

PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y VALOR NUTRICIONAL DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE TRIGO Y AVENA

María Andrea Cerrillo Soto, Arturo Saúl Juárez Reyes, José Arnulfo Rivera Ahumada, Maribel Guerrero Cervantes, Roque Gonzalo Ramírez Lozano y Hugo Bernal Barragán

RESUMEN

Se estimó la producción de biomasa y el valor nutricional de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena. Se determinó la composición química (MS, PC, EE, FDN, FDA, celulosa, hemicelulosa, lignina), producción de gas *in vitro*, energía metabolizable (EM), degradabilidad *in situ* de MS y PC, digestibilidad verdadera *in vitro* de MO y proteína metabolizable (PM). Los datos se sometieron a análisis de varianza para un diseño factorial 3×2×2 (tres densidades de siembra, dos especies y dos fechas de cosecha). Las medias se separaron con la prueba de Tukey. Promedios generales de las variables evaluadas en ambas especies, como producción de biomasa (13,0kg FVH/m²), contenido de proteína (15,6%, base MS), producción de gas a partir de la fracción lentamente fermentable b (57ml/200mg

MS), tasa constante de producción de gas c (5,8%/h), contenido de EM (2,5Mcal·kg⁻¹ MS) y contenido de proteína metabolizable (73g·kg⁻¹ MS), indican alta disponibilidad de nutrientes y energía. Valores más altos de digestibilidad verdadera de la MO *in vitro* (78%) y de energía metabolizable (2,7Mcal EM/kg MS) del FVH de trigo respecto al de avena (72,8% DVIVMO y 2,2Mcal EM/kg MS, respectivamente) pueden servir para definir la forma de utilizar el FVH de ambas especies en sistemas de alimentación de rumiantes. El costo de producción del FVH de trigo (2,29 pesos mexicanos/kg MS) es 82% del costo de 1kg de semilla de trigo original, lo cual reduce el costo de alimentación de rumiantes. Las variables nutricionales evaluadas indican que el FVH ofrece buena calidad nutritiva para rumiantes.

Introducción

El forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado del proceso de germinación, generalmente de granos de cereales (cebada, trigo, avena, maíz), cuyo forraje se cosecha en períodos de 10 a 12 días (Carballido, 2007). La densidad de siembra es relevante en la producción de biomasa de FVH; sin embargo, la información disponible no es consistente. La FAO (2001) reporta densidades que fluctúan de 2,2 a 3,4kg·m⁻² dependiendo del tipo de semilla utilizada, mientras que Amorim *et al.* (2001) y Müller *et al.* (2006) recomiendan 2kg·m⁻². En general, se reconoce que el empleo de FVH es viable para la alimentación animal dado su alto contenido de proteína cruda (PC), vitaminas y minerales

(Flores *et al.*, 2004), aunque diferentes densidades de siembra y tiempos de cosecha se manifiestan en variaciones en la composición química del forraje obtenido (Müller *et al.*, 2005). El valor nutritivo del FVH también varía con el tipo de cereal utilizado y el tiempo de cosecha (Hidalgo, 1985). Las técnicas de laboratorio para determinar el valor nutricional de los forrajes varían en su grado de precisión, pero las que emplean microorganismos ruminales son las que ofrecen mejores resultados (Carro, 2001). Debido a que con el método de degradabilidad *in situ* las muestras se someten al ambiente ruminal, el proceso es semejante al que sucede en el tracto digestivo de los rumiantes (Ayala *et al.*, 2003); adicionalmente, de acuerdo a Nsahlai *et al.*, (1995); así como Pell *et al.*,

(1997), la producción de gas *in vitro* se relaciona linealmente con la desaparición de la fibra detergente neutro (FDN), así como del almidón (Opatpatanakit *et al.*, 1994) y de la materia orgánica (MO) *in vivo* (Menke *et al.*, 1979). Asimismo, se sabe que es alta la correlación entre los resultados obtenidos *in situ* e *in vitro* (López *et al.*, 1998; Giraldo *et al.*, 2007) y entre métodos *in vitro* (Bochi-Brum *et al.*, 1999) para estimar la digestibilidad de la MS. Sin embargo, la información relacionada con la producción y características nutricionales de FVH en las condiciones medioambientales de la región semiárida del norte de México es escasa. Los objetivos del estudio surgieron de la hipótesis de que el tipo de semilla y la densidad de siembra afectan la producción de biomasa y el

valor nutritivo del FVH y consistieron en: 1) determinar la producción de biomasa de FVH de trigo y de avena a diferentes tiempos de cosecha y densidades de siembra, y 2) determinar su valor nutricional mediante el uso de métodos microbiológicos, en función de su tiempo de cosecha y densidad de siembra.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El trabajo se realizó en las instalaciones de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México, ubicada en el km 11,5 de la carretera Durango-Mezquitlan, a 24°28'N y 104°40'O, a una altitud de 1890msnm, con clima estepario semi-seco,

PALABRAS CLAVE / Avena / Forraje Verde Hidropónico / Producción de Biomasa / Trigo / Valor Nutricional /

Recibido: 01/08/2011. Modificado: 13/12/2012. Aceptado: 17/12/2012.

María Andrea Cerrillo Soto. Ph.D. en Nutrición Animal, Iowa State University, EEUU. Profesor, Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), México.

Arturo Saúl Juárez Reyes. Doctor en Nutrición de Rumiantes, Université Pierre et

Marie Curie, Francia. Profesor, UJED, México.

José Arnulfo Rivera Ahumada. M.C. en en Producción de Rumiantes, UJED, México.

Maribel Guerrero Cervantes. Doctora en Nutrición Animal, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL),

México. Profesor, UJED, México.

Roque Gonzalo Ramírez Lozano. Ph.D. en Nutrición Animal, New Mexico State University, EEUU. Profesor, UANL, México.

Hugo Bernal Barragán. Dr. Sc. Agr. en Nutrición y Fisiología

Animal, Universitaet Honhenheim, Alemania. Profesor. UANL, México. Dirección: Facultad de Agronomía, Campus de Ciencias Agropecuarias, UANL, México. e-mail: hubernal05@yahoo.com.mx

BIOMASS PRODUCTION AND NUTRITIONAL VALUE OF HYDROPONIC GREEN FORAGE OF WHEAT AND OAT

María Andrea Cerrillo Soto, Arturo Saúl Juárez Reyes, José Arnulfo Rivera Ahumada, Maribel Guerrero Cervantes, Roque Gonzalo Ramírez Lozano and Hugo Bernal Barragán

SUMMARY

The biomass production and nutritional value of hydroponic (wheat and oat) green forage (HGF) were determined. Chemical composition (DM, CP, EE, NDF, ADF, cellulose, hemicellulose, and lignin), in vitro gas production, metabolizable energy (ME), in situ DM and CP degradability, in vitro true OM digestibility and metabolizable protein (MP) were measured. Data were analyzed by ANOVA for a 3×2 factorial design (three sowing densities, two species and two post-harvest dates). Mean comparisons were performed using Tukey's test. General mean values of the evaluated variables, such as biomass production (13.0kg HGF/m²), CP content (15.6%, DM basis), gas produced from the slowly degradable fraction of feed (57ml/200mg DM), the constant rate of gas production

(5.8%/h), ME (2.5Mcal/kg DM) and MP content (73g/kg DM) indicated a high nutrient availability of HGF of both species. Values related to higher IVTOMD (78%) and metabolizable energy (2.7Mcal ME/kg DM) for HGF of wheat compared to that of oat (72.8% IVTOMD y 2.2Mcal ME/kg DM, respectively) can serve to define the way to use HGF of both species in feeding systems for ruminants. The production cost of wheat HGF (2.29 Mexican pesos/kg DM) corresponds to 82% of the original cost of 1kg of sown wheat seed, which reduces the expenses in animal feeding. The nutritive variables evaluated indicate that HGF is a valuable feed source for ruminants.

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E VALOR NUTRICIONAL DE FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA DE TRIGO E AVEIA

María Andrea Cerrillo Soto, Arturo Saúl Juárez Reyes, José Arnulfo Rivera Ahumada, Maribel Guerrero Cervantes, Roque Gonzalo Ramírez Lozano e Hugo Bernal Barragán

RESUMO

Estimou-se a produção de biomassa e o valor nutricional de forragem verde hidropônica (FVH) de trigo e aveia. Determinou-se a composição química (MS, PC, EE, FDN, FDA, celulosa, hemicelulose, lignina), produção de gás in vitro, energia metabolizável (EM), degradabilidade in situ de MS e PC, digestibilidade verdadeira in vitro de MO e proteína metabolizável (PM). Os dados se submeteram a análises de variância para um desenho fatorial 3×2×2 (três densidades de plantações, duas espécies e duas datas de colheita). As médias se separaram com a prova de Tukey. Médias gerais das variáveis avaliadas em ambas as espécies, como produção de biomassa (13,0kg FVH/m²), conteúdo de proteína (15,6%, base MS), produção de gás a partir da fração lentamente fermentável b (57ml/200mg MS), taxa constante de produção de gás c (5,8%/h),

conteúdo de EM (2,5Mcal·kg⁻¹ MS) e conteúdo de proteína metabolizável (73g·kg⁻¹ MS), indicam alta disponibilidade de nutrientes e energia. Valores mais altos de digestibilidade verdadeira da MO in vitro (78%) e de energia metabolizável (2,7Mcal EM/kg MS) do FVH de trigo relativo ao de aveia (72,8% DVIVMO e 2,2Mcal EM/kg MS, respectivamente) podem servir para definir a forma de utilizar o FVH de ambas espécies em sistemas de alimentação de ruminantes. O custo de produção do FVH de trigo (2,29 pesos mexicanos/kg MS) é 82% do custo de 1kg de semente de trigo original, o qual reduz o custo de alimentação de ruminantes. As variáveis nutricionais avaliadas indicam que o FVH oferece boa qualidade nutritiva para ruminantes.

templado con verano cálido, BS_{kw}, con una temperatura media de 17,5°C y 450mm de precipitación media anual (INEGI, 2009).

Para el estudio se utilizó un invernadero de 27,6m² con piso de concreto acondicionado para producir FVH. El invernadero cuenta con riego automatizado, con cortinas de material de plástico abatibles a los lados, con dos módulos para la colocación de 320 charolas con capacidad de producción de 140kg de forraje verde por día (21kg MS/día).

Producción de FVH

Lavado y germinado de las semillas. Las semillas utilizadas de trigo (*Triticum aestivum*) va-

riedad Anáhuac y de avena (*Avena sativa* L.) variedad Cuauhtémoc se limpiaron retirando manualmente y por cribas las impurezas. Posteriormente, las semillas se lavaron en tres ocasiones, hasta que no flotarían partículas consideradas basura y que el agua fuera clara. Enseguida se desinfectaron sumergiéndolas por 4min en una solución de hipoclorito de sodio 1%. Luego las semillas se enjuagaron con agua limpia, y se dejaron remojando en agua durante 24h. Transcurrido este periodo, las semillas se depositaron en un recipiente de ~100 litros, provisto de perforaciones en el fondo para permitir el escurrimiento del exceso de agua, y se dejaron reposar por 24h a temperatura ambiente y protegidas

de la luz, para facilitar la germinación (Meza, 2005).

Siembra de semilla y muestreo. La siembra se realizó manualmente entre las 09:00 y 10:00 (Herrera *et al.*, 2009). Se sembraron las semillas de trigo y avena a razón de 400, 600 y 800g de semilla germinada (56,7% de MS) en charolas de plástico de 40×40cm (0,16m² de superficie), lo que equivale a densidades de siembra de 2,5; 3,75 y 5,0kg de semilla/m². El FVH de trigo y avena se cosechó a los 10 y 12 días después de la siembra. Para cada tipo de forraje y tiempo de cosecha, se seleccionaron aleatoriamente tres charolas y el forraje se secó en una estufa de aire forzado a

55°C por 96h, hasta llevarlo a peso constante. Las muestras se mezclaron y una submuestra representativa se molió en molino Willey (malla de 1 y 2mm) para su posterior análisis.

Producción de biomasa

Para determinar esta variable, se registró el peso de FVH cosechado de las charolas y se calculó el equivalente de la producción de forraje verde hidropónico de trigo y de avena, por cada m² de superficie, a los 10 y los 12 días.

Análisis químicos

A las muestras de FVH de trigo y avena se les determinó el contenido de materia seca

(MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC) y extracto etéreo (EE) de acuerdo con AOAC (1994). Los contenidos de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA) se estimaron mediante los procedimientos de Van Soest *et al.* (1991). El contenido de lignina se determinó con el método de lignina ácido detergente descrito por Ramírez (2007). Los contenidos de hemicelulosa y celulosa se calcularon por diferencia como FDN-FDA y FDA-lignina, respectivamente (Dryden, 2008).

Producción de gas *in vitro*

Se incubaron 200mg de cada muestra en jeringas calibradas de vidrio de 100ml (Häberle Labortechnik, Alemania). Como inóculo se utilizaron 30ml de una mezcla de solución amortiguadora de bicarbonato de sodio y de amonio (35g NaHCO₃ y 4g NH₄HCO₃ por litro) con líquido ruminal en una proporción de 2:1(v/v) y pH 6,8. El fluido ruminal se obtuvo de tres ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). La producción de gas se registró a las 0, 3, 6, 9, 12, 24, 48, 72 y 96h (Menke y Steingass, 1988). Los datos de producción de gas se ajustaron al modelo $p = a + b(1 - e^{-ct})$ propuesto por Ørskov y McDonald (1979), donde p: producción de gas al 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.

Contenido energético

El contenido de energía metabolizable (EM) fue estimado a partir de la producción de gas *in vitro* y se calculó de acuerdo a Menke y Steingass (1988) con la ecuación

$$EM = (2,20 + 0,136PG_{24h} + 0,0057PC + 0,0029EE^2) / 4,184,$$

donde EM: energía metabolizable (Mcal/kg MS), PG_{24h}: producción de gas (ml/200mg MS) a las 24h de incubación,

PC: contenido de proteína cruda (% MS), y EE: extracto etéreo (% MS).

Degradabilidad *in situ* de la MS y PC

Se pesaron 5g de muestra para ser incubados en bolsas de nylon de 5×10cm y con poro de 50µm, las cuales se depositaron en la región ventral del rumen (Ørskov y McDonald, 1979) de seis ovinos alimentados con heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Las bolsas se retiraron a las 24h y se lavaron tres veces con 1,5 litros de agua destilada en bolsas de polietileno, hasta que el agua fuera clara (Juárez *et al.*, 2004). A partir de los residuos de las bolsas se estimó la degradabilidad de la MS y de la PC a las 24h.

Digestibilidad verdadera *in vitro* de la MO

Se pesaron ~250mg de muestra y se depositó en bolsas filtro (F57, ANKOM Technology, Macedon, NY, USA), para incubarse a 39°C durante 48h en una solución (80:20) de buffer (35g NaHCO₃ y 4g NH₄HCO₃ por litro) con líquido ruminal en una proporción de 2:1(v/v) y pH 6,8. El líquido ruminal se obtuvo de borregos adultos alimentados con una dieta a base de heno de alfalfa y concentrado comercial (75:25). Las incubaciones se realizaron utilizando el incubador Daisy^{II} de ANKOM (Macedon, NY, USA), de acuerdo a lo descrito por Adesogan (2005).

Contenido de proteína metabolizable (PM)

El contenido de PM se calculó según los principios del sistema francés de proteínas digestibles intestinales (PDI; Agabriel *et al.*, 2007), el cual considera como básicas las estimaciones del contenido de PC de los forrajes, así como de la degradabilidad *in situ* de la proteína, de la materia orgánica fermentada en el rumen y la digestibilidad de los aminoácidos en el intestino delgado. Los conceptos anteriores permiten calcular los aportes de PM y el

uso de la energía necesaria para generarlos.

Diseño Experimental

Los datos fueron analizados estadísticamente de acuerdo con un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3×2×2 (tres densidades de siembra, dos tipos de semilla y dos fechas de corte postgerminación). Se asumió que la triple interacción no era significativa y se usó para formar el error, generando dos grados de libertad. Los promedios resultantes en cada ocasión se separaron mediante la prueba de rango múltiple de Tukey (Hicks y Turner, 1999). Los datos se manejaron con el programa SPSS (versión 10).

Resultados y Discusión

Producción de biomasa

Se registró interacción (P<0,05) densidad×especie en la producción de biomasa. En ambos cultivos, los registros para esta variable aumentaron progresivamente en relación con la densidad de siembra hasta 600g/charola; sin embargo, en el caso de la semilla de trigo sembrada a una densidad de 800g/charola, la producción de biomasa fue 100% mayor a la obtenida con avena, considerando un tiempo de 12 días a la cosecha. No se hizo corrección de la producción de biomasa por porcentaje de germinación (Tabla I). Trabajos previos no indican diferencias en la producción de MS con variaciones en la densidad de siembra de 1; 1,5; 2; 3; 4; 5 y 6kg·m⁻² en semillas de cebada y maíz (Flores *et al.*, 2004; Müller *et al.*, 2006), mientras que Vargas (2008b) reportó diferencias en la producción de biomasa entre semillas de sorgo, maíz y arroz.

En el presente trabajo, para el caso del FVH de trigo sembrado a una densidad de 800g de semilla/charola y considerando el promedio de lo cosechado a los 10 y 12 días post germinación, se calculó una relación de 1:5,5 de semilla sembrada : forraje producido (Tabla I), la cual se considera como un buen rendimiento en forrajes bajo siste-

mas hidropónicos (Vargas, 2008b). En el caso de la avena, la relación calculada fue 1:2,8. No se determinó en qué medida esta diferencia haya sido debida a un menor porcentaje de germinación de la semilla de avena.

Contenido de proteína cruda (PC)

El contenido en PC del FVH de trigo aumentó desde un 15% (a una densidad de 400g semilla por charola) hasta 17%, a densidades de 600 y 800g/charola (Figura 1), mientras que en el FVH de avena se observó (interacción especie × densidad de siembra; P= 0,054) una disminución de 27% del contenido de PC para la densidad de 800g/charola respecto al contenido observado con la densidad de 400g/charola (Tabla I).

Se han reportado contenidos de PC similares (15%) a los encontrados en este trabajo en FVH de avena producido a tres densidades de siembra y cosechado a 10 o 12 días post emergencia (Fuentes, 2009), mientras que FAO (2001) reporta valores tan bajos como 9% PC para este tipo de forraje. Por su parte, Vargas (2008a) registró valores de 11,8 a 14% de PC en dos variedades de maíz cultivado a cuatro densidades de siembra, mientras que Pérez-Sánchez *et al.* (2010) mencionan valores de 24,1% en FVH de trigo, los cuales son más altos que los encontrados en el presente trabajo.

El contenido de PC del FVH varía de acuerdo al tipo de semilla, días de cosecha y densidades de siembra. Para utilizar ventajosamente este tipo de forraje hidropónico, éste se debe proporcionar a los animales entre los 10 y 12 días después de su germinación, porque después de este período (p.ej. 20 días), se produce un marcado descenso en su valor proteico (Vargas, 2008b). Es importante considerar que durante la primera etapa de germinación se produce una hidrólisis de la proteína contenida en la semilla y que posteriormente se observa un aumento progresivo del nivel de aminoácidos libres,

TABLA I
PRODUCCIÓN DE BIOMASA (KG·M⁻²), COMPOSICIÓN QUÍMICA (%MS), ENERGÍA METABOLIZABLE Y PROTEÍNA METABOLIZABLE DE FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE AVENA Y TRIGO

Densidad (g/charola)	Tiempo (días)	Especie	Biomasa (kg/m ²)	PC (%MS)	FDN (%MS)	FDA (%MS)	Lignina (%MS)	Celulosa (%MS)	Hemicelulosa (%MS)	EE (%MS)	EM (%MS)	PM (%MS)
400	10	Avena	7,0	17,0	46,8	26,3	3,4	24,1	20,6	9,8	2,4	63
		Trigo	7,0	13,4	50,2	26,3	3,2	19,4	28,1	2,3	2,7	81
12	12	Avena	8,0	19,0	49,8	28,7	4,3	25,6	21,1	10,1	2,4	61
		Trigo	7,0	16,5	69,3	22,8	5,8	28,7	35,4	2,0	2,6	77
600	10	Avena	10,0	14,1	45,7	20,1	2,6	20,8	25,6	6,8	2,2	64
		Trigo	10,0	16,3	49,3	20,1	2,6	18,7	28,7	1,3	2,7	82
12	12	Avena	12,0	13,0	43,0	21,5	3,4	20,7	21,4	6,6	2,0	61
		Trigo	12,0	17,8	54,9	20,5	5,0	21,1	27,4	2,6	2,7	80
800	10	Avena	13,0	12,3	53,9	23,7	3,9	21,8	30,2	6,9	2,2	74
		Trigo	25,0	16,7	57,3	23,7	2,4	23,8	31,1	1,7	2,7	81
12	12	Avena	15,0	13,9	55,3	25,4	3,8	23,8	29,9	8,9	2,1	62
		Trigo	30,0	17,2	55,8	26,2	2,4	23,5	30,5	2,1	2,9	88
Media EEM			13,0	15,6	52,6	24,3	3,6	22,7	27,5	5,1	2,5	73,1
			0,128	0,050	0,844	23,2	0,299	0,484	0,639	0,013	0,022	0,541

Nivel de Probabilidad

Factores	Densidad (A)	0,004	0,268	0,276	0,086	0,132	0,263	0,109	0,174	0,588	0,496
	Tiempo (B)	0,049	0,139	0,274	0,494	0,046	0,242	0,847	0,340	0,853	0,500
	Especie (C)	0,012	0,114	0,125	0,414	0,996	0,840	0,034	0,006	0,021	0,037
	A × B	0,321	0,388	0,388	0,633	0,155	0,492	0,215	0,628	0,883	0,997
	A × C	0,012	0,054	0,501	0,500	0,100	0,898	0,107	0,223	0,278	0,969
	B × C	0,423	0,515	0,323	0,415	0,144	0,474	0,269	0,826	0,704	0,485

EEM: error estándar de la media, EE: extracto etéreo, EM: energía metabolizable (Mcal·kg⁻¹ MS), PM: proteína metabolizable (g·kg⁻¹ MS).

razón por la cual la solubilidad de la PC del FVH es cercana al 80% (Bravo, 1988). Herrera-Torres *et al.* (2010), reportaron una disminución de 40% en el contenido de proteína a los 12 días (12,6% PC), respecto al registrado a los 10 días (21%) en FVH de trigo. Las diferencias del contenido de PC del FVH entre trabajos pueden deberse a características genéticas de diferentes variedades de cereales, lo que se traduce en una gran diversidad de comportamientos productivos (Oliver *et al.*, 2004).

Contenido de extracto etéreo (EE)

El contenido de EE del FVH fue diferente (P<0,01) de acuerdo a la especie, con valores de PC para el FVH de trigo de 2,0%, y de 8,2% para el FVH de avena (Tabla I). Los valores de EE obtenidos en el presente trabajo para el FVH de trigo son similares a lo reportado por Saldanha (2006) para semilla de cebada (2,3%) y de centeno (2,1%). El contenido

en EE en el FVH de avena determina un alto valor energético, en la medida que los triglicéridos contienen 2,25 veces la energía de los carbohidratos (Ball *et al.*, 2001).

Contenido de FDN

El contenido de FDN tuvo un promedio general de 52,6% y no fue afectado por los factores estudiados (Tabla I). En trabajos realizados con FVH de maíz (Meza, 2005) se reportan valores de FDN entre 39 y 41%, cifras inferiores a las encontradas en el presente estudio. Por su parte,

Saldanha (2006) reportó valores de FDN en muestras de FVH de centeno (46%) y de cebada (53%), similares a los obtenidos en el presente trabajo para avena y trigo.

Esta fracción química corresponde a material estructural de las células vegetales, cuya composición química compleja la hace potencialmente digestible por los rumiantes, quienes pueden obtener a partir de ella la energía necesaria para sus funciones vitales. Según el NRC (2001) las dietas de rumiantes deben contener al menos 25 a 35% de FDN para asegurar un buen funcionamiento del rumen; pero también es conocida la relación inversa que existe entre el contenido de FDN y el valor nutritivo, consumo y digestibilidad de los forrajes (Jung y Allen, 1995; Van Soest, 1994). En consecuencia, para ambos tipos de FVH estudiados, los valores de FDN son superiores al valor definido como FDN efectiva requerida, es decir la fibra consumida que favorece la

producción de saliva, un pH ruminal de 6,2-6,8 y una correcta actividad celulolítica.

Contenido de FDA, hemicelulosa y celulosa

En el presente trabajo el contenido en hemicelulosa fue 21% mayor (P<0,05) en el FVH de trigo (30,2%) respecto al registrado en el forraje de avena (24,8%). Los contenidos de lignocelulosa (FDA) del FVH (24,3% de la MS) y de celulosa (promedio= 22,7% de la MS) no fueron afectados (P>0,05) por especie, ni el tiempo de cosecha, ni la densidad de siembra (Tabla I). El contenido promedio de celulosa fue similar (P>0,05) en el FVH de ambos tipos de semillas (22,8% para el FVH de avena y 22,5% para el FVH de trigo), valor considerado como ideal para dietas de rumiantes (NRC, 2001). Este compuesto es el de mayor concentración en las paredes primaria y secundaria de las células vegetales, en donde se combina con la lignina, hemicelulosa, cutina y minerales (Van Soest, 1994; Merchen y Burquin, 1995). La disponibi-

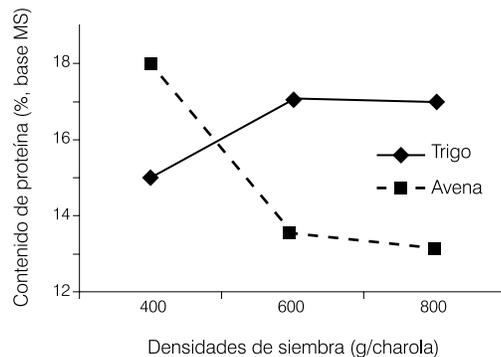


Figura 1. Contenido de proteína (% base MS) de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena a tres densidades de siembra.

TABLA II
PRODUCCIÓN DE GAS, PARÁMETROS DE FERMENTACIÓN Y DIGESTIBILIDAD VERDADERA *IN VITRO* (DVIVMO), Y DEGRADABILIDAD *IN SITU* DE LA MATERIA SECA Y LA PROTEÍNA DEL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO DE AVENA Y TRIGO

Densidad (g/charola)	Tiempo (días)	Especie	Producción de gas (mL/200 mg MS)			Tasa <i>c</i> (% h ⁻¹)	DVIVMO (%)	Degradabilidad <i>in situ</i>	
			Total a 24 h	Fracción <i>a</i>	Fracción <i>b</i>			MS a 24h (%)	PC a 24h (%)
400	10	Avena	48	9,1	48,2	0,056	74,8	67,1	93,0
		Trigo	63	10,4	63,5	0,060	82,5	72,6	80,6
	12	Avena	49	13,1	45,5	0,053	77,1	69,5	93,3
		Trigo	57	6,9	61,7	0,063	76,8	74,6	87,2
600	10	Avena	44	8,4	47,3	0,053	71,2	69,1	91,3
		Trigo	61	9,8	64,9	0,060	83,1	81,4	87,7
	12	Avena	41	11,4	45,6	0,046	69,5	66,6	93,5
		Trigo	61	8,9	67,9	0,070	77,7	77,5	84,5
800	10	Avena	45	10,6	66,5	0,060	77,6	64,6	86,1
		Trigo	60	8,0	59,0	0,040	78,5	66,9	85,7
	12	Avena	41	17,0	56,7	0,066	66,4	62,1	91,8
		Trigo	65	3,3	58,7	0,060	68,8	56,0	72,2
Media			53	9,8	57,1	0,058	75,3	69,0	87,3
EEM			0,685	0,430	0,870	0,001	0,549	0,887	2,6
Nivel de probabilidad									
Factores	Densidad (A)		0,779	0,975	0,132	0,700	0,187	0,033	0,557
	Tiempo (B)		0,680	0,565	0,219	0,077	0,063	0,180	0,942
	Especie (C)		0,021	0,069	0,013	0,199	0,066	0,058	0,149
	A × B		0,889	0,946	0,367	0,109	0,213	0,190	0,753
	A × C		0,490	0,170	0,032	0,030	0,231	0,094	0,916
	B × C		0,737	0,068	0,181	0,053	0,340	0,312	0,499

EEM: error estándar de la media, Fracción *a*: producción de gas a partir de la fracción rápidamente degradable del forraje, Fracción *b*: producción de gas a partir de la fracción lentamente degradable del forraje, Tasa *c*: tasa constante de producción de gas.

lidad de la celulosa para los rumiantes varía ampliamente, dependiendo de la importancia de su unión con la lignina.

Contenido de lignina

El promedio general de lignina resultante para el FVH de trigo y avena (3,6%), es inferior al valor de 5% MS, a partir del cual se considera que este compuesto causa reducción notoria en la digestibilidad de alimentos para los animales. El contenido de lignina a los 12 días postgerminación (4,1% de lignina en la MS) fue 36% mayor ($P < 0,05$) al registrado a los 10 días (3,0% de lignina en la MS). El contenido de lignina registrado en este estudio es inferior al reportado por Vargas (2008b) para FVH de maíz (7,7%), arroz (10,7%) y sorgo forrajero (14,3%); y por López-Aguilar *et al.* (2009) para FVH de maíz (6,4%). En consecuencia, podría esperarse que la disponibilidad de los carbohidratos de la fibra del FVH de

trigo y avena, utilizados en este estudio, sea alta.

La lignina es un polímero muy ramificado que resulta de la unión de tres alcoholes de núcleo fenilpropano (p-cumárico, férulico y sinapílico; Jarrige *et al.*, 1995). Se localiza especialmente en la pared secundaria de las células vegetales, en donde desempeña una importante función estructural, reduce la pérdida de agua y limita la presencia de microorganismos patógenos, atributos todos deseables desde el punto de vista de la sobrevivencia de las plantas. No obstante, desde el punto de vista de la nutrición animal, esta fracción química es el principal factor que limita la disponibilidad de los carbohidratos estructurales (celulosa y hemicelulosa) para los animales herbívoros, debido a que es indigestible (Moore y Hatfield, 1995).

Producción de gas a 24h

En el presente trabajo, la producción de gas a 24h tam-

bién fue diferente ($P < 0,05$) para las dos especies estudiadas (Tabla II), con valores promedio de 44,6 y 61,2ml/200mg MS para los FVH de avena y trigo, respectivamente. Gatachew *et al.* (2002) probaron una amplia variedad de alimentos en diferentes laboratorios, y encontraron valores semejantes para la alfalfa (43,5ml/200mg MS) a los del FVH de avena del presente trabajo. La importancia de esta variable reside en que los perfiles de producción de gas obtenidos a 24h con esta técnica, permiten hacer estimaciones de digestibilidad y valor energético de los alimentos consumidos por los rumiantes (Williams, 2006), aspectos que son esenciales a tomar en consideración en nutrición animal.

Producción de gas a partir de la fracción soluble (a)

Los nutrientes citoplásmicos contenidos en las células vegetales (Hopkins, 1995) son solu-

bles en la saliva y en el líquido ruminal de tal forma que, una vez liberados por la masticación, son accesibles a los microbios ruminales y fermentados con rapidez (Jarrige *et al.*, 1995). El gas producido a partir de estos nutrientes rápidamente solubles constituye la fracción a del total de gas producido.

En el presente trabajo, la fracción de gas *a* promedio fue de 9,8ml/200mg MS, sin que hubiera diferencias entre los factores estudiados (Tabla II). Bernal-Barragán *et al.* (2010) reportaron valores de 4 a 6ml/200mg MS para FVH de trigo cosechado a los 10 y 12 días post germinación, mientras que Kamalak *et al.* (2004) reportaron valores de 1,8 y 5,3ml/200mg MS en hojas de cuatro diferentes árboles que contienen taninos. También, Juárez *et al.* (2008) estimaron valores de 4,2 hasta 13,2ml/200mg de MS en diferentes alimentos proteicos usados en la alimentación de ovinos. Valores altos medidos para la fracción *a* en el FVH de avena indicarían que una cantidad importante de compuestos rápidamente solubles (p.ej. MS, MO o PC) es fermentada al inicio de la incubación (Ramírez *et al.*, 2004).

Producción de gas a partir de la fracción insoluble (b)

El gas producido por la fracción insoluble (*b*) de los sustratos representa la materia seca insoluble del forraje que es potencialmente degradable por los microorganismos ruminales, de acuerdo con reacciones en las que la velocidad de degradación es proporcional a la concentración de los sustratos (Huntington y Givens, 1995). En el FVH de trigo, la producción de gas a partir de esta fracción osciló entre 62 y 66ml/200mg MS a medida que se incrementó la densidad de siembra de 400-600g/charola, y fue 30-40% mayor a la registrada para el FVH de avena (46,9 y 61,6ml/200mg MS, para 400 y 600g de semilla por charola); sin embargo, la producción de gas registrada con la densidad de 800g/charola fue

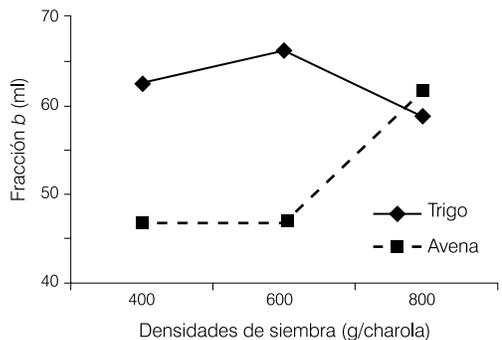


Figura 2. Producción de gas de la fracción *b* (ml) de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena a tres densidades de siembra.

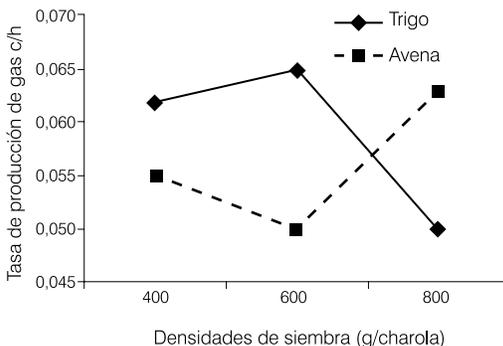


Figura 3. Tasa de producción de gas *c* (%/h) de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena a tres densidades de siembra.

similar para ambas especies (promedio de 60,2ml/200mg MS; interacción especie × densidad de siembra, $P < 0,05$; Figura 2). Bernal-Barragán *et al.* (2010) reportaron valores similares a los del presente trabajo (50 y 56ml/200mg MS) en muestras de FVH de trigo, al igual que Nsahlai *et al.* (1995) en especies vegetales arbustivas africanas. Juárez-Reyes *et al.* (2009) indicaron que el gas de la fracción insoluble pero degradable *b*, medido a partir de la fermentación *in vitro* de muestras de alimentos, es un estimador de la disponibilidad de los carbohidratos presentes en los substratos para los microorganismos ruminales.

Tasa constante de producción de gas (c)

Las estimaciones de la tasa constante *c* de producción de gas *in vitro*, proporciona información importante sobre la cinética de la fermentación de los alimentos consumidos por ruminantes (Williams, 2000). En el presente trabajo, la tasa constante *c* del FVH de trigo fue similar para las densidades de siembra de 400 y 600g/charola (6,2-6,5%/h) pero disminuyó significativamente (5,0%/h) a la densidad de 800g/charola (Figura 3). Por el contrario (interacción especie × densidad, $P < 0,05$), en el FVH de avena, la tasa constante de producción de gas fue de 5,5 y 5,0%/h a densidades de 400 y 600g de semilla/charola, respectivamente, y aumentó a la densidad de 800g/charola hasta 6,3%/h. Los

valores relacionados con esta fracción pueden ser tan bajos como 1,1%/h, en hojas de palma (Kafilzadeh *et al.*, 2009) o tan altos como 16%/h, como los registrados en pasta de canola (Gatachew *et al.*, 2004). Las diferencias en las tasas de producción de gas pueden atribuirse a las características de los componentes intracelulares y a la digestibilidad del forraje en particular.

Además, la tasa constante de producción de gas *c* es una variable clave no solamente para describir el proceso de digestión de los nutrientes de los alimentos en el rumen, sino que también es una forma para determinar la calidad de los nutrientes que los forrajes proporcionan a los animales (Doane *et al.*, 1997). Los datos de tasas de producción de gas *c* superiores a 6,0%/h indicarían una tendencia de alto consumo (AFRC, 1993) para las muestras de FVH estudiadas en el presente trabajo.

Contenido de energía metabolizable (EM)

La EM del FVH de trigo fue 2,7Mcal/kg MS, mientras que en el caso del FVH de avena la EM fue ($P < 0,05$) de 2,2Mcal/kg MS (Tabla I). Datos reportados por Herrera-Torres *et al.* (2010) para FVH de trigo indican que el valor de EM disminuye de 3,2 a 2,7Mcal/kg MS a los 10 y 12 días, respectivamente; por el contrario, en el

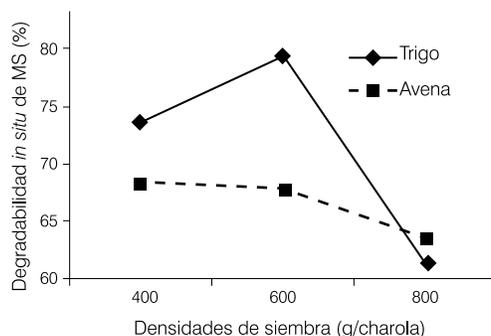


Figura 4. Degradabilidad *in situ* de la MS a 24h (%) de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y avena a tres densidades de siembra.

presente trabajo el contenido de EM de trigo y de avena permaneció sin cambios a los 10 y a los 12 días de cosecha.

Cálculos de requerimientos energéticos realizados utilizando el *Small Ruminant Nutrition System* (SRNS; Tedeschi *et al.*, 2010) indican que el requerimiento energético de ovejas de 50kg PV y a los 120 días de gestación puede variar de 2,45 a 3,16Mcal EM/día, dependiendo de la temperatura ambiente entre los 30 y -10°C. Si se considera que los animales pueden tener un consumo de 1,3kg de MS, entonces se puede deducir que el contenido de energía del FVH de trigo calculado en el presente trabajo es mayor al necesario para cubrir el requerimiento de borregas a 120 días de gestación. En el caso del FVH de avena, solamente el contenido energético del FVH sembrado a una densidad de 400g/charola (2,40Mcal EM/kg MS) es suficiente para cubrir el requerimiento de energía de esta

clase de borregas (50kg PV, 120 días de gestación) a temperaturas de 0°C, mientras que el FVH de avena sembrada a 600 y 800g/charola (2,12 y 2,15Mcal EM/kg MS, respectivamente) solo es suficiente para cubrir los requerimientos de este tipo de animales mantenidos a temperaturas de 20°C.

Degradabilidad in situ de la MS después de 24h de incubación

La degradabilidad de la MS a 24h de incubación fue menor ($P < 0,05$) a una densidad de siembra de 800g de semilla/charola (62,3%), comparada con la observada para la densidad de 600g (73,6%).

La degradabilidad de la MS del FVH de trigo (73 y 79% para las densidades de 400 y 600g de semilla/charola) fue mayor que la del FVH de avena (68% para las densidades de 400 y 600g/charola); sin embargo, para ambos tipos de semilla la degradabilidad de MS disminuyó a menos de 64% cuando la densidad de siembra fue de 800g/charola (interacción especie × densidad; $P = 0,094$; Figura 4).

Son escasos los datos generados con FVH, para esta variable; no obstante, Herrera *et al.* (2007) reportaron que la degradabilidad de la MS de FVH de maíz es de 33%, valor inferior a los registrados en el presente estudio para el FVH de trigo (71,5%) y para el FVH de avena (66,5%). Estas diferencias podrían deberse al alto contenido en lignina (43,4%) de las muestras analizadas por Herrera *et al.* (2007), quienes utilizaron cascarilla de arroz como medio de germinación de las semillas.

Por otro lado, Herrera-Torres *et al.* (2010) determinaron una degradabilidad de la MS de FVH de trigo de 87,2; 76,5 y 66,8% para 8, 10 y 12 días de cosecha, respectivamente; sin embargo, en el presente estudio la degradabilidad de la MS a 24h de incubación fue similar

($P=0,18$) a los 10 días (70,2%) y a los 12 días (67,7%).

Degradabilidad *in situ* de la PC a 24h de incubación

Para esta variable no se detectaron diferencias ($P>0,05$) entre los tratamientos evaluados. El promedio general fue de 87,3% de degradabilidad de la PC a los 24h de incubación (Tabla II). En un trabajo previo, Herrera-Torres *et al.* (2010) determinaron valores de entre 80,5 y 76,0% de degradabilidad de la PC de FVH de trigo cosechado a 8, 10 y 12 días. De acuerdo a Atkinson *et al.* (2010), altas tasas de degradabilidad de la proteína pueden mejorar la eficiencia microbiana (g de N microbiano/kg de MO fermentada en el rumen) de borregos alimentados con forraje de bajo contenido de proteína y baja calidad. Estos mismos autores argumentan que en futuras investigaciones, con dietas que incluyan FVH, se puede explorar la posibilidad de un mejor resultado de suplementación al combinar suplementos proteicos de alta y baja degradabilidad (Atkinson *et al.*, 2010).

Digestibilidad verdadera *in vitro* de la MO

La digestibilidad verdadera *in vitro* de la MO (DVIVMO) fue tendencialmente ($P=0,063$) afectada por el tiempo de cosecha (Tabla II), ya que se registraron valores 7% mayores a los 10 días (77,9%) que a los 12 días (72,7%). Herrera-Torres *et al.* (2010) indican que la digestibilidad verdadera en este tipo de forraje disminuye en ~5% entre los 10 y 12 días de cosecha (81-77%). En el presente estudio, la digestibilidad verdadera *in vitro* de la MO (DVIVMO) fue tendencialmente ($P=0,066$) mayor para el trigo (77,9%) que para la avena (72,8%). La cantidad de MO digerida por los microorganismos ruminales es un estimador de la cantidad de nutrientes disponibles para los animales y se relaciona estrechamente con el contenido energético de los forrajes (Kamalak *et al.*, 2005).

Contenido de proteína metabolizable

El contenido en proteína metabolizable fue diferente ($P<0,05$) según la especie vegetal. Para el FVH de trigo el valor registrado fue de 82g/kg MS, mientras que para el FVH de avena fue de 64g/kg MS (Tabla I). Los valores anteriores son inferiores a los de la alfalfa en estado vegetativo, cortada a 30cm de altura (108g PM/kg MS); pero en el caso del FVH de trigo, los valores son similares a los reportados por Andrieu *et al.* (1988) para alfalfa al inicio de la floración (85g/kg MS). El valor de proteína metabolizable indica el grado en que los alimentos contribuyen a cubrir las necesidades de proteína de los tejidos animales. Los resultados del presente trabajo indican que el valor de proteína metabolizable del FVH de avena permite cubrir las necesidades (60g/d) de cabras de 40kg en el cuarto mes de gestación, mientras que con el FVH de trigo sería posible cubrir las necesidades (85g/día) de producción de 1 litro de leche en cabras de 50kg (Agabriel *et al.*, 2007).

Conclusiones

Las variables nutricionales consideradas en el presente trabajo permiten concluir que el FVH ofrece condiciones de buena calidad nutritiva. Su contenido en proteína, componentes estructurales, energía metabolizable y parámetros de fermentación ruminal, así como la alta producción de biomasa, le confieren a este tipo de forraje no convencional, características cualitativas deseables para la alimentación animal. Adicionalmente, el costo de producción del FVH de trigo (\$2,29 pesos mexicanos/kg MS) constituye un atractivo para favorecer una reducción del costo de la alimentación de rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del Programa de Mejoramiento del Profeso-

rado-SEP (México) al Proyecto "Impacto Productivo y Económico de Subproductos Agroindustriales y Forrajes no Convencionales, en la Alimentación de Rumiantes", al apoyo económico de la Fundación PRODUCE Durango, A.C., y a la compañía ANKOM Technology Inc. (Macedon, NY, EEUU) por el apoyo material proporcionado.

REFERENCIAS

- Adesogan AT (2005) Effect of bag type on the apparent digestibility of feeds in ANKOM Daisy¹¹ incubators. *Anim. Feed Sci. Technol.* 119: 333-344.
- AFRC (1993) *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. CABI. Wallingford, RU. 175 pp.
- Agabriel J, Pomies D, Nozieres MO, Faverdin P (2007) Principes de rationnement des ruminants. En *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins. Besoins des Animaux-Valeur des Aliments. Tables INRA*. Quae, Versailles, Francia. pp 9-22.
- Amorim AC, Reseend KT, Meediros AN, Ribeiro SDA, Araujo JAC (2001) Composição bromatológica e degradabilidade *in situ* da parte aérea da planta de milho (*Zea mays*) produzida por hidroponia. 38^a Reunião Anual Sociedade Brasileira de Zootecnia. Piracicaba, Brasil. CD ROM.
- Andrieu J, Demarquilly C, Sauvant D (1988) Tables de la valeur nutritive des aliments. En Jarrige R (Ed.) *Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins*. INRA. Paris, Francia. pp. 351-464.
- AOAC (1994) *Official Methods of Analysis*. Vol 11. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists International. Gaithersburg, MD; EEUU. pp. 24, 32.
- Atkinson RL, Toone, CD, Ludden, PA (2010) Effects of ruminal protein degradability and frequency of supplementation on site and extent of digestion and ruminal fermentation characteristics in lambs fed low-quality forage. *J. Anim. Sci.* 88: 718-726.
- 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 Pec Méx.* 41: 337-342.
- Ball D, Collins M, Laceyfield G, Martin N, Mertens D, Olson K, Putnam D, Undersander D, Wolf M (2001) *Understanding Forage Quality*. American Farm Bureau Federation Publication 1-01. Park Ridge, IL, EEUU. 20 pp.
- Bernal-Barragán H, Luevano-Escobedo R, Elias-Iglesias A, Gutiérrez-

Ornelas E, Estrada-Angulo A, Guerrero-Cervantes M, Cerillo-Soto MA, Juárez-Reyes AS (2010) Effect of a nutrient solution on the chemical composition and *in vitro* fermentation parameters of wheat hydroponic forage. *J. Anim. Sci.* 88 (E-Suppl. 2): 344.

Bochi-Brum O, Carro MD, Valdés C, González JS, López S (1999) Digestibilidad *in vitro* de forrajes y concentrados: Efecto de la ración de los animales donantes de líquido ruminal. *Arch. Zootec.* 48: 51-61.

Bravo MR (1988) *Niveles de Avena Hidropónica en la Alimentación de Conejos Angora*. Tesis. Universidad de Concepción. Chile. 73 pp.

Carballido CCD (2007) Forraje verde hidropónico. En *Artículos Silvoagropecuarios*. www.ofertasagricolas, el artículo/88Consultoría Forrajera Chile. Cons. 15/06/2007.

Carro MD (2001) La determinación de la síntesis de proteína microbiana en el rumen: Comparación entre marcadores microbianos (Revisión). *Inv. Agr. Prod. Sanid. Anim.* 16: 1-27.

Doane PH, Schofield P, Pell AN (1997) Neutral detergent fiber disappearance and gas and volatile fatty acid production during the *in vitro* fermentation of six forages. *J. Anim. Sci.* 75: 3342-3352.

Dryden GMcL (2008) *Animal Nutrition Science*. CABI. Oxfordshire, RU. 302 pp.

FAO (2001) *Manual Técnico. Forraje verde hidropónico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago, Chile. 68 pp.

Flores ZG, Urdaneta E, Montes J (2004) Densidad de siembra de maíz (*Zea mays*) para producción de forraje verde hidropónico. *Mem. 12^o Congr. Venezolano de Producción e Industria Animal*. Maracay, Venezuela. pp 23 24.

Fuentes CF (2009) *Producción de Forraje; Estación Experimental Canchones*. Informativo N° 5. Oficina Técnica INIA-URURI. Ministerio de Agricultura. Chile. 4 pp.

Getachew G, Crovetto GM, Fondevila M, Krishnamoorthy U, Singh B, Spanghero M, Steingass H, Robinson PH, Kailas MM (2002) Laboratory variation of 24 h *in vitro* gas production and estimated metabolizable energy values of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 102: 169-180.

Getachew G, Robinson PH, DePeters EJ, Taylor SJ (2004) Relationships between chemical composition and *in vitro* gas production of several ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 111:57-71.

- Giraldo LA, Gutiérrez LA, Rua C (2007) Comparación de dos técnicas *in vitro* e *in situ* para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev. Col. Cs. P.* 20: 269-279.
- Herrera AAM, Depablos ALA, López MR, Benezra SMA, de Álvarez LR (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. FCV-LUZ XVII*: 372-379.
- Herrera TE, Cerrillo, SMA, Murillo, OM, Rivera, AJA, Juárez, RAS (2009) Efecto del día de cosecha sobre la composición química y parámetros de degradabilidad de la materia seca del forraje verde hidropónico de trigo. *VI Congreso Latinoamericano de la Asociación de Especialistas en pequeños Ruminantes y Camélidos Sudamericanos*. Querétaro, México.
- Herrera-Torres E, Cerrillo SMA, Juárez-Reyes AS, Murillo-Ortiz M, Ríos-Rincón FG, Reyes-Estrada O, Bernal-Barragán H (2010) Efecto del tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. *Interciencia* 35: 284-289.
- Hicks RH, Turner KV (1999) *Fundamental Concepts in the Design of the Experiments*. 5ª ed. Holt, Rinehart and Winston. Nueva York, EEUU. 565 pp.
- Hidalgo MLR (1985) *Producción de Forraje en Condiciones de Hidroponía. I Evaluaciones Preliminares en Avena y Triticale*. Universidad de Concepción. Chillán. Chile. 64 pp.
- Hopkins WG (1995) The organization of plants and plant cells. En *Introduction to Plant Physiology*. 2ª ed. Wiley. Nueva York, EEUU. 512 pp
- Huntington JA, Givens DI (1995) The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. *Nutr. Abstr. Rev. B*. 65: 63-93.
- INEGI (2009) *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*. Estados Unidos Mexicanos. www.inegi.org.mx/sistemas/TabuladosBasicos/Default.aspx?c=17177&s=est (Cons. 28/03/2010).
- Jarrige R, Grenet E, Demarquilly C, Besle JM (1995) Les constituents del appareil vegetative des plantes fourragères. En Jarrige R, Ruckebusch Y, Demarquilly C, Farce MH, Journet M (Eds.) *Nutrition des Ruminants Domestiques. Ingestion et Digestion*. INRA, Paris, Francia. pp. 25-81.
- Juárez RAS, Montoya ER, Nevarez 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 semiarid region of north Mexico. *Anim. Sci.* 79: 505-511.
- Juárez-Reyes AS, Murillo-Ortiz M, Cerrillo-Soto MA, Obregon JF, Rios FG (2008) *In vitro* gas production kinetics of protein sources used in sheep nutrition. *J. Anim. Sci.* 86 (E-Suppl. 2): 273.
- Juárez-Reyes AS, Cerrillo-Soto MA, Gutiérrez-Ornelas E, Romero-Treviño EM, Colin-Negrete J, Bernal-Barragán H (2009) Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas *in vitro*. *Téc. Pec. Méx.* 47: 55-67.
- Jung HG, Allen MS (1995) Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73: 2774-2790.
- Kafilzadeh F, Hozhabri F, Kabirifard A (2009) Effect of *Pleurotus florida* on *in vitro* gas production of wheat stubble and date palm leaf. *Res. J. Biol. Sci.* 4: 37-41.
- Kamalak A, Canbolat O, Gurbuz Y, Ozay O, Ozkan CO, Sakarya M (2004) Chemical composition and *in vitro* gas production characteristics of several tannin containing tree leaves. *Livest. Res. Rural Devel.* 16: Art. # 44.
- Kamalak A, Canbolat O, Erol A, Kilink C, Kizilsimsek M, Ozkan CO, Ozkose E (2005) Effect of variety on chemical composition, *in vitro* gas production, metabolizable energy and organic matter digestibility of alfalfa hays. *Liv. Res. Rural Devel.* 17: 7-14.
- López-Aguilar R, Murillo-Amador B, Rodríguez-Quezada G (2009) El forraje verde hidropónico, una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia* 34: 121-126.
- López S, Carro MD, González JS, Ovejero FJ (1998) Comparison of different *in vitro* and *in situ* methods to estimate the extent and rate of degradation of hays in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 73: 99-113.
- Menke KH, Steingass H (1988) Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. *Anim. Res. Devel.* 28: 7-55.
- Menke KH, Raab I, Salewski A, Steingass 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 liquor *in vitro*. *J. Agric. Sci.* 93: 217-222.
- Merchen NR, Burquin LD (1995) Processes of digestion and factors influencing digestion of forage-based diets by ruminants. En Fahey JC (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA. pp. 564-612.
- Meza CZ (2005) *Evaluación de Variedades de Maíz y Densidad de Siembra en la Producción de Forraje Verde Hidropónico*. Tesis. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 102 pp.
- Moore KJ, Hatfield RD (1995) Carbohydrates and forage quality. En Fahey JC (Ed.) *Forage Quality, Evaluation and Utilization*. University of Nebraska. Lincoln, NE, USA. pp. 229-280.
- Müller L, Manfron P, Santos O, Medeiros S, Haut V, Bandeira A (2005) Produção e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho (*Zea mays* L.) com diferentes densidades de semeadura e datas de colheita. *Zootecn. Trop.* 23: 105-119.
- Müller LS, Osmar SM, Augusto P (2006) Hydroponic millet forage: production and nourishing quality in different sowing densities and harvest ages. *Cienc. Rural* 36: 1094-1099.
- NRC (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th ed. National Research Council. National Academy of Science. Washington DC, EEUU. 381 pp.
- Nsahlai IV, Umunna NN, Negassa D (1995) The effect of multi-purpose tree digesta on *in vitro* gas production from napier grass or neutral-detergent fibre. *J. Sci. Food Agric.* 69: 519-528.
- Oliver AL, Grant RJ, Pedersen JF, Rear, JO (2004) Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87: 637-644.
- Opatpatanakit Y, Kellaway RC, Lean JJ, Annon G, Kirby A (1994) Microbial fermentation of cereal grains *in vitro*. *Austr. J. Agric. Res.* 45: 1247-1263.
- Ørskov ER, McDonald L (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. *J. Agric. Sci.* 92: 499-503.
- Pell, AN, Doane PH, Schofield, P (1997) *In vitro* digestibility and gas production. *Símpoio sobre Tópicos Especiais em Zootecnia*. Lavras, Brasil. pp.109-132.
- Pérez-Sánchez RE, García-Saucedo PA, Palomarez A, Ortiz-Rodríguez ME, González-Ramírez R (2010) Determinación de biomasa y calidad de forraje verde hidropónico en contenedores no convencionales. *Congreso In-*
- ternacional sobre Reproducción y Nutrición de Bovinos de Leche*. CIREN. Lagos de Moreno, México.
- Ramírez RG (2007) *Los Pastos en la Nutrición de Ruminantes*. UANL. COFUPRO. México. 217 pp.
- Ramírez RG, Haenlein GFW, García-Castillo CG, Nuñez-González MA (2004) Protein, lignin and mineral contents and *in situ* dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. *Small Rumin. Res.* 52: 261-269.
- Saldanha ZME (2006) *Avaliação da Qualidade de Forragem Hidropônica de Centeio, Cebada e Ervilhaca*. Tesis. Universidade Federal de Santa Maria. Brasil. 53 pp.
- Tedeschi LO, Cannas A, Fox DG (2010) A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: The development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. *Small Rumin. Res.* 89: 174-184
- Van Soest PJ (1994) *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2ª ed. Cornell University Press. Ithaca, NY, EEUU. 476 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: Symposium: Carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle. *J. Dairy. Sci.* 74: 35-83.
- Vargas MAH (2008a) *Evaluación Productivo-Ambiental de Dos Genotipos de Maíz (Zea Mays L.), en Forraje Verde Hidropónico Bajo Invernadero*. Tesis. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional. Durango, México. 60 pp
- Vargas RCF (2008b) Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo forrajero negro. *Agron. Mesoam.* 19: 233-240.
- Williams BA (2000) Cumulative gas production techniques for forage evaluation. En Givens DI, Axford RFE, Owen E, Omed HM (Eds.) *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. CABI. Wallingford, RU. pp. 189-213.
- Williams BA (2006) Cumulative gas production: how to measure it, and what it can and cannot tell you. En Sandoval-Castro CA, Hovell FD DeB, Torres-Acosta JFJ, Ayala-Burgos A (Eds.) *Herbivores: the Assessment of Intake, Digestibility and the Roles of Secondary Compounds*. BSAS. Nottingham University Press. Nottingham, RU. pp. 145-151.