

## EL FORRAJE VERDE HIDROPÓNICO (FVH): UNA ALTERNATIVA DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTO PARA EL GANADO EN ZONAS ÁRIDAS

Raúl López-Aguilar, Bernardo Murillo-Amador y Guadalupe Rodríguez-Quezada

### RESUMEN

El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que permite evadir las limitantes naturales encontradas en zonas áridas para el cultivo convencional de forrajes. Se evaluaron tres densidades de siembra (DS): 1,5; 2,0 y 2,5kg de semilla-m<sup>2</sup> de bandeja en el rendimiento de FVH de maíz (*Zea mays* L.), uso del agua y el efecto del FVH en la ganancia de peso en cabras. Utilizando 2,5kg-m<sup>2</sup> se obtuvieron los mayores rendimientos en FVH y en materia seca (MS), pero la mayor conversión de semilla utilizada a FVH fue registrada en la DS de 2,0kg-m<sup>2</sup>. Los rendimientos de FVH y MS en las tres DS fueron similares al de las principales especies forrajeras, pero en una superficie 100 veces menor, sin uso de

agroquímicos y utilizando 30-50 veces menos agua. La calidad del FVH en las tres DS fue similar al de alimentos considerados como nutritivos para el ganado. Con excepción de proteína cruda y fibra detergente ácida, no fueron registradas diferencias significativas entre DS en las variables relacionadas con la calidad del forraje. Las dietas que incluyeron FVH incrementaron significativamente la ganancia de peso en cabras, registrándose 134,7 y 144,3g-día<sup>-1</sup> para 70 y 25% de FVH en la dieta, respectivamente. El FVH podría contribuir a la conversión de sistemas convencionales de producción de ganado al sistema orgánico o a elevar la condición nutricional del ganado en zonas áridas y semiáridas donde es común la subnutrición.

### Introducción

El forraje verde hidropónico (FVH) es una metodología de producción de alimento para el ganado que resulta propicia para evadir las principales dificultades encontradas en zonas áridas y semiáridas para la producción convencional de forraje. Las zonas áridas han sido consideradas como terrenos marginales para el desarrollo del sector agropecuario, siendo las razones principales para esta consideración la escasez permanente de lluvia, alta evaporación, y suelos y aguas de riego de baja calidad. No obstante estas limitaciones, la creciente demanda de productos agropecuarios ha ocasionado que tanto la agricultura como la ganadería hayan sido introducidas en ecosistemas frágiles de zonas áridas y se-

miáridas, los cuales son muy susceptibles a la degradación y en donde es improbable sostener altos rendimientos de manera sostenible para intentar satisfacer las necesidades (Cassman, 1999; Young, 1999). En los últimos años, la actividad agropecuaria en estas zonas se ha incrementado notablemente; sin embargo, su expansión ha tenido lugar sin el debido control ecológico y las tecnologías comúnmente utilizadas no son las más apropiadas, provocando problemas de contaminación de suelos y mantos acuíferos (Endo *et al.*, 2000), agotamiento de agostaderos y la extinción de especies de flora nativa (Martínez-Balboa, 1981).

Un sistema de producción agropecuario sostenible debe mejorar o al menos mantener los recursos naturales

sin devaluarlos, y no generar situaciones que disminuyen la actividad ganadera, como por ejemplo la contaminación (Nardone *et al.*, 2004). Consecuentemente, la búsqueda de metodologías alternativas de producción de forraje en las cuales se considere el ahorro de agua, altos rendimientos por m<sup>2</sup> ocupado, calidad nutricional, flexibilidad en la transferencia y mínimos impactos negativos sobre el medio ambiente es de particular importancia.

Considerando los puntos anteriores, se puede decir que el FVH puede constituirse en una opción alternativa a los métodos convencionales de producción de forraje que contribuya a una actividad agropecuaria sostenible en las zonas áridas y semiáridas. La producción de FVH es una tecnología de

desarrollo de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de plántulas en los estados de germinación y crecimiento temprano a partir de semillas con una alta tasa de germinación para producir un forraje vivo de alta digestibilidad, calidad nutricional y apto para la alimentación de animales (FAO, 2001). No obstante las ventajas que presenta el FVH en comparación con otras metodologías de producción de alimento para el ganado, persisten aun dudas y falta de conocimientos sobre la metodología apropiada y la calidad del alimento producido. En el presente estudio se evalúa la densidad de siembra en la producción de FVH de maíz (*Zea mays* L.), el uso de agua y el efecto de la calidad del forraje en la alimentación de cabras.

**PALABRAS CLAVE / Cabras / Forraje Verde Hidropónico / Ganadería Sostenible / Metodología Alternativa / Zonas Áridas /**

Recibido: 08/11/2007. Aceptado: 16/12/2008.

**Raúl López-Aguilar.** Doctor en Filosofía, Universidad de Tottori, Japón. Investigador Titular del Programa de Agricultura en Zonas Áridas del Centro de Investigaciones Biológicas

del Noroeste S.C. (CIBNOR), México. Dirección: Mar Bermejo No. 195, Col. Playa Palo de Santa Rita, La Paz, B.C.S. México. CP 23090. e-mail: daguilar04@cibnor.mx

**Bernardo Murillo-Amador.** Doctor en Ciencias, CIBNOR, México. Investigador del Programa de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR, México.

**Guadalupe Rodríguez-Quezada.** Ingeniero Agrónomo, Universidad Autónoma de Baja California Sur, México. Técnico del Programa de Agricultura en Zonas Áridas del CIBNOR, México.

**HYDROPONIC GREEN FODDER (HGF): AN ALTERNATIVE FOR CATTLE FOOD PRODUCTION IN ARID ZONES**

Raul López-Aguilar, Bernardo Murillo-Amador and Guadalupe Rodríguez-Quezada

**SUMMARY**

Hydroponic green fodder (HGF) is a cattle-food production methodology that allows avoiding the natural limitations that are found in arid zones in the conventional cultivation of fodder. Three seed densities (SD) were evaluated: 1.5; 2.0 and 2.5 kg of seeds·m<sup>-2</sup> of tray, in corn HGF yield, water use, and HGF effect on goat weight-gain. Using 2.5 kg·m<sup>-2</sup>, the highest yields were obtained in HGF and in dry matter (DM), but the highest conversion of used seed was recorded for a SD of 2.0 kg·m<sup>-2</sup>. HGF and DM in the three SD were similar to those of the main fodder species, but on a surface 100 times smaller, with no use of agrochemicals and using 30-50 times less water. HGF quality in the three SD was similar to that of foods considered as nu-

tritional for cattle. With the exception of crude protein and acid detergent fiber, no significant differences were recorded among SD in the variables related to fodder quality. Diets that included HGF significantly increased goat weight-gain, with 134.7 and 144.3 g·day<sup>-1</sup> for 70 and 25% HGF in the diet, respectively. HGF could contribute to the conversion of conventional cattle production systems to an organic system or to elevate the nutritional condition of cattle in arid and semi-arid zones where subnutrition is common.

**A FORRAGEM VERDE HIDROPÔNICA (FVH): UMA ALTERNATIVA DE PRODUÇÃO DE ALIMENTO PARA O GADO EM ZONAS ÁRIDAS**

Raúl López-Aguilar, Bernardo Murillo-Amador e Guadalupe Rodríguez-Quezada

**RESUMO**

A forragem verde hidropônica (FVH) é uma metodologia de produção de alimento para o gado que permite evadir as limitantes naturais encontradas em zonas áridas para o cultivo convencional de forragens. Avaliaram-se três densidades de plantação (DP): 1,5; 2,0 e 2,5kg de semente/m<sup>2</sup> de bandeja no rendimento de FVH de milho (*Zea mays* L.), uso da água e o efeito da FVH no aumento de peso em cabras. Utilizando 2,5kg·m<sup>-2</sup> se obtiveram os maiores rendimentos em FVH e em matéria seca (MS), mas a maior conversão de semente utilizada a FVH foi registrada na DP de 2,0kg·m<sup>-2</sup>. Os rendimentos de FVH e MS nas tres DP foram similares ao das principais espécies forrageiras, mas em uma superfície 100 vezes menor, sem uso de

agroquímicos e utilizando 30-50 vezes menos água. A qualidade da FVH nas três DP fue similar ao de alimentos considerados como nutritivos para o gado. Com exceção de proteína crua e fibra detergente ácida, não foram registradas diferenças significativas entre DP nas variáveis relacionadas com a qualidade da forragem. As dietas que incluíram FVH incrementaram significativamente o aumento de peso em cabras, registrando-se 134,7 e 144,3g/dia para 70 e 25% de FVH na dieta, respectivamente. A FVH poderia contribuir à conversão de sistemas convencionais de produção de gado ao sistema orgânico ou a elevar a condição nutricional do gado em zonas áridas e semi-áridas onde é comum a subnutrição.

**Materiales y Métodos****Material genético**

Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays* L.) con un alto grado de germinación (95%) y buena calidad física (sin impurezas y solo 3% de semillas quebradas).

**Evaluación del rendimiento**

Para evaluar el rendimiento y calidad del FVH, y efectuar comparaciones con otras especies forrajeras, el FVH fue desarrollado mediante el siguiente procedimiento:

**Densidad de siembra.** Las semillas fueron pesadas con la finalidad de tener tres densidades de siembra; a) 1,5 kg·m<sup>-2</sup>, b) 2,0 kg·m<sup>-2</sup> y c) 2,5 kg·m<sup>-2</sup>.

**Lavado y desinfección de semillas.** Las semillas se depositaron en botes de plástico de 20l de capacidad perforados tanto en el fondo como en las paredes laterales y se colocaron en una pileta de concreto. Se vertió agua corriente a la pileta de tal manera que el nivel subiera al doble del espacio ocupado por las semillas. Se agitaron suavemente las semillas dentro de los botes para su lavado y se retiraron impurezas y fragmentos de semillas utilizando un cedazo. El agua de lavado fue desechada y remplazada por igual volumen de agua limpia. Para escarificar y eliminar patógenos adheridos a las semillas se agregó 1g de cal hidratada (CaOH) por litro

de agua. Las semillas fueron mantenidas bajo estas condiciones durante 24h.

**Germinación de semillas.** Para iniciar el proceso de germinación (emergencia de la radícula) se levantaron los botes perforados para desechar el agua con cal y las semillas que quedaron en ellos se vertieron en cajas de madera y fueron cubiertas con una tela negra para mantenerlas bajo condiciones de oscuridad durante 48h. En esta etapa, las semillas fueron humedecidas con agua a intervalos irregulares con el propósito de evitar su deshidratación.

**Siembra en bandejas.** Cuando las radículas de las semillas en las cajas de madera

alcanzaron una longitud de 1,5-2,0cm, fueron transferidas a bandejas de plástico (30×60×10cm) en las cantidades equivalentes a 1,5; 2,0 y 2,5kg de semilla/m<sup>-2</sup> de bandeja. Las bandejas con las semillas fueron regadas con agua corriente utilizando regadera manual a intervalos irregulares para evitar la deshidratación y promover el crecimiento de las plántulas.

**Crecimiento y cosecha.** Las plántulas obtenidas fueron regadas diariamente con agua corriente hasta su cosecha a los 14 días después del lavado y desinfección de las semillas.

Para evaluar el rendimiento de las diferentes densi-

dades de siembra, el FVH de ocho bandejas de cada tratamiento fue cosechado y se determinó su peso fresco. Posteriormente, el FVH de cada bandeja fue identificado y se colocó en el interior de un invernadero de plástico para iniciar su proceso de deshidratación. Después de una semana bajo estas condiciones, el FVH se colocó en bolsas de papel y se metieron en una estufa de aire forzado a 70°C durante tres días para finalizar su deshidratación y determinar entonces su peso seco.

#### Calidad nutricional del FVH

La calidad nutricional del FVH fue determinada a partir de muestras de materia seca obtenidas en cada tratamiento y molidas con un molino de café (Mr.Coffee Products, Model IDS57) suficientemente para pasar una criba de Imm. Posteriormente se efectuaron análisis proximales y minerales.

Los análisis proximales se realizaron de acuerdo a las normas establecidas en AOAC (1990). Las determinaciones realizadas fueron proteína cruda (PC), energía metabólica (EM), fibra detergente ácida (FDA), lignina, celulosa, cenizas y humedad.

En la determinación de minerales, los cationes y fósforo fueron extraídos mediante mezcla de  $H_2SO_4:HNO_3:HClO_4$  (1:10:4). Los contenidos de Ca, Mg, K, Na, Fe, Zn y Cu fueron estimados por espectrofotometría de absorción atómica (Shimadzu HIC-6A), mientras que el P fue estimado por el método azul de molibdeno midiendo la absorbancia a 660nm en un espectrofotómetro (Hitachi U-1100).

#### Determinación del uso de agua

Debido a las características del sistema

TABLA I  
COMPOSICIÓN DE LAS DIETAS UTILIZADAS PARA  
EVALUAR EL EFECTO DEL FVH DE MAÍZ EN  
VARIACIONES DE PESO CORPORAL EN CABRAS

Tratamiento	Ingredientes	Proporción (%)	PC (%)	EM (Mcal·kg <sup>-1</sup> MS)
D1	Heno de alfalfa	62	21,0	2,35
	Maíz blanco	20	8,5	3,00
	Ensilaje de maíz	18	2,2	1,30
D2	FVH de maíz	70	14,0	3,90
	Heno de coquia*	30	17,4	2,00
D3	FVH de maíz	25	14,0	3,90
	Heno de coquia*	65	17,4	2,00
	Ensilaje de maíz	10	2,2	1,30

\*Coquia (*Kochia scoparia* L.): planta halófila con buenas características forrajeras.

comúnmente utilizado para producir FVH, la evaluación del uso eficiente de agua (UEA) se determinó como

$$UEA \text{ (kg MS/m}^3\text{)} = \text{rendimiento de MS de FVH (kg) / uso de agua (m}^3\text{)}.$$

La cuantificación del uso de agua en el proceso de producción de FVH incluyó la destinada al lavado de bandejas, lavado y desinfección de semillas, humedecimiento de semillas germinadas y riegos de plántulas en las bandejas.

#### Evaluación del FVH en la alimentación de cabras

Se cuantificó el efecto de la inclusión del FVH en la alimentación al determinar los cambios en el peso corporal de cabras. Se seleccionaron 12 cabras hembras cruzadas de raza nubia, desparasitadas y vitaminadas antes de iniciar el experimento, las cuales fueron distribuidas aleatoriamente en corrales individuales con comederos

y bebederos de lámina de 10 y 20l de capacidad, respectivamente. Durante todo el tiempo que duró el experimento se les proporcionó agua fresca a consumo libre. Se elaboraron tres dietas, en dos de las cuales se incluyó el FVH (Tabla I). Las dietas fueron balanceadas en contenido proteico (15% PC) y la energía metabolizable varió de 2,8 a 3,3Mcal·kg<sup>-1</sup> MS. Los ingredientes de las dietas fueron molidos y se utilizó una criba de 5mm para minimizar la selectividad. Cada dieta fue proporcionada aleatoriamente a cuatro cabras para tener tres tratamientos (D1-D3) con cuatro repeticiones.

El peso de las cabras antes de iniciar tratamientos fue de 31,3 ±2,1; 33,7 ±1,3 y 36,2 ±2,9kg en los tratamientos D1, D2 y D3, respectivamente. Las dietas fueron proporcionadas diariamente ajustando las cantidades ofrecidas de manera individual, con base en el peso corporal y el alimento rechazado se determinaba al día siguiente a

TABLA II  
RENDIMIENTO DE FVH DE MAÍZ PRODUCIDO CON TRES  
DENSIDADES DE SIEMBRA Y COSECHADOS A LOS 14 DÍAS  
DESPUÉS DEL LAVADO Y DESINFECCIÓN DE SEMILLAS

Densidad de siembra (DS) (kg·m <sup>-2</sup> )	Rendimiento		Conversión (FVH/DS)	Rendimiento anual (Invernadero 6×15m)	
	(kg FVH/m <sup>2</sup> )	(kg MS/m <sup>2</sup> )		(ton FVH)	(ton MS)
1,5	12,95 ±0,75 a	2,68 ±0,32 a	8,63 a	69,93	14,47
2,0	18,75 ±1,05 b	3,92 ±0,44 b	9,37 b	101,24	21,16
2,5	21,20 ±0,95 c	4,62 ±0,37 c	8,48 a	114,48	24,95

Los valores presentados son el promedio de 8 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas para p<0,05.

las 8:00h. Los animales se pesaron cada 7 días a las 8:00h con una báscula digital (Cardinal SHCD) con capacidad de 99,95 ±0,05kg, para lo cual se les retiró el agua y alimento a las 17:00h del día anterior.

#### Diseño experimental y análisis estadístico

Para evaluar rendimiento y calidad nutricional del FVH se utilizó un diseño experimental completamente al azar. En el experimento cada bandeja fue considerada como una unidad experimental y cada tratamiento fue repetido 8 veces. El diseño utilizado para evaluar el efecto del FVH en el peso de cabras fue completamente al azar. Los datos obtenidos fueron analizados por ANOVA, seguido de la prueba de Tukey para comparar medias a p<0,05, utilizando el paquete estadístico Statistica Ver. 7.0 (SPSS, 1996).

#### Resultados

En la Tabla II se presenta el rendimiento de FVH utilizando las tres densidades de siembra (DS). También se incluye el rendimiento esperado en un invernadero de plástico (6×15m) equipado para producir FVH, cuyas características permite utilizar 750 bandejas de plástico (60×30×10cm) o lo que es equivalente a 180m<sup>2</sup> (15m<sup>2</sup>·día<sup>-1</sup>) para utilizarse en la producción de FVH.

El rendimiento de FVH y la producción de MS aumentaron significativamente con el incremento de la DS. Utilizando una DS de 2,5kg de semilla·m<sup>-2</sup> de bandeja sembrada se obtuvieron los rendimientos mas altos tanto en FVH como en MS, pero la mas elevada conversión de kg de semilla utilizada a kg de FVH fue registrada en la DS de 2,0kg de semilla·m<sup>-2</sup> de bandeja. Los rendimientos estimados utilizando el invernadero de plás-

**TABLA III**  
**CONSUMO DE AGUA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE FVH**  
**Y USO EFICIENTE DEL AGUA (UEA) CALCULADO**  
**EN LAS DENSIDADES DE SIEMBRA EVALUADAS**

Actividad	l-día <sup>-1</sup>	kg MS/28m <sup>2</sup>	Densidad de siembra		
			D1	D2	D3
Lavado de bandejas	20		75	110	129
Lavado y desinfección de semillas	155	Uso de agua**	1166	1166	1166
Humedecimiento de semillas	15	UEA	64	95	111
Riego de bandejas	60				
<b>Total*</b>	<b>250</b>				

\* Se refiere al uso por los tres tratamientos, ya que en cada densidad se utilizó la misma cantidad de agua. \*\* Uso en 14 días por cada tratamiento.

**TABLA IV**  
**VALOR NUTRICIONAL DEL FVH DE MAÍZ UTILIZANDO TRES**  
**DENSIDADES DE SIEMBRA Y COSECHADO A LOS 14 DÍAS**  
**DESPUÉS DEL LAVADO Y DESINFECCIÓN DE LAS SEMILLAS**

Variable	Unidad	Densidad de siembra (kg·m <sup>-2</sup> )		
		1,5	2,0	2,5
PC	(%)	14,5 ±0,5 a	15,2 ±0,6 b	15,8 ±0,9 b
EB	(Mcal·kg <sup>-1</sup> MS)	3,9 ±0,3 a	4,1 ±0,5 a	4,2 ±0,6 a
EM	(Mcal·kg <sup>-1</sup> MS)	2,4 ±0,3 a	2,5 ±0,5 a	2,5 ±0,6 a
FDA	(%)	31,6 ±2,1 b	28,7 ±1,9 a	28,5 ±1,5 a
Lignina	(%)	6,9 ±1,3 a	6,4 ±1,2 a	6,1 ±1,8 a
Celulosa	(%)	22,6 ±2,9 a	21,8 ±1,7 a	22,1 ±3,2 a
Materia seca	(%)	20,7 ±1,9 a	20,9 ±2,1 a	21,8 ±2,0 a
Cenizas	(%)	6,8 ±1,4 a	6,7 ±1,2 a	6,9 ±2,2 a
DMS *	(%)	64,3 ±3,1 a	66,5 ±2,8 a	66,7 ±2,6 a

\* DMS: Digestibilidad de la materia seca= 88,9 (%FDA×0,779)  
 Letras diferentes en las hileras de cada variable indican diferencias significativas a p<0,05.

tico descrito previamente son similares a los que se reportan en diversos cultivos forrajeros, pero en una superficie 100 veces menor.

En la Tabla III se presenta el consumo de agua por actividad en el proceso de producción del FVH y el UEA determinado para cada densidad de siembra. Debido a que el agua se utilizó en la misma cantidad para las tres DS, el UEA se elevó significativamente con el incremento en rendimiento (kg MS/28m<sup>2</sup>) en los tratamientos que tuvieron mayores DS.

Se encontró que la mayoría de los parámetros relacionados con la calidad del forraje (Tabla IV) están dentro de los rangos de los alimentos considerados como nutritivos para el ganado. La PC del FVH se incrementó significativamente en las DS mas altas, sin embargo se encontró que la concentración de PC del FVH producido con 2,0 y 2,5kg·m<sup>-2</sup> de bandeja fue estadísticamente igual. En las otras variables presentadas, con

excepción de la concentración de FDA en la DS de 1,5kg·m<sup>-2</sup>, no fueron detectadas diferencias significativas.

En las tres DS se observó que la concentración de PC fue menor en la etapa inicial de crecimiento del FVH, registrándose su mayor concentración a 14-16 días para posteriormente iniciar su descenso (Figura 1). Los valores promedios de EB variaron de 3,8 a 4,2Mcal·kg<sup>-1</sup> MS en las tres DS, sin diferencias significativas entre DS ni entre días de muestreo. Hasta los 14 días, la FDA varió de 27 a 31%, pero a partir de este tiempo de muestreo la concentración de FDA se incrementó significativamente, alcanzando valores de 38-43%.

La composición mineral del FVH de maíz y los requerimientos

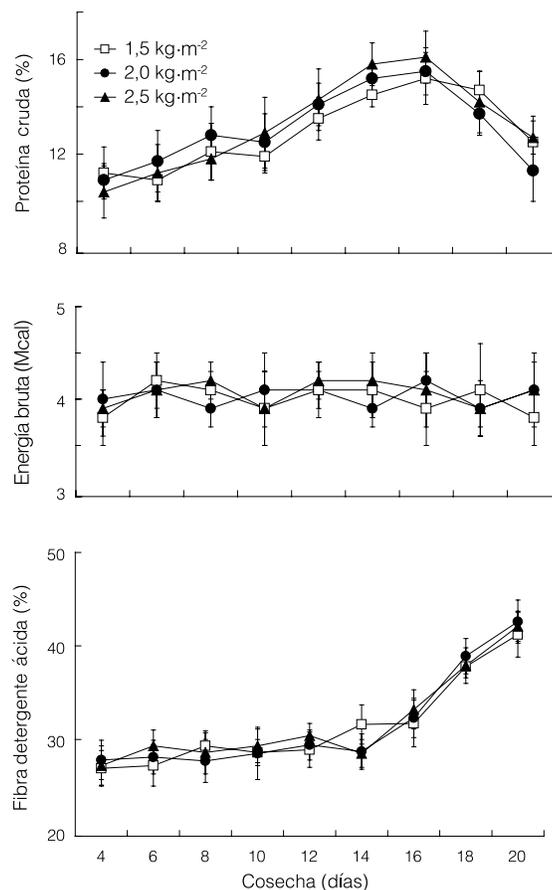


Figura 1. Concentración de proteína cruda, energía bruta y fibra detergente ácida en el FVH de maíz utilizando tres densidades de siembra.

para mantenimiento y desarrollo de rumiantes (ARC, 1980; NRC, 1989, 1996) se muestran en la Tabla V. Los niveles encontrados en todos los minerales son considerados satisfactorios para la nutrición de rumiantes. Únicamente podría

existir la necesidad de ajustar la relación Ca:P, ya que se recomienda como importante mantenerla en 2:1.

La inclusión del FVH de maíz en la alimentación de ganado caprino manifestó efectos positivos en la ganancia de peso (Figura

**TABLA V**  
**COMPOSICIÓN MINERAL DEL FVH DE MAÍZ (EN BASE A MS)**  
**COSECHADO A LOS 14 DÍAS DESPUÉS DEL LAVADO**  
**Y DESINFECCIÓN DE SEMILLAS UTILIZANDO TRES**  
**DENSIDADES DE SIEMBRA**

Elemento	Requerimiento de rumiantes (%)	Densidad de siembra (kg·m <sup>-2</sup> )		
		1,5	2,0	2,5
Calcio	0,18-0,60	0,16 ±0,07 a	0,20 ±0,06 ab	0,26 ±0,09 b
Magnesio	0,13-0,15	0,21 ±0,03 a	0,25 ±0,03 a	0,28 ±0,04 b
Potasio	0,60-0,80	0,83 ±0,07 a	0,79 ±0,09 a	0,82 ±0,06 a
Sodio	0,10-0,20	0,26 ±0,07 a	0,22 ±0,05 a	0,24 ±0,08 a
Fósforo	0,18-0,43	0,32 ±0,09 a	0,33 ±0,03 a	0,38 ±0,07 a
	(ppm)		(ppm)	
Hierro	40-50	95 ±23 a	102 ±19 a	98 ±31 a
Zinc	30-50	42 ±12 a	48 ±17 a	52 ±14 a
Cobre	5-20	16 ±9 a	11 ±8 a	15 ±9 a

Los valores presentados son el promedio de 8 repeticiones ± desviación estándar. Letras diferentes en las hileras de cada variable indican diferencias significativas a p<0,05.

2). Las tres dietas ocasionaron que el peso de las cabras se incrementara significativamente en el periodo de tratamiento. Sin embargo, en las dietas que incluyeron FVH fueron las que registraron las mayores ganancias de peso, con 134,7 y 144,3g·día<sup>-1</sup> para D2 y D3, respectivamente. Las cabras alimentadas con D1 obtuvieron una ganancia de peso de 95,5g·día<sup>-1</sup>, significativamente menor en comparación con D2 y D3. El rechazo de las dietas fue mínimo y solamente en algunos días se registró un rechazo estimado en 10% que no fue específico para ninguna dieta en particular.

## Discusión

Los beneficios de la agricultura han sido inmensos. En los últimos 40 años la producción de granos para la alimentación del hombre o de animales domésticos se ha duplicado, principalmente por el incremento en los rendimientos de los cultivos debido a mayores aplicaciones de fertilizantes, agua y pesticidas, mejoramiento genético y otras tecnologías que surgieron de la Revolución Verde (Tilman *et al.*, 2002). Sin embargo, las prácticas agrícolas que han incrementado notablemente el suplemento mundial de alimentos ocasionan indudablemente impactos negativos sobre el medioambiente, obligando a buscar metodologías agrícolas más sustentables.

En numerosos países, como por ejemplo Australia, la industria lechera es uno de los principales usuarios del agua de riego (Linehan *et al.*, 2004) y se encuentra presionada para utilizarla con mayor eficiencia (Armstrong, 2004). Por otro lado, es comúnmente reportado que para producir 1kg de carne se requiere entre 3 y 12kg de alimento obtenido a partir de especies forrajeras que requieren grandes cantidades de agroquímicos y agua de riego para lograr altos rendimientos

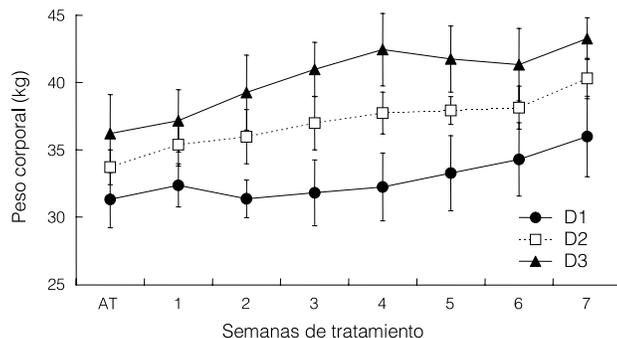


Figura 2. Evolución del peso corporal de cabras alimentadas con dietas que incluyen FVH de maíz.

(Tabla VI).

Utilizando la metodología de producción de FVH se puede cosechar anualmente 15-25ton de materia seca (Tabla II). Este rendimiento es equivalente al de la alfalfa, sorgo o maíz (Tabla VI), pero en una superficie 100 veces menor y sin utilización de agroquímicos. Para obtener de 1 a 8kg de MS de alimento para el ganado cultivando especies mediante métodos convencionales se emplea 1m<sup>3</sup> de agua de riego, mientras que utilizando este mismo volumen de agua en la producción de FVH se obtienen alrededor de 100kg de MS de forraje (Tabla III) de buena calidad nutricional para alimentar diversos tipos de ganado (FAO, 2001). Aunque se han evaluado métodos de riego recientemente incorporados a los sistemas agrícolas, como el riego por goteo subterráneo, para producir pasturas con menores cantidades de agua (Ayars *et*

*al.*, 1999; Alam *et al.*, 2002; Godoy-Ávila *et al.*, 2003), la realidad es que el UEA aun sigue manteniendo valores bajos de 1,6-1,9kg MS·m<sup>-3</sup> en comparación con los calculados para el sistema de producción de FVH.

En diversos estudios se ha demostrado que la calidad nutricional del FVH es valiosa, ya que se le han encontrado características apropiadas, como excelente gusto y un alto contenido de proteína cruda (Müller *et al.*, 2005). Entre los factores que influyen en el valor nutricional del FVH se encuentran la calidad del agua de riego (Amorim *et al.*, 2005), tiempo de cosecha y densidad de siembra (Müller *et al.*, 2005). Desde el punto de vista cuantitativo, entre los componentes alimenticios para el ganado, los energéticos y proteínicos son los más requeridos. Los resultados del presente estudio indican que el contenido de PC (13-14%) y energía metabólica (2,4-2,5Mcal·kg<sup>-1</sup> MS) del FVH es suficiente para satisfacer los requerimientos de diversos tipos de ganado. Por ejemplo, cuando se alimentan vacas lecheras utilizando dietas con menos de 6% de PC se ha encontrado que el consumo de alimento se reduce y ocasiona una deficiencia combinada

de proteína y energía (Perkins, 1957) y que cuando las cabras sufren de una deficiencia prolongada de proteína el desarrollo fetal se retrasa, disminuye el peso de los cabritos al nacimiento y la producción de leche se reduce (Singh y Sengar, 1970). Un forraje de buena calidad aporta EM de alrededor de 2Mcal·kg<sup>-1</sup> de MS. Cuando se alimentan cabritos recién destetados o cabras lecheras de alta producción es indispensable incrementar el contenido de energía de la dieta a 2,5-3,0Mcal·kg<sup>-1</sup>MS utilizando concentrados (Morand-Fehr y Sauvant, 1980). Sin embargo, estos suplementos alimenticios formulados en base a granos y pastas de oleaginosas generalmente se importan de países desarrollados, elevando los costos de producción y propiciando también la competencia con el hombre por alimentos. El FVH es un alimento con el suficiente valor nutricional para considerarlo como un suplemento alimenticio ideal para elevar la condición nutricional del ganado, principalmente en zonas áridas y semiáridas donde es común que los animales pasen por periodos de subnutrición en diferentes etapas de su vida (Espinoza *et al.*, 2007).

Otro criterio comúnmente utilizado para determinar la calidad del forraje es la digestibilidad. En las paredes celulares de los vegetales existe una fracción digerible y otra no digerible. El contenido de FDA es una cuantificación de la fracción indigerible. En el FVH la FDA varía con el tiempo de cosecha, observándose valores menores en la etapa inicial y valores mayores en la etapa final. Este comportamiento es similar a otras plantas forrajeras en las cuales se ha reportado que conforme la planta madura, su contenido de FDA aumenta, y la ingestión y digestibilidad se reduce (Van Soest *et al.*, 1978). Los requerimientos de fibra por el ganado es un factor importante en diversos procesos fisiológicos. La FDA es el mejor indicador de los requerimientos de fibra para una fermentación saludable en el rumen. El NRC (1989) indica que las raciones del ganado lechero deben contener 19-27%

TABLA VI  
RENDIMIENTO ANUAL Y USO EFICIENTE DEL AGUA (UEA) DE ALGUNAS ESPECIES FORRAJERAS COMÚNMENTE CULTIVADAS

Especie	Rendimiento anual (ton MS/ha)	UEA (kg MS/m <sup>3</sup> )
Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.)	16-20 <sup>1</sup>	1,59-2,10 <sup>5</sup>
Avena ( <i>Avena sativa</i> L.)	4-13 <sup>2</sup>	1,90-2,00 <sup>10</sup>
Cebada ( <i>Hordeum vulgare</i> L.)	8-2 <sup>2</sup>	0,36-0,67 <sup>8</sup>
Maíz ( <i>Zea mays</i> L.)	12-24 <sup>3</sup>	2,75-2,88 <sup>9</sup>
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> L.)	14-18 <sup>4</sup>	7,40-8,60 <sup>4</sup>
Trigo ( <i>Triticum aestivum</i> L.)	8-10 <sup>5</sup>	1,50-1,75 <sup>5</sup>
Triticale ( <i>Triticosecale</i> Wittmarck)	6-14 <sup>6</sup>	1,80 <sup>10</sup>
Ryegrass ( <i>Lolium multiflorum</i> Lam.)	8-12 <sup>7</sup>	0,72-1,65 <sup>11</sup>

<sup>1</sup> Urbano y Dávila, 2003; <sup>2</sup> Carr *et al.*, 1998; <sup>3</sup> Lauer *et al.*, 2001; <sup>4</sup> Saeed y El-Nadi, 1998; <sup>5</sup> Jefferson y Cutforth, 2005; <sup>6</sup> Rao *et al.*, 2000; <sup>7</sup> Redfearn *et al.*, 2002; <sup>8</sup> Azooz y Arshad, 1998; <sup>9</sup> Howell *et al.*, 1998; <sup>10</sup> Unger, 2001; <sup>11</sup> Stout y Schnabel, 1997.

de FDA. Si el suplemento es menor, el contenido de grasa en la leche puede disminuir.

El ganado requiere de diversos elementos minerales, los cuales en su mayoría pueden obtenerse directamente de un buen forraje. La relación entre Ca y P es la de mayor importancia y debe mantenerse en ~2:1. Los requerimientos de Ca y P por el ganado dependen fuertemente de la edad, tasa de crecimiento y nivel de producción de leche.

Los requerimientos nutricionales del ganado se encuentran en las tablas de necesidades y alimentos del NRC (1989, 1996) y ARC (1980). Si bien esta información ha sido obtenida con otras razas y otros ambientes, se consideran de utilidad como guía para la alimentación de los rebaños de otras zonas hasta que se disponga de información propia para cada raza y condiciones ambientales y de manejo.

La metodología de producción de FVH podría contribuir de manera importante en la conversión de los sistemas convencionales de producción de ganado al sistema orgánico, particularmente en aquellas regiones del mundo donde las cabras y algunas poblaciones de ganado bovino criollo están concentrados en regiones marginadas desarrollándose en ambientes naturales, utilizando para su alimentación el agostadero y pastizales no fertilizados y que rara vez reciben tratamiento con algún fármaco (Espinoza et al., 2007).

Por estas características, los sistemas de producción extensivos en estos sitios pudieran tener muchas posibilidades de convertirse de sistemas convencionales de producción a sistemas de producción orgánica. Sin embargo, considerando los estándares de la ganadería orgánica, un serio inconveniente en la conversión podría ser el bienestar animal, ya que es común la subnutrición en los animales. Una estrategia para resolver este problema pudiera ser la utilización de FVH como suplemento alimenticio.

Aunque se ha indicado que el FVH debe emplearse como complemento y no como un

sustituto total de los forrajes convencionales (FAO, 2001), puede convertirse en un forraje ideal para incrementar la condición nutricional del ganado, principalmente en zonas áridas y semiáridas donde es común la escasez de alimento para el ganado. Además, la incorporación de algunos componentes como levaduras marinas para disminuir la proliferación de hongos patógenos o algas marinas como sustrato para disminuir la deshidratación de semillas podría enriquecerlo nutricionalmente.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo de Arturo Naranjo Murillo en el trabajo de campo y a Sonia Rocha y Mario Benson Rosas por los análisis químicos. Este trabajo fue financiado con fondos del Proyecto 905-3 de FUNDACIÓN PRODUCE, B.C.S.

#### REFERENCIAS

- Alam M, Trooien TP, Dumler TJ, Rogers DH (2002) Using subsurface drip irrigation for alfalfa. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 38: 1715-1721.
- Amorim DMB, Notaro IA, Furtado DA, Ghey HR, Baracuhy JGV (2005) Avaliação de diferentes níveis de salinidade da água utilizada na produção de forragem hidropônica de milho. *R. Bras. Eng. Agric. Amb.* 104: 339-342.
- AOAC (1990) *Official Methods of Analysis*. 15<sup>a</sup> ed. Vol. 1. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, EEUU. 1928 pp.
- ARC (1980) *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Commonwealth Agricultural Bureau. Londres, RU. 31, 166-168 pp.
- Armstrong DP (2004) Water use efficiency and profitability on an irrigated dairy farm in northern Victoria: a case study. *Aust. J. Exp. Agric.* 44: 137-144.
- Ayars JE, Phene CJ, Hutmacher RB, Davis KR, Schoneman RA (1999) Subsurface drip irrigation of row crops: a review of 15 years of research at the Water Management Research Laboratory. *Agric. Water Manag.* 42: 1-27.
- Azooz RH, Arshad MA (1998) Effect of tillage and residue management on barley and canola growth and water use efficiency. *Can. J. Soil Sci.* 78: 649-656.
- Carr PM, Martin GB, Caton JS, Poland WW (1998) Forage and nitrogen yield of barley-pea and oat-pea intercrops. *Agron. J.* 90: 79-84.
- Cassman KG (1999) Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96: 5952-5959.
- Endo T, Yamamoto S, Honna T, Takashima M, Imura I, López R, Benson M (2000) Behaviour and distribution of salts under irrigated agriculture in the middle of Baja California, México. *Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 71: 18-26.
- Espinoza JL, Palacios A, Ávila N, Guillén A, De Luna R, Ortega R, Murillo B (2007) La ganadería orgánica, una alternativa de desarrollo pecuario para algunas regiones de México: una revisión. *Interciencia* 32: 385-390.
- FAO (2001) *Manual Técnico Forraje Verde Hidropónico*. Santiago, Chile. 55 pp.
- Godoy-Ávila C, Pérez-Gutiérrez A, Torres-E CA, Hermosillo LJ, Reyes-J I (2003) Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa con riego por goteo. *Agrociencia* 37: 107-115.
- Howell TA, Tolck JA, Schneider AD, Evett SR (1998) Evapotranspiration, yield, and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. *Agron. J.* 90: 3-9.
- Jefferson PG, Cutforth HW (2005) Comparative forage yield, water use, and water use efficiency of alfalfa, crested wheatgrass and spring wheat in a semiarid climate in southern Saskatchewan. *Can. J. Plant Sci.* 85: 877-888.
- Lauer JG, Coors JG, Flannery PJ (2001) Forage yield and quality of corn cultivars developed in different eras. *Crop Sci.* 41: 1449-1455.
- Linehan CJ, Armstrong DP, Doyle PT, Johnson F (2004) A survey of water use efficiency on irrigated dairy farms in northern Victoria. *Austr. J. Exp. Agric.* 44: 131-136.
- Martínez-Balboa A (1981) *La Ganadería en Baja California Sur*. Vol. I. Editorial J.B. La Paz, BCS, México. 229 pp.
- Morand-Fehr P, Sauvart D (1980) Composition and yield of goat milk as affected by nutritional manipulation. *J. Dairy Sci.* 63: 1671-1680.
- Müller L, Manfron PA, Santos OS, Medeiros SLP, Haut V, Neto DN, Fagan EB, Bandeira AH (2005) Produção e composição bromatológica da forragem hidropônica de milho, *Zea mays* L., com diferentes densidades de sementeira e datas de colheita. *Zootecn. Trop.* 23: 105-119.
- Nardone A, Zervas G, Ronchi B (2004) Sustainability of small ruminant organic systems of production. *Livest. Prod. Sci.* 90: 27-39.
- NRC (1989) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6<sup>a</sup> ed. rev. National Academy Press Washington, DC, EEUU. 157 pp.
- NRC (1996) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7<sup>a</sup> ed. rev. National Academy Press Washington, DC, EEUU. 242 pp.
- Perkins AE (1957) The effect of rations excessively high and extremely low in protein content on dairy cows. *Ohio Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 799.
- Rao SC, Coleman SW, Volesky JD (2000) Yield and quality of wheat, triticale, and Elytricum forage in the southern plains. *Crop Sci.* 40: 1308-1312.
- Redfearn DD, Venuto BC, Pitman WD, Alison MW, Ward JD (2002) Cultivar and environment effects on annual ryegrass forage yield, yield distribution, and nutritive value. *Crop Sci.* 42: 2049-2054.
- Saeed IAM, El-Nadi AH (1998) Forage sorghum yield and water use efficiency under variable irrigation. *Irrig. Sci.* 18: 67-71.
- Singh SN, Sengar OPS (1970) Investigation on Milk and Meat Potentialities of Indian Goats, 1965-1970. Tech. Report Project A7-AH18. Raja Balwant Singh College, Bichpuri, India. 259 pp.
- SPSS (1996) *SPSS 7.0 for Windows 95*. SSPS Inc. Chicago, IL, EEUU.
- Stout WL, Schnabel RR (1997) Water use efficiency of perennial ryegrass as affected by soil drainage and nitrogen fertilization on two floodplain soils. *J. Soil Water Cons.* 52: 207-211.
- Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S (2002) Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418: 671-677.
- Unger PW (2001) Alternative and opportunity dryland crops and related soil conditions in the southern Great Plains. *Agron. J.* 93: 216-226.
- Urbano D, Dávila C (2003) Evaluación del rendimiento y composición química de once variedades de alfalfa (*Medicago sativa*) bajo corte en la zona alta del estado de Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* 20: 97-107.
- Van Soest PJ, Mertens DR, Deinum B (1978) Preharvest factors influencing quality of conserved forage. *J. Anim. Sci.* 47: 712-720.
- Young A (1999) Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries. *Env. Dev. Sustain.* 1: 3-18.