completa de tres charolas correspondientes a cada uno de los días de muestreo fue seleccionada aleatoriamente, se secaron a 55°C hasta

obtener un peso constante y luego se molieron en molino Willey (malla de 1 y 2mm) para su posterior análisis.

### Análisis químicos

Se determinó materia seca (MS), proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) según AOAC (1994), y el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) siguiendo los procedimientos de Van Soest *et al.* (1991).

### Degradabilidad in situ de la MS y PC

Se incubaron ~5g de muestra en bolsas de nylon (5 10,

poro de 50µm; Ankom Technology, Inc. Macedon, NY, EEUU) en la región ventral del rumen de seis ovinos alimentados a base de heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Las bolsas se retiraron a los tiempos 0, 3, 6, 12, 24, 48, 72 y 96h y se lavaron con agua destilada varias veces en bolsas de polietileno hasta observar el agua clara (~5 l por 3 bolsas; Juárez *et al.*, 2004). De los residuos de las diferentes horas de incubación se tomaron sub-muestras de 100mg para estimar la degradabilidad de la PC. Con el modelo propuesto por Orskov y McDonald (1979) se

estimaron los parámetros de la fracción soluble (a); fracción potencialmente degradable (b); tasa constante de degradación (c) y degradabilidad efectiva (DE) de la MS y la PC.

### Digestibilidad verdadera in vitro de la MO (DVIVMO)

Se depositaron 250mg de muestra en bolsas filtro de poliéster multicapa (Ankom Technology, Inc., Macedon, NY, EEUU) y se incubaron a 39°C por 48h de acuerdo con el procedimiento Daisy<sup>II</sup> (Ankom, 2008). Como inóculo se utilizó una mezcla de solución buffer:liquido ruminal.

TABLA I  
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL FVH DE TRIGO  
A DIFERENTES DÍAS DE COSECHA

Fracción	Días de cosecha			eem
	8	10	12	
Materia seca (%)	91,4 b	90,5 c	93,7 a	0,61
Proteína cruda (%)	13,4 b	21,5 a	12,6 c	0,18
Fibra detergente neutra (%)	28,1 c	35,8 b	46,6 a	0,28
Fibra detergente ácida (%)	11,0 c	15,2 b	21,2 a	0,18

abc: medias dentro de las hileras con diferente literal son diferentes ( $p < 0,05$ ); eem: error estándar de la diferencia entre medias.

#### Producción de gas *in vitro*

Se incubaron 200mg de muestra en jeringas calibradas de vidrio de 100ml (Häberle Labortechnik, Alemania). Como inóculo se utilizaron 30ml de una mezcla de solución buffer: líquido ruminal, éste último obtenido de tres ovinos alimentados como se mencionó anteriormente. La producción de gas se registró a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96h (Menke *et al.*, 1979). El contenido de energía metabolizable (EM; Mcal/Kg MS) estimado a partir de la producción de gas *in vitro* se calculó como  $EM = (2,20 + 0,136PG_{24H} + 0,057PC + 0,0029EE^2) / 4,184$  (Grings *et al.*, 2005). Los datos de producción de gas *in vitro* y degradabilidad *in situ* se ajustaron al modelo  $Y = a + b \times (1 - e^{-ct})$ , donde Y: producción de gas a un tiempo t, a: gas producido a partir de la fracción soluble del alimento, b: gas producido a partir de la fracción lentamente degradable, y c: tasa constante de producción de gas.

#### Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con 3 tratamientos y 3 repeticiones. Los valores obtenidos se sometieron a análisis de varianza. Para detectar diferencias entre medias se utilizó la prueba de rango múltiple de Tukey (SAS, 2003).

#### Resultados y Discusión

##### Composición química

Se registraron diferencias ( $p < 0,05$ ) en los componen-

tes químicos estudiados entre los días de muestreo (Tabla I). La mayor concentración de PC se observó el día 10 (21,5%), lo cual coincide con los resultados reportados por Müller *et al.* (2006a) en FVH de trigo producido aplicando solución nutritiva (24,9%). Por el contrario, Carballido (2000) indica concentraciones menores (18,4%) al mismo día de cosecha en FVH de maíz. Las proteínas de las plantas se clasifican en proteínas de reserva y proteínas de las hojas y los tallos. (Südekum *et al.*, 1991) y juegan un papel importante en el crecimiento de los forrajes a través de la acción enzimática de la ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa y de la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico (Jarrige *et al.*, 1995). Lo anterior puede atribuirse a las mayores concentraciones de PC en muestras de forraje cosechado el día 10 (Tabla I). La disminución en el contenido de PC al madurar la planta es consecuencia del desarrollo de órganos estructurales como tallos y pecíolos, así como también del desplazamiento del N a las partes jóvenes, disminuyendo la fracción de biomasa activa lo que promueve la dilución del N de la planta (Taize y Zerge, 2004; Müller *et al.*, 2006a). Las concentraciones de PC obtenidas en el presente estudio fueron superiores a las reportadas por Espinoza *et al.* (2004) en FVH de maíz (19,4%) y por Vargas (2008) en muestras de FVH de sorgo (10,4%) y de arroz (7,9%). Forrajes con contenidos de PC  $< 7\%$  comprometerían el rendimiento de la microbiota ruminal (Van Soest, 1982), de

manera que la utilización del FVH de trigo como suplemento proteico puede considerarse como una buena opción para incrementar la productividad del rebaño.

La concentraciones de FDN y FDA fueron significativamente diferentes entre los días de cosecha ( $p < 0,05$ ). Se registraron incrementos en el contenido de FDN al avanzar el periodo de muestreo, como efecto del proceso de maduración de la planta, lo cual implica un engrosamiento de la pared celular resultando en una disminución de los nutrientes disponibles para los rumiantes (Minson, 1990). La pared celular de las plantas es la fracción insoluble del forraje después de exponerlo al tratamiento con solución detergente neutro. Esta fracción contiene celulosa, hemicelulosa, sílice, un poco de proteína y lignina (Van Soest *et al.*, 1991). La FDN puede representar hasta dos terceras partes de la MS de los forrajes (Jarrige, 1988). De acuerdo con Van Soest (1982), los forrajes con un contenido de FDN  $< 40\%$  pueden con-

siderarse como de buena calidad, mientras que aquellos con FDN  $> 60\%$ , pudieran interferir con la digestión y el consumo. Por consiguiente, los niveles obtenidos en este estudio (28,1-46,6%; Tabla I) indican valores nutritivos adecuados que favorecen el desempeño productivo del animal.

Las concentraciones de FDA aumentaron en un 93% del día 8 al 12 después de la germinación. Los valores de FDA obtenidos fueron menores a los reportados por Müller *et al.* (2006a) en FVH de trigo a los 10 días de cosecha (23,7%). Mertens (1994) indica que la fracción de FDA en los forrajes representa la cantidad de fibra indigestible y que valores  $\sim 30\%$  favorecerían el consumo de MS.

#### Degradabilidad ruminal de la MS y la PC

Se registraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los parámetros de degradabilidad *in situ* de la MS en los días de cosecha estudiados (Tabla II). La MS digerida proveniente de la fracción soluble del alimento (a) fue mayor a los 8 días de cosecha (69,15%) y disminuye al aumentar el día de la cose-

TABLA II  
PARÁMETROS DE DEGRADABILIDAD DE LA MATERIA SECA Y DE LA PROTEÍNA Y DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL FVH DE TRIGO, A DIFERENTES DÍAS DE COSECHA

Fracción	Días de cosecha			eem
	8	10	12	
DMS				
a (%)	69,1 a	56,2 b	34,8 c	1,8
b (%)	23,2 c	30,4 b	48,6 a	1,8
c (%/h)	0,09 a	0,04 b	0,04 b	0,01
DE (%)	87,2 a	76,5 b	66,8 c	1,0
DPC				
a (%)	67,7 a	62,5 a	59,4 a	0,5
b (%)	25,6 b	33,1 a	33,1 a	0,4
c (%/h)	0,06 b	0,08 a	0,05 c	0,03
DE (%)	80,5 a	79,0 a	76,0 a	3,6
DVIVMO (%)	84,2 a	81,5 a	76,9 b	1,102

abc: medias dentro de las hileras con diferente literal son diferentes ( $p < 0,05$ ), a: fracción soluble rápidamente degradable, b: fracción lentamente degradable, c: tasa constante de degradación de la materia seca; DMS: degradabilidad de la materia seca, DPC: degradabilidad de la proteína cruda, DVIVMO: Digestibilidad verdadera *in vitro* de la materia orgánica., DE: degradabilidad efectiva, eem: error estándar de la diferencia entre medias.

cha. La fracción **a** del forraje representa los azúcares simples, carbohidratos solubles y fracciones proteicas simples (aminoácidos, nitratos, nitrógeno no proteico y amidas).

Los compuestos solubles que constituyen la fracción **a** juegan un papel importante en los estadios tempranos de la degradación de forraje, ya que al ser consumido por el ganado, éstos favorecen el crecimiento óptimo de los microorganismos ruminales (Dhanao *et al.*, 1999). En términos de la fracción soluble (**a**) del FVH de trigo, se puede considerar que los altos niveles obtenidos en el presente estudio superarían la capacidad de captación de estos compuestos por parte de la microbiota ruminal y eventualmente afectarían desfavorablemente su utilización (AFRC, 1993).

La degradación de la materia seca de la fracción lentamente degradable (**b**) registró diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) entre los días de muestreo. La fracción **b** está formada por compuestos complejos (celulosa y hemicelulosa, principalmente) cuya degradación es limitada por su relación con compuestos fenólicos como la lignina (Jung y Casler, 1991). Herrera *et al.*, (2007) evaluaron la degradabilidad de la MS del FVH de maíz a las 48h, la cual fue menor (42,2%) a la obtenida en el presente estudio (66,8%) en el forraje cosechado a los 12 días después de la germinación.

La tasa constante de degradación de la materia seca (**c**) no presentó diferencias significativas entre días de cosecha ( $p > 0,05$ ). La tasa de degradación puede definirse como la fracción del material digestible que desaparece por hora (Mertens, 2005).

Se ha reportado correlaciones negativas entre la degradabilidad y el contenido de FDN y de FDA como consecuencia de una menor digestibilidad y velocidad de degradación que presenta la pared celular (Van Soest, 1994). Por otra parte, debido

a la relación positiva existente entre el contenido de PC y los constituyentes del contenido celular considerados altamente digestibles (Manso *et al.*, 1999), las muestras con mayor contenido de proteína presentaron una mayor degradabilidad. La DE de la MS del FVH de trigo fue diferente entre los días de cosecha ( $p < 0,05$ ), siendo 23,3% mayor el día 8 con respecto al del día 12. La DE es afectada por el contenido de FDN y, por lo tanto, cuando aumenta el porcentaje de la fracción **b** la DE disminuye. De acuerdo a los valores de degradabilidad obtenidos en este estudio se puede incluir al FVH de trigo dentro de los forrajes de buena calidad.

La degradabilidad de la fracción soluble (**a**) de la proteína fue similar entre los días de cosecha ( $p > 0,05$ ). El FVH de trigo presentó fracciones solubles de la PC altas (promedio de 63,2%), las cuales son similares a otros forrajes tales como los de leguminosas y henos, en donde la proteína soluble constituye una parte importante de la proteína total (Sniffen *et al.*, 1992). Salcedo (2000) reportó un comportamiento similar en la fracción rápidamente degradable (**a**), la cual disminuye (43,7 a 39,4%) conforme avanza el estado fenológico del forraje consumido por vacas en pastoreo.

La degradabilidad de la PC de la fracción lentamente degradable (**b**) de la PC fue menor en el día 8 de cosecha ( $P < 0,05$ ). Este resultado no coincide con lo encontrado por Salcedo (2000), quien reportó que la fracción **b** disminuye a través de los meses del año, mientras que en el presente estudio, esta fracción aumenta con el transcurso del tiempo de cosecha, comportamiento que podría deberse a la falta de nutrientes en el agua de riego del FVH, ya que a partir del día 10 se incrementa la fracción potencialmente degradable.

La tasa constante de degradación (**c**) de la proteína fue estadísticamente dife-

rente ( $p > 0,05$ ) entre los días de cosecha. El mayor valor de **c** se presentó el día 10 (0,08%/h). Van Soest (1982) señala un descenso de proteína soluble con la madurez de la planta, originado por un crecimiento de la pared celular. La DE de la PC no varió significativamente entre los días de cosecha ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, se observó una tendencia a disminuir la DE de la PC conforme avanzó el día de la cosecha. Esta reducción en la degradación ruminal de compuestos nitrogenados puede atribuirse al incremento de las estructuras

lidad (Salcedo, 2000), propiedad de los forrajes que puede de igual manera atribuirse al FVH de trigo.

La DVIVMO disminuyó al avanzar el tiempo de cosecha ( $p < 0,05$ ). Esto coincide con lo reportado por Tarrillo (1999) y Carballido (2007) en muestras de FVH de cebada y maíz, respectivamente, donde los valores de digestibilidad decrecen a medida que madura la planta.

La digestibilidad es uno de los aspectos fundamentales que define la calidad del forraje (Müller *et al.*, 2006b). Los valores de DVI-

TABLA III  
PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN DE GAS *IN VITRO*  
Y CONTENIDO DE EM DEL FVH DE TRIGO,  
A DIFERENTES DÍAS DE COSECHA

Fracción	Días de cosecha			eem
	8	10	12	
<b>a</b> (ml/200mg)	10,4 a	7,4 b	6,5 c	1,3
<b>b</b> (ml/200mg)	82,7 a	79,5 a	70,9 b	0,7
<b>a+b</b> (ml)	93,2 a	87,0 ab	77,5 c	0,05
<b>c</b> (%/h)	0,06 b	0,08 a	0,06 b	0,7
EM (Mcal/kg MS)	3,1 a	3,2 a	2,7 b	0,04

abc: medias dentro de las hileras con diferente literal son diferentes ( $P < 0,05$ ), **a**: gas producido por la fracción rápidamente degradable, **b**: gas producido por la fracción lentamente degradable, **a+b**: producción potencial de gas, **c**: tasa constante de producción de gas, EM: energía metabolizable, eem: error estándar de la diferencia entre medias.

de sostén y a la reducción de tejidos con una mayor actividad metabólica y ricos en enzimas, como lo son las proteínas solubles (Mangan, 1982). Además, este proceso limita el acceso de las proteasas al citoplasma, que es donde se encuentra la mayor parte de la proteína potencialmente degradable (Nocek y Grant, 1987). La degradabilidad de la proteína de los forrajes depende de las formas proteínicas de reserva así como de su localización en el interior de las paredes celulares (Tamminga, 1983), y de las características físicas y químicas del forraje (Ellis *et al.*, 1988). Además, el estado fenológico de los pastos incide en la degradación ruminal. Si se considera que las características nutricionales del pasto varían a lo largo de su ciclo productivo, se dificulta la predicción de la degradabi-

VMO obtenidos en el FVH de trigo a los 12 días de cosecha son similares a los reportados por Wilman y Adesogan (2000) en hojas de *rye grass* y hojas de alfalfa; sin embargo, el FVH de trigo en este estudio presentó valores substancialmente superiores a los 8, 10 y 12 días de cosecha en comparación a los reportados por López *et al.* (2009) en FVH de maíz cosechado a los 14 días (66,6%). Por su parte, Herrera *et al.* (2007) encontraron valores de digestibilidad inferiores (55%) en FVH de maíz cosechado en una cama de cascarilla de arroz, la cual probablemente influyó en la baja digestibilidad obtenida. Las variaciones en digestibilidad pueden deberse a las propiedades intrínsecas de la pared celular de los forrajes evaluados, lo que finalmente define su utiliza-

ción por el animal (Buxton y Mertens, 1995).

La fermentación microbiana de los compuestos orgánicos produce gas como uno de los productos finales de fermentación, hecho que permite reconocer la estrecha relación entre la degradabilidad de la materia orgánica y el volumen de gas producido (Blümmel y Orskov, 1993). El gas producido por la fracción soluble (**a**) disminuyó en un 37,5% al avanzar la fecha de colecta (Tabla III). Kamalak (2006) indica que la producción de gas que se origina de la fracción soluble del alimento se ve afectada negativamente por la madurez de las plantas. El gas producido por la fracción potencialmente degradable (**b**) del alimento fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ), registrándose los valores más altos en etapas tempranas del crecimiento de la planta. El mismo comportamiento se observó en la producción potencial de gas. De acuerdo con Juárez *et al.* (2009), una mayor producción de gas en etapas tempranas del crecimiento de la planta podría resultar en una mayor utilización de su contenido energético por parte de los rumiantes.

La tasa constante de producción de gas (**c**) fue superior a los 10 días después de la germinación ( $p < 0,05$ ). Las estimaciones de la producción de gas *in vitro* proporcionan información relevante sobre la cinética de la fermentación de los alimentos consumidos por rumiantes, la cual depende del tiempo de residencia del alimento en el rumen y de su tasa de degradación. En particular, la tasa constante de producción **c** permite describir el proceso de digestión ruminal y caracterizar los forrajes por su disponibilidad de nutrientes (Khazaal *et al.*, 1995). Los resultados obtenidos en el presente estudio son similares a los reportados por Guerrero (2009) en especies herbáceas nativas del norte de México (5-8%/h), ade-

más de encontrarse dentro del intervalo reportado por Blümmel y Becker (1997) en un estudio realizado con una amplia variedad de forrajes.

El contenido de energía metabolizable fue significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre días de cosecha, habiéndose calculado el valor más alto para esta variable (3,2Mcal·kg<sup>-1</sup> MS) en el día 10. Carballido (2007), reporta valores similares en muestras de FVH de maíz. Los carbohidratos que se localizan en el contenido celular de los forrajes son utilizados de forma inmediata por la microbiota ruminal. Los altos valores de EM en muestras de FVH en etapas tempranas de cosecha podrían explicarse por altos contenidos de este tipo de compuestos (Jarrige, 1988). Sin embargo, estas características disminuyen conforme el ciclo vegetativo de la planta avanza, ya que las células vegetales pierden su contenido celular y aumentan las proporciones de tejidos más lignificados. Esta última característica podría ser la causante de los valores más bajos de EM en el FVH a los 12 días después de la germinación.

### Conclusiones

En base a las características particulares del presente estudio, se concluye que estimaciones relacionadas con las características fermentativas y energéticas del FVH a 10 días de cosecha le confieren a éste un valor nutritivo superior, lo cual podría traducirse en mejores rendimientos productivos al utilizarlo como suplemento en la alimentación animal.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa de Mejoramiento del Profesorado-SEP (México), por el apoyo financiero al proyecto "Impacto Productivo y Económico de Subproductos Agroindustriales y Forrajes No Convencionales, en la Alimentación de Rumiantes".

### REFERENCIAS

- AFRC(1993) Energy and protein requirements of ruminants. En Alderman G, Cottrill BR (Eds.) *An Advisory Manual Prepared by AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients*. CAB. Wallingford, RU. pp. 134-139.
- Ankom Technology (2008) Procedures for fiber and *in vitro* analysis. [www.ankom.com](http://www.ankom.com)
- AOAC (1994) *Official Methods of Analysis*. Vol II 16<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, MD; EEUU. Ch. 32, pp. 24-32.
- Blümmel M, Orskov ER (1993) Comparison of *in vitro* gas production and nylon bag degradability of roughages in prediction of feed intake in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40: 109-119.
- Blümmel M, Becker K (1997) The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fibres as described by *in vitro* gas production and their relationship to voluntary feed intake. *Brit. J. Nutr.* 77: 757-768.
- Buxton DR, Mertens DR (1995) Quality-related characteristics of forages. En Barnes RF, Miller DA, Nelson CJ (Eds) *Forages*. Vol. II. *The Science of Grassland Agriculture*. Iowa State University Press. Ames, IO, EEUU. pp. 83-96.
- Carballido MC (2000) *Manual de Procedimientos para Germinar Granos para Alimentación Animal*. [www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico](http://www.usuarios.lycos.es/forrajehidroponico)
- Carballido CCD (2007) *Forraje Verde Hidropónico*. Artículo Silvoagropecuarios. [www.usuarios.lycos.es/forrajeverdehidroponico](http://www.usuarios.lycos.es/forrajeverdehidroponico)
- Dhanao 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.
- Ellis WC, Wylie MJ, Matis JH (1988) Dietary digestive interactions determining the feeding value of forages and roughages. En Orskov ER (Ed.) *Feed Science*. Elsevier. Amsterdam, Holanda. pp. 177-225.
- Espinoza F, Argenti P, Urdaneta A, Fuentes J, Palma C (2004) Uso del forraje de maíz (*Zea mays*) hidropónico en la alimentación de toretes mestizos. *Zootec. Trop.* 22: 303-315.
- Grings EE, Blümmel M, Südekum KH (2005) Methodological considerations in using gas production techniques for estimating ruminal microbial efficiencies for silage-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 123/124: 527-545.
- Guerrero CM (2009) *Valor Nutricional de Forrajes Nativos del Norte de México*. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 174 pp.
- Henriquez ER (2000) Manual de producao-forragem hidropónica de milho. FAZU 2000. Uberaba, Brasil. p 15.
- Herrera AMA, Depablos ALA, López MR, Benezra SMA, Ríos AL (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. *Rev. Cient.* 17: 372-379.
- INEGI (2004) *Cuaderno Estadístico Municipal*. Estado de Durango. México. <http://inegi.org.mx>
- Jarrige R (1988) Ingestion et digestion des aliments. En *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA. Versailles, Francia. 476 pp.
- Jarrige R, Grenet E, Demerquilly C, Besle JM (1995) Les constituents de l'appareil végétatif des plantes fourragères. En Jarrige R, Rockebusch C, Demerquilly C, Journet M (Eds.) *Nutrition des ruminants domestiques. Ingestion et digestion*. INRA. París, Francia. pp. 25-81.
- Juárez RAS, Montoya ER, Névarez CG, Cerrillo SMA, Mould FL (2004) *In situ* degradability of dry matter and neutral-detergent fibre of thorn scrublands forage consumed by goats in the semi-arid region of north México. *Anim. Sci.* 79: 505-511.
- Juárez RAS, Cerrillo SMA, Gutiérrez O E, Romero TEM, Colin NJ, Bernal BH (2009) Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas *in vitro*. *Tec. Pec. Mex.* 47: 55-67.
- Jung HG, Casler MD (1991) Relationship of lignin and esterified phenolics to fermentation of smooth bromegrass fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 32: 63-68.
- Kamalak A (2006) Determination of nutritive value of leaves of a native grown shrub, *Glycyrrhiza glabra L.* using *in vitro* and *in situ* measurements. *Small Rumin. Res.* 64: 268-278.
- Khazaal K, Dentinho MT, Ribeiro JM, Orskov ER (1995) Prediction of apparent digestibility

- and voluntary intake of hays fed to sheep: comparison between using fibre components, *in vitro* digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. *Brit. J. Nutr.* 61: 527-738.
- López AR, Murillo AB, Rodríguez QG (2009) El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado de zonas áridas. *Interciencia* 34: 121-126.
- Mangan JL (1982) The characterization of forage protein. En Thompson DJ, Beever DE, Gunn RG (Eds) *Forage Protein in Ruminant Animal Production*. BSAP. Edinburgo, RU. pp. 25-40.
- Manso AT, Castro MT, Ruiz MA, Rodríguez LG, Falagán PA (1999) Degradabilidad ruminal de comunidades de matorral de zonas semiáridas del sudeste de España en dos razas ovinas (Segureña contra Merina). *Arch. Zootec.* 48: 95-100.
- Menke KH, Raab I, Salewki A, Steingas H, Fritz D, Schneider D (1979) The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feeding stuff from the gas production when they are incubated with rumen licuor *in vitro*. *J. Agric. Sci.* 93: 217-222.
- Mertens DR (1994) Regulation of forage intake. En Fahey GC Jr (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. American Society of Agronomy. Madison, WI, EEUU. pp. 450-493.
- Mertens DR (2005) Rate and extent of digestion. En Dijkstra J, Forbes JM, France J (Eds.) *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CABI. Boca Ratón, FL, EEUU. pp 13-47.
- Minson DI (1990) *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press. San Diego, CA, EEUU. 150 pp.
- Müller L, Manfron PA, Santos OS, Medeiros SLP, Neto NN, Morselli TBGA, Lopez da Luz G, Bandeira AH (2006a) Efecto de soluções nutritivas na produção e qualidade nutricional da forragem hidropónica de trigo (*Triticum aestivum* L). *Zootec. Trop.* 24: 137-152.
- Müller L, Santos O, Manaron PA (2006b) Hydroponic millet forage: production and nourishing quality in different sowing densities and harvest ages. *Ciencia Rural* 34: 1094-1099.
- Nocek JE, Grant AL (1987) Characterization of *in situ* nitrogen and fiber and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *J. Anim. Sci.* 64: 552-564.
- Orskov EV, McDonald Y (1979) The estimation of protein degradable in the rumen from determining the digestibility of feeds in the rumen. *J. Agric. Sci.* 92: 499-503.
- SAS (2003) SAS User's Guide (Release 9.1): SAS Inst. Inc. Cary, NC, EEUU.
- Salcedo G (2000) Degradabilidad ruminal de la hierba en praderas aprovechadas bajo pastoreo rotacional en la zona costera de Cantabria. *Inv. Agr. Prod. San. Anim.* 15: 126-135.
- 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.
- Südekum KH, Taube F, Friedel K (1991) Changes in the contents of crude protein and cell wall carbohydrates and in the nutritive value of lamina, culms+leaf sheaths and ear of winter wheat harvested for whole crop silage as related to phenological development of the crop. *Z. Witschafts. Futter.* 37: 318-313.
- Taize L, Zerge E (2004) *Fisiología Vegetal*. 3ª ed. Artemet. Porto Alegre, Brasil. 720 pp.
- Tammaing S (1983) Recent advances in our knowledge on protein digestion and absorption in ruminants. 4<sup>th</sup> Int. Symp. *Protein Metabolism and Nutrition*. Vol. 1. Les Colloques de INRA, N° 16. Clermont-Ferrand, Francia. pp. 263-287.
- Tarrillo OH (1999) *Utilización del forraje verde hidropónico de cebada, alfalfa en pellets y en heno, como forrajes en la alimentación de terneros Holstein en lactación*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. www.forrajehidropónico.com/art002.htm
- Van Soest PJ (1982) *Nutritional Ecology of Ruminant*. O and B. Corvallis, OR, EEUU. 375 pp.
- Van Soest PJ (1994) *Nutritional Ecology of Ruminant*. 2a ed. Cornell University Press. Ithaca, NY, EEUU. 528 pp.
- Van Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy. Sci.* 74: 35-83.
- Vargas RCF (2008) Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agron. Mesoam.* 19: 233-240.
- Wilman D, Adesogan A (2000) A comparison of filter bag methods with conventional tube methods of determining the *in vitro* digestibility of forages. *Anim. Feed. Sci. Technol.* 84: 33-47.

# INTERCIENCIA

REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE AMÉRICA

**SUSCRIPCIONES EN VENEZUELA 2010**

**INDIVIDUAL**

**Bs.F. 200**

**INSTITUCIONAL**

**Bs.F. 245**

e-mail: [interciencia@ivic.gob.ve](mailto:interciencia@ivic.gob.ve)      [subs@revistainterciencia.org](mailto:subs@revistainterciencia.org)  
[www.interciencia.org](http://www.interciencia.org)