

PRODUCCIÓN DE FORRAJE HIDROPÓNICO DE TRIGO Y CEBADA Y SU EFECTO EN LA GANANCIA DE PESO EN BORREGOS

Felipe Sánchez Del Castillo; Esaú del Carmen Moreno Pérez*;
Efraín Contreras Magaña; Joaquín Morales Gómez

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia, km 38.5 carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México.
MÉXICO. C.P. 56230. Tel. 01 (595) 952 1642. Correo-e: esaump10@yahoo.com.mx (*Autor para correspondencia).

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar el efecto de diferentes densidades de semilla sobre la producción de forraje verde hidropónico (FVH) de trigo y cebada, así como el valor nutritivo del FVH obtenido y su efecto en la ganancia de peso de ganado ovino. Se compararon tres densidades de semilla en dos especies (4.7, 5.2 y 5.7 kg·m⁻² para trigo, y 3.5, 3.9 y 4.3 kg·m⁻² para cebada). Se usó un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones. La mejor densidad para trigo fue 4.7 kg·m⁻², con rendimiento de 30.2 kg·m⁻² en peso fresco y relación de conversión de peso de semilla a peso de forraje fresco de 1:6.4. Para cebada fue de 3.5 kg·m⁻², con rendimiento de 32.8 kg·m⁻² y relación de conversión de 1:9.3. Al incrementar la densidad, el contenido de materia seca y la relación de conversión disminuyeron. En otro experimento se evaluó la ganancia de peso en borregos Pelibuey en tres sistemas de alimentación: FVH de trigo, concentrados (sorgo molido y pasta de soya en relación 4:1) y pastoreo complementado con alimento concentrado. Se usó un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Con el FVH se obtuvo una ganancia diaria de peso vivo de 159 g, contra 136 g en el sistema de pastoreo con alimento concentrado y 116 g en el de alimento concentrado. Se concluye que en la alimentación de borregos Pelibuey con propósitos de engorda, el uso del FVH trigo es una alternativa técnica y económicamente viable.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Hidroponía, densidad de semilla, nutrición.

HYDROPONIC WHEAT AND BARLEY FODDER YIELDS AND THEIR EFFECT ON WEIGHT GAIN IN SHEEP

ABSTRACT

The objectives of this work were to evaluate the effect of different seed densities on hydroponically-grown wheat and barley fodder yields, as well as the nutritional value of each hydroponic fodder obtained and its effect on weight gain in sheep. Three seed densities for two species were compared (4.7, 5.2 and 5.7 kg·m⁻² for wheat, and 3.5, 3.9 and 4.3 kg·m⁻² for barley). A randomized complete block design with 10 replications was used. The best density for wheat was 4.7 kg·m⁻², with a yield of 30.2 kg·m⁻² in fresh weight and a conversion ratio from seed weight to fresh fodder weight of 1:6.4. For barley the best density was 3.5 kg·m⁻², with a yield of 32.8 kg·m⁻² and a conversion ratio of 1:9.3. By increasing the density, both the dry matter content and the conversion ratio decreased. In another experiment, weight gain in Pelibuey sheep in three feeding systems was evaluated: hydroponic wheat fodder, concentrates (milled sorghum and soybean meal at a 4:1 ratio) and grazing feed supplemented with concentrate feed. A completely randomized design with four replications was used. A daily gain of 159 g in body weight was obtained with hydroponic fodder, against 136 g in the grazing system supplemented with concentrate feed, and 116 g with the concentrate diet alone. It is concluded that the use of hydroponically-grown wheat fodder is a technically and economically viable option for feeding Pelibuey sheep for fattening purposes.

ADDITIONAL KEYWORDS: Hydroponics, seed density, nutrition.

INTRODUCCIÓN

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) es una tecnología de obtención de biomasa vegetal obtenida a partir de los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas (principalmente de cereales) provenientes de semillas viables. El FVH es un forraje vivo de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal (Anónimo, 2001).

En zonas con fenómenos climatológicos adversos, tales como sequías prolongadas, heladas constantes, nevadas, inundaciones, o localidades ubicadas en regiones montañosas con alto índice de marginación, se limita el acceso al forraje producido en forma convencional para alimentación de animales.

En México, alrededor de 100 millones de hectáreas se ubican en zonas áridas o semiáridas y un 70 % del territorio nacional presenta suelos con pendientes pronunciadas que limitan la agricultura y ganadería convencional (Sánchez *et al.*, 2010). Quienes se dedican a la engorda de ganado o producción de sus derivados en estas regiones enfrentan serios problemas por la escasez de forraje fresco, ya sea por la falta de agua o las limitaciones de la productividad de un suelo accidentado, lo que ocasiona abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, problemas de fertilidad, o la muerte de los animales, especialmente a nivel de pequeños y medianos productores ganaderos o de animales menores.

Una alternativa tecnológica para hacer frente a estos problemas, y que ha dado buenos resultados en países desarrollados, incluso en vías de desarrollo, es el sistema de producción de forraje verde en hidroponía. En muy poco tiempo, usando muy poca superficie y con una gran eficiencia en el uso del agua, permite obtener muy alto rendimiento por unidad de superficie de un excelente alimento para la nutrición de varias especies animales (Valdivia, 1997).

Aunque existen diferentes modalidades de producción de FVH, la técnica básica consiste en germinar semillas de cereales a altas densidades de siembra, con el propósito de obtener un forraje de 20 a 30 cm en un periodo de 8 a 12 días. El forraje se produce en charolas colocadas en estantes a distintos niveles a las que se les suministra una solución nutritiva diluida mediante algún tipo de riego. En casi todos los diseños comerciales, las unidades de producción son construcciones cerradas, generalmente con luz artificial, en donde se busca mantener temperatura de 18 a 25 °C, buena ventilación y humedad relativa entre 65 y 70 % (Resh, 2001).

Los resultados obtenidos con el uso de FVH han sido favorables, no sólo en la alimentación de ganado vacuno sino también en porcinos, ovinos, caprinos, entre otros (Valdivia, 1997; Arano, 1998). Resh (2001) menciona que bastan de 16 a 18 kg de FVH para el alimento diario de una vaca en producción. Por su parte, Arano (1998) menciona que la producción de leche se incrementa en un 11 % en

INTRODUCTION

The hydroponic green fodder (HGF) production system is a technology for obtaining plant biomass from the germination and early growth states of seedlings (mainly cereals) from viable seeds. HGF is a living fodder with high digestibility and nutritional quality that is very suitable for animal feed (Anonymous, 2001).

In areas with adverse weather conditions, such as prolonged droughts, constant frost, snowfall, floods, or sites located in mountainous regions with high levels of marginalization, access to fodder produced in the conventional way for animal feed is limited.

In Mexico, about 100 million hectares are located in arid or semi-arid zones and 70 % of the landmass has soils with steep slopes that limit conventional agriculture and livestock farming (Sánchez *et al.*, 2010). Those engaged in fattening livestock or producing its derivatives in these regions face serious problems due to the scarcity of fresh forage, either because of a lack of water or the productivity limitations of uneven ground, causing abortions, weight loss, low milk volume, fertility problems, or death of animals, especially at the level of small and medium-sized livestock producers or smaller animals.

A technological alternative to cope with these problems, and which has been successful in developed countries, and even developing ones, is the hydroponic fodder production system. In a very short time, using very little area and with high water-use efficiency, very high yields per unit area of an excellent feed for meeting the nutritional requirements of several animal species are obtained (Valdivia, 1997).

Although there are different HGF production modes, the basic technique involves germinating cereal seeds at high seed densities, in order to obtain fodder from 20 to 30 cm in height over a period of 8 to 12 days. The fodder is produced in trays placed in a multi-level shelving unit to which a diluted nutrient solution is supplied by some kind of irrigation system. In almost all commercial designs, the production units are closed structures, usually with artificial light, where a temperature of 18-25 °C, good ventilation and relative humidity of between 65 and 70 % should be maintained (Resh, 2001).

The results obtained with the use of HGF have been favorable, not only in feeding cattle but also pigs, sheep, and goats, among others (Valdivia, 1997; Arano, 1998). Resh (2001) states that 16-18 kg of HGF is enough for the daily feeding of a lactating cow. For his part, Arano (1998) states that milk production increases by 11 % in cows fed with hydroponically-grown barley fodder over conventionally fed cows.

Also in dairy cattle, a lower cost per ration is reported, replacing much of the concentrates with the consumption of 12 kg of HGF daily per animal. In addition, other prob-

vacas alimentadas con FVH de cebada con respecto a vacas alimentadas convencionalmente.

También en ganado vacuno de leche, se reporta un menor costo por ración, remplazando gran parte de los concentrados con un consumo de 12 kg diarios de FVH por animal. Además, se disminuyen otros problemas como el periodo de seca de cinco a dos meses, la incidencia de mastitis de 13 a 4 %, el porcentaje de aborto hasta hacerlo casi nulo, y se incrementa la fertilidad de hasta 53 %. En ganado vacuno de engorda, con 7 o 8 kg de FVH y 7 kg de concentrados por animal, se obtuvieron ganancias de peso mayores de 1.4 kg·día⁻¹. La palatabilidad y digestibilidad del FVH mejora la asimilación del concentrado, y baja el costo y tiempo de engorda (Valdivia, 1997).

Referente a la alimentación de ovinos de engorda, se reporta que los borregos pueden llegar a consumir hasta 3.7 % de su peso vivo en materia seca de FVH (Anónimo, 2001). Arano (1998) menciona que la ración debe suplementarse con algún rastrojo o paja para evitar problemas de timpanismo.

Los sistemas de producción de FVH son altamente productivos (Sagi, 1976). Sin embargo, por su origen, principalmente Europa, Canadá y Estados Unidos, son muy costosos, pues han sido diseñados para funcionar bajo las condiciones extremas de frío que se dan en esos países. Para su implementación exitosa en México, se considera necesaria la realización de diversos trabajos de investigación tendientes a la generación de un paquete tecnológico acorde a las condiciones ambientales de las distintas regiones de México y a las condiciones socioeconómicas de los pequeños y medianos productores.

Los objetivos del presente trabajo fueron evaluar diferentes densidades de siembra en trigo y cebada sobre aspectos productivos, así como el valor nutritivo del forraje hidropónico obtenido y su efecto en la ganancia de peso de ganado ovino.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en un módulo de producción, colocado dentro de un invernadero con cubierta de polietileno y una malla sombra que dejaban pasar un 70 % de la radiación solar incidente. Se sembró en charolas de plástico rígido, cuyas dimensiones internas fueron 43 x 33 x 10 cm (0.14 m² de área de siembra por charola). Éstas fueron colocadas en anaqueles con cuatro niveles de altura a una distancia de 0.5 m entre cada nivel, con una longitud de siete metros cada uno (Figura 1).

Previo a su colocación en charolas, las semillas se remojaron y desinfectaron durante seis horas en una solución de 2 g de hidróxido de calcio por litro de agua. Cada hora se retiraba la solución por 10 minutos para oxigenar la semilla y se volvía a depositar para continuar el proceso de remojo y desinfección. Una vez hidratadas las semillas se colocaron en las charolas de acuerdo a los tratamientos correspondientes.

lems are alleviated, such as the dry period from five to two months, the incidence of mastitis from 13 to 4 %, and the abortion percentage to almost zero, while fertility increases by up to 53 %. In cattle fattening, with 7 or 8 kg of HGF and 7 kg of concentrates per animal, weight gains of over 1.4 kg·day⁻¹ were obtained. HGF palatability and digestibility improves concentrate assimilation, and lowers the cost and time of fattening (Valdivia, 1997).

Regarding sheep fattening, it is reported that sheep can consume up to 3.7 % of their live weight in HGF dry matter (Anonymous, 2001). Arano (1998) states that the ration should be supplemented with some stubble or straw to prevent bloating problems.

HGF production systems are highly productive (Sagi, 1976). However, due to their origin, mainly Europe, Canada and the United States, they are very expensive, since they are designed to operate under the very cold conditions that exist in these countries. For its successful implementation in Mexico, it is considered necessary to conduct several research studies aimed at the creation of a technology package based on the environmental conditions in the various regions of Mexico and the socioeconomic conditions of small and medium-sized producers.

The objectives of this study were to assess the effect of different seeding densities on wheat and barley production, and the nutritive value of the hydroponic fodder obtained and its effect on weight gain in sheep.



FIGURA 1. Vista panorámica mostrando la disposición de anaqueles para la producción de forraje verde hidropónico.

FIGURE 1. Panoramic view showing the shelving framework for hydroponic green fodder production.

Se usó un sistema de riego por microaspersión. El ciclo de producción duró ocho días. Durante los días 1, 2, 7 y 8 se regó solamente con agua. Del día 3 al 6 se regó con una solución nutritiva compuesta por los siguientes nutrientes (mg/L): N = 200, P = 40, K = 150, Ca = 140, Mg = 30, S = 100, Fe = 5, Mn = 1, B = 0.5 y Zn = 0.05. Los riegos fueron de tres minutos de duración. En el día se dieron a intervalos de dos horas y sólo se dio un riego a la mitad de la noche.

Para determinar la densidad óptima de semilla de trigo (*Triticum aestivum* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L.), se realizaron dos experimentos independientes. En trigo se evaluaron las densidades de siembra baja ($4.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), media ($5.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y alta ($5.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), que en cebada correspondieron a baja ($3.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), media ($3.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) y alta ($4.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Las variables evaluadas en ambos experimentos fueron altura de planta (AP) en centímetros, peso seco de una muestra de 500 gramos de forraje verde (PSM) en g, rendimiento por unidad de superficie (R) en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, y la relación de conversión de semilla a forraje (RC). Ambos experimentos se establecieron en un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones, donde cada charola representó una unidad experimental.

En un tercer experimento se evaluó el efecto del forraje hidropónico sobre la ganancia de peso en borregos. Se siguió el mismo procedimiento de cultivo que para el experimento de trigo y se usó la densidad media ($5.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). Se tomaron doce borregos Pelibuey de aproximadamente un año de edad y se dividieron en tres lotes de cuatro animales cada uno. Los borregos fueron desparasitados y pasaron por un periodo de 15 días de adaptación a la dieta. Posteriormente, se registró su peso inicial y sus pesos semanales, para ajustar las raciones de alimento con base en los requerimientos de los animales. El periodo de prueba fue de 30 días. Se evaluaron los tratamientos (dietas) siguientes: Dieta 1, forraje hidropónico de trigo y 100 g de suplemento mineral; Dieta 2, alimento concentrado a base de sorgo molido y pasta de soya en una relación de 4:1 más 100 g de suplemento mineral, y Dieta 3, seis horas de pastoreo complementado con concentrado (sorgo y soya) más 100 g de suplemento mineral. Esta última dieta es la forma más convencional de alimentación de borregos, por lo que se consideró como el tratamiento testigo.

La cantidad de alimento se determinó considerando que un borrego consume una proporción equivalente al 3 % de su peso vivo en materia seca. En el caso del alimento concentrado se determinó que contenía un 87 % de materia seca, mientras que en el forraje verde hidropónico era del 10 %. Esto significa que para la dieta 2, a un animal de 20 kg se le proporcionaron 0.7 kg de alimento concentrado por día y para la dieta 1, se suministraron 6 kg por día de forraje verde hidropónico. En el caso de la dieta 3, no se pudo cuantificar la materia seca de 6 horas diarias de pastoreo, pero una vez en los corrales se les suministraba el 50 % del alimento concentrado de la dieta 2.

MATERIALS AND METHODS

The work was performed in a production module, placed within a polyethylene-covered greenhouse with a shade net that let in 70 % of incident solar radiation. The seeds were placed in rigid plastic trays with internal dimensions of 43 x 33 x 10 cm (0.14 m^2 of planted area per tray). The trays were placed in four-level shelving units with 0.5 m spacing between levels and a length of seven meters each (Figure 1).

Prior to being placed in trays, the seeds were soaked and disinfected for six hours in a solution containing 2 g of calcium hydroxide per liter of water. Every hour the solution was withdrawn for 10 minutes to oxygenate the seed and then put back to continue the soaking and disinfection process. Once hydrated, the seeds were placed in the trays according to the corresponding treatments.

A micro-sprinkler irrigation system was used. The production cycle lasted eight days. On days 1, 2, 7 and 8 it was irrigated with water only. From day 3 to 6 it was irrigated with a nutrient solution composed of the following nutrients (mg/L): N = 200, P = 40, K = 150, Ca = 140, Mg = 30, S = 100, Fe = 5, Mn = 1, B = 0.5 and Zn = 0.05. The irrigation applications were three minutes long. In the day it was irrigated at two-hour intervals and only once in the middle of the night.

To determine the optimal seed density of wheat (*Triticum aestivum* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.), two independent experiments were conducted. In wheat the following seed densities were evaluated: low ($4.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), medium ($5.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and high ($5.7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$); in barley they were: low ($3.5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$), medium ($3.9 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and high ($4.3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$). The variables evaluated in both experiments were plant height (PH) in centimeters, dry weight of a 500-gram sample of green fodder (SDM) in g, yield per unit area (Y) in $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, and conversion ratio from seed to fodder (CR). Both experiments were established in a randomized complete block design with 10 replications, where each tray represented an experimental unit.

In a third experiment the effect of hydroponic fodder on weight gain in sheep was evaluated. The same culturing procedure followed for the wheat experiment and the medium density ($5.2 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) were used. Twelve Pelibuey sheep of about one year of age were taken and divided into three groups of four animals each. The sheep were dewormed and went through a 15-day diet adaptation period. Subsequently, their initial weight and weekly weights were recorded to adjust feed rations based on animal requirements. The trial period was 30 days. The following treatments (diets) were evaluated: Diet 1, hydroponically-grown wheat fodder and 100 g of mineral supplement; Diet 2, concentrate feed based on milled sorghum and soybean meal at a 4:1 ratio plus 100 g of mineral supplement; and Diet 3, six hours of grazing supplemented with concentrate (sorghum and soybean) plus 100 g of mineral supplement. The last of the three diets is the most conventional way of feeding sheep, so it was regarded as the control treatment.



FIGURA 2. Borregos bajo el tratamiento de alimentación con forraje verde hidropónico.

FIGURE 2. Sheep under the feeding treatment with hydroponic green fodder.

Dado que se partió de definir la cantidad de alimento en las dietas con base en un valor del 3 % del peso vivo del animal, las cantidades de materia seca en las raciones alimenticias proporcionadas eran las mismas en las dietas 1 (forraje hidropónico) y 2 (alimento concentrado) y se procuró que fuera similar en la dieta 3 (pastoreo más 50 % del concentrado de la dieta 2).

En este experimento se estudió la ganancia diaria de peso (GDP), considerada como el incremento total de peso entre los treinta días que duró la prueba. El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro repeticiones. Cada animal representó una unidad experimental (Figura 2).

Se realizó un análisis de varianza de todas las variables estudiadas y se hicieron las pruebas de comparación de medias pertinentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para la definición de los tratamientos de dieta se realizó una evaluación del contenido nutrimental del forraje hidropónico de trigo. Para ello se tomaron muestras de la

The amount of food was determined by considering that a sheep consumes an amount equal to 3% of its live weight in dry matter. In the case of concentrate feed, it was determined to contain 87 % dry matter, while in the hydroponic green fodder it was 10 %. This means that for diet 2, a 20-kg animal was provided with 0.7 kg of concentrate feed per day, while for diet 1 it was provided with 6 kg per day of hydroponic green fodder. For diet 3, the amount of dry matter consumed during 6 hours of daily grazing could not be quantified, but once in the pens they were supplied with 50 % of the concentrate feed of diet 2.

Since it was first determined to define the amount of feed in the diets based on a value of 3 % of the animal's live weight, the dry matter amounts in the feed rations provided were the same in diets 1 (hydroponic fodder) and 2 (concentrate feed), and it was sought to be similar in diet 3 (grazing plus 50 % of the concentrate of diet 2).

In this experiment daily weight gain (DWG), considered as the total increase in weight divided by the thirty days the trial lasted, was studied. The experimental design was completely randomized, with four replications. Each animal represented an experimental unit (Figure 2).

An analysis of variance of all the variables studied was performed and relevant means comparison tests were done (Tukey, $P \leq 0.05$).

To define the diet treatments, an evaluation was made of the nutritional content of the hydroponically-grown wheat fodder. For this, samples of the shoot and root areas were taken. Also, the nutritional content of the concentrate feed provided in the evaluation stage was determined (Table 1).

RESULTS AND DISCUSSION

In the evaluation of species and densities in experiment 1 (wheat), all the analyzed variables showed highly significant differences among seed density treatments. As shown in the comparison of means for the variable plant height (Ta-

CUADRO 1. Análisis bromatológico del alimento concentrado y forraje verde hidropónico de trigo.

TABLE 1. Bromatological analysis of the concentrate feed and hydroponically-grown wheat green fodder.

Componente / Component	Alimento concentrado ¹ / Concentrate feed ¹ (%)	FVH zona de raíces ² / HGF root area ² (%)	FVH parte aérea ³ / HGF shoot area ³ (%)
Humedad / Moisture	12.93	90.68	91.88
Materia seca / Dry matter	87.07	9.32	8.12
Extracto Etéreo / Ethereal extract	1.75	3.00	3.80
Fibra Cruda / Crude Fiber	11.65	18.15	17.10
Proteína cruda / Crude Protein	22.66	34.56	33.38
Cenizas / Ash	15.85	5.80	5.00
Extracto libre de nitrógeno / Nitrogen-free extract	48.09	38.46	40.72

FVH: Forraje verde hidropónico; ¹Sorgo molido y pasta de soya en una relación 4:1; ²Incluye las raíces, semilla no germinada y restos de las germinadas; ³A partir de los restos de semilla hasta el ápice de las hojas.

HGF: Hydroponic green fodder; ¹Milled sorghum and soybean meal at a 4:1 ratio; ²Includes the roots, non-germinated seed and remnants of the germinated seeds; ³From the seed remnants to the apex of the leaves.

parte aérea y de la zona de raíces. Asimismo, se determinó el contenido nutrimental del alimento concentrado proporcionado en la etapa de evaluación (Cuadro 1).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la evaluación de especies y densidades en el experimento 1 (Trigo), todas las variables analizadas presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos de densidad de semilla. En la comparación de medias para la variable altura de planta (Cuadro 2), se observa que con la densidad alta se obtuvo una altura de planta estadísticamente mayor respecto a las densidades media y baja, promediando la altura de planta obtenida de las bandejas en los cuatro niveles. Esto se debe a que con el aumento en la densidad se tiene menor incidencia de radiación por planta, lo que provoca una mayor altura de planta por efecto de elongación celular, sobre todo en los tallos (Taiz y Zaiger, 2002; Lambers *et al.*, 2008).

El mayor peso seco de la muestra se obtuvo con la densidad baja (52.2 g, en una muestra de 500 g de forraje fresco). A medida que se incrementó la densidad de semilla, el peso seco de la muestra disminuyó (Cuadro 2). Esto se puede explicar considerando que, a mayor densidad de población hay mayor competencia entre plantas por luz, lo que se refleja en menos fotosíntesis y, en consecuencia, en menor porcentaje de materia seca para un mismo peso fresco.

El mayor rendimiento por unidad de superficie se obtuvo con la densidad alta, que superó estadísticamente al tratamiento de menor densidad (Cuadro 2). La densidad alta rindió 0.6 kg más, pero se necesitó un kilogramo más de semilla que para la densidad baja, por lo que disminuye su eficiencia de conversión. Santos (1987) menciona rendimientos menores (20 kg·m⁻² en cebada).

Respecto a la relación de conversión de semilla a forraje, los valores más altos se obtuvieron con la densidad baja (Cuadro 2). Lo anterior es importante, pues implica que con una densidad baja se ocupa 0.5 kg menos de semilla que con la densidad media y un kilogramo menos que con la densidad alta. Por lo tanto, el potencial productivo del trigo se aprovecha mejor cuando se utiliza la densidad

ble 2), the high seed density obtained a statistically greater plant height compared to the medium and low densities, based on averaging the plant height obtained from the trays in the four shelf levels. The high density had the greatest plant height because with increased density there is lower incidence of radiation per plant, resulting in greater plant height due to the effect of cell elongation, especially in the stems (Taiz and Zaiger, 2002; Lambers *et al.*, 2008).

The highest sample dry weight was obtained with low density (52.2 g, in a 500-g sample of fresh fodder). As seed density increased, sample dry weight decreased (Table 2). This can be explained by considering the fact that the greater the population density, the greater the competition between plants for light, which is reflected in less photosynthesis and, consequently, a smaller percentage of dry matter for the same fresh weight.

The highest yield per unit area was obtained with high density, which statistically outperformed the lowest density treatment (Table 2). High density yielded 0.6 kg more, but one more kilogram of seed was needed than for low density, so its conversion efficiency decreases. Santos (1987) mentions lower yields (20 kg·m⁻² in barley).

Regarding the conversion ratio from seed to fodder, the highest values were obtained with low density (Table 2). This is important because it implies that with low density, 0.5 kg less seed is used than with medium density and one kilogram less than with high density. Therefore, the productive potential of wheat is best taken advantage of when low seed density is used. In this regard, Valdivia (1997) states that it is very difficult to achieve seed-to-fodder conversion ratios greater than 7:1.

In the experiment with barley, comparison of means tests show that with high density, seedlings attained greater height (21.7 cm). This indicates that barley, like wheat, is also sensitive to planting density. The dry sample weight difference between low and medium densities was 1.1 g, and between low and high densities was 8.6 g. These results coincide with those of Morgan *et al.* (1992), who indicate that increasing the seed density from 2.5 to 7.5 kg·m⁻² results in greater loss of dry matter due to respiration in the

CUADRO 2. Comparación de medias de altura de planta, peso seco de muestra, rendimiento y relación de conversión para forraje verde hidropónico cultivado en tres densidades de siembra de trigo bajo condiciones de invernadero.

TABLE 2. Comparison of means of plant height, sample dry weight, yield and conversion ratio for hydroponic green fodder grown in three wheat seed densities under greenhouse conditions.

Tratamiento / Treatment	Altura de planta / Plant height (cm)	Peso seco de muestra / Sample dry weight(g)	Rendimiento / Yield (kg·m ⁻²)	Relación de conversión / Conversion ratio
Densidad alta / High density (5.72 kg·m ⁻²)	21.28 a	43.77 c	30.88 a	5.39 c
Densidad media / Medium density (5.20 kg·m ⁻²)	20.64 b	49.42 b	30.60 ab	5.88 b
Densidad baja / Low density (4.69 kg·m ⁻²)	18.94 c	52.27 a	30.23 b	6.45 a
DMSH / HSD	0.245	0.521	0.380	0.076

Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Values with the same letter within columns are equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); HSD: Honestly significant difference.

CUADRO 3. Comparación de medias de altura de planta, peso seco de muestra, rendimiento y relación de conversión para forraje verde hidropónico cultivado en tres densidades de siembra de cebada bajo condiciones de invernadero.

TABLE 3. Comparison of means of plant height, sample dry weight, yield and conversion ratio for hydroponic green fodder grown in three barley seed densities under greenhouse conditions.

Tratamiento / Treatment	Altura de planta / Plant height (cm)	Peso seco de muestra / Sample dry weight (g)	Rendimiento / Yield (kg·m ⁻²)	Relación de conversión / Conversion ratio
Densidad alta / High density (4.29 kg·m ⁻²)	21.79 a	41.96 c	33.05 a	7.61 c
Densidad media / Medium density (3.90 kg·m ⁻²)	20.67 b	49.44 b	32.98 a	8.45 b
Densidad baja / Low density (3.51 kg·m ⁻²)	20.64 b	50.57 a	32.84 a	9.31 a
DMSH / HSD	0.182	0.829	0.410	0.107

Valores con la misma letra dentro de columnas son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Values with the same letter within columns are equal according to Tukey's test ($P \leq 0.05$); HSD: Honestly significant difference.

de semilla baja. Al respecto, Valdivia (1997) indica que es muy difícil alcanzar relaciones de conversión de semilla a forraje con valores superiores a 7:1.

En el experimento con cebada, las pruebas de comparación de medias muestran que con una densidad alta, las plántulas alcanzaron mayor altura (21.7 cm). Esto indica que la cebada, al igual que el trigo, es también sensible a la densidad de siembra. La diferencia de peso seco muestra entre las densidades baja y media que fue de 1.1 g, y entre las densidades baja y alta fue de 8.6 g. Estos resultados coinciden con Morgan *et al.* (1992), quienes indican que al incrementar la densidad de siembra de 2.5 a 7.5 kg·m⁻² hay mayor pérdida de materia seca por respiración en el forraje obtenido. En rendimiento no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos (Cuadro 3).

Se obtuvo mayor relación de conversión de semilla a forraje con la densidad baja (Cuadro 3). Al utilizar la densidad de 3.51 kg·m⁻², un kilogramo de semilla produjo 9.3 kg de forraje fresco, mientras que con la densidad de 3.9 kg·m⁻² y 4.29 kg·m⁻², por cada kilogramo de semilla, la cantidad de forraje producido fue de 8.4 kg y 7.6 kg, respectivamente. Los valores alcanzados en el presente trabajo se encuentran en el intervalo reportado por diversos autores como Arano (1998) y Anónimo (2001). Valdivia (1997) considera que la conversión es buena si se logran valores de 1:6 o más.

En el experimento para evaluar la ganancia diaria de peso en borregos (Cuadro 4), se encontró que en aquellos alimentados con una dieta basada en forraje hidropónico la ganancia en peso fue de 159 g·día⁻¹, mientras que en los borregos alimentados únicamente con alimento concentrado (sorgo y soya a una relación de 4:1), la ganancia de peso disminuyó a 116 g·día⁻¹, valores que son estadísticamente diferentes. La ganancia con la dieta basada en 6 horas de pastoreo complementando con alimento concentrado (tratamiento testigo) tuvo un valor intermedio (132 g·día⁻¹).

La diferencia en la respuesta de la ganancia de peso entre las dietas 1 y 3 se debió a que en el forraje hidropónico, por cada kilogramo de materia seca existe una mayor cantidad de proteínas y aminoácidos libres (Cuadro 1), los cuales son asimilados inmediatamente al ser ingeridos

fodder obtained. In yield, no significant differences among treatments were obtained (Table 3).

The highest seed-to-fodder conversion ratio was obtained with low density (Table 3). By using the density of 3.51 kg·m⁻², a kilogram of seed produced 9.3 kg of fresh fodder, while with the density of 3.9 kg·m⁻² and 4.29 kg·m⁻² per kilogram of seed, the amount of fodder produced was 8.4 kg and 7.6 kg, respectively. The values obtained in the present study are within the range reported by several authors such as Arano (1998) and Anonymous (2001). Valdivia (1997) considers that the conversion is good if values of 1:6 or more are achieved.

In the experiment to assess daily weight gain in sheep (Table 4), it was found that in those fed with a diet based on hydroponic fodder the weight gain was 159 g·day⁻¹, whereas in sheep fed only with concentrate feed (sorghum and soybean at a ratio of 4:1), the weight gain decreased to 116 g·day⁻¹, values that are statistically different. The gain with the diet based on 6 hours of grazing supplemented with concentrate feed (control treatment) had an intermediate value (132 g·day⁻¹).

The difference in weight gain response between diets 1 and 3 was due to the fact that in hydroponic fodder, for each kilogram of dry matter there is a greater amount of proteins and free amino acids (Table 1), which are immediately assimilated when ingested (Moreno, 1976). Additionally, the crude fiber content in concentrate feed is less than in hydroponic fodder (Table 1). This is important because in ruminant species (cattle, sheep and goats) the fiber content has a synergistic effect on the assimilation of other components such as proteins and minerals (Scheider, 1985). Arano (1998) and Resh (2001) agree that hydroponic fodder has a higher nutritional value than the foodstuffs commonly used in animal feed.

The difference in daily weight gain in favor of hydroponic green fodder over concentrate feed can be very important from an economic standpoint. For example, with the daily weight gain of 116 g of an animal fed on concentrates, it would take approximately 114 days to increase from 20 to 35 kg (which is a suitable weight to be marketed), while a diet based on hydroponic green fodder that gives a daily

CUADRO 4. Comparación de medias para la ganancia diaria de peso en borregos Pelibuey alimentados con tres dietas durante 30 días.

TABLE 4. Comparison of means for daily weight gain in Pelibuey sheep fed with three diets for 30 days.

Tratamiento / Treatment	Ganancia diaria de peso / Daily weight gain(kg·día ⁻¹)
Forraje verde hidropónico / Hydroponic green fodder	0.159 a
Pastoreo y concentrado / Grazing and concentrate	0.132 ab
Alimento concentrado / Concentrate feed	0.116 b
DMSH / HSD	0.032

Valores con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

Values with the same letter are statistically equal (Tukey, $P \leq 0.05$); HSD: Honestly significant difference.

(Moreno, 1976). Asimismo, el contenido de fibra cruda en el alimento concentrado es menor al del forraje hidropónico (Cuadro 1). Esto es importante ya que en especies rumiantes (vacas, borregos y cabras) el contenido de fibra tiene un efecto sinérgico en la asimilación de otros componentes como las proteínas y minerales (Scheider, 1985). Arano (1998) y Resh (2001) coinciden en que el forraje hidropónico tiene un valor nutrimental mayor que los alimentos empleados comúnmente en la alimentación animal.

La diferencia en la ganancia de peso por día a favor del forraje verde hidropónico respecto al alimento concentrado puede resultar muy importante desde el punto de vista económico. Por ejemplo, con la ganancia de peso diaria de 116 g de un animal alimentado a base de concentrados se tardaría aproximadamente 114 días en aumentar de 20 a 35 kg (que es un peso adecuado para ser comercializado), mientras que con una dieta a base de forraje verde hidropónico que da una ganancia de 159 g diarios se tardaría 94 días para lograr ese mismo peso. El costo de alimentar un día a un animal de 20 kg de peso con 6 kg de forraje verde hidropónico es similar a 0.7 kg de alimento concentrado. Por lo tanto, la mayor utilidad económica a favor de la dieta con forraje verde hidropónico viene dada por el menor costo en alimento, que significan 20 días menos para que los borregos alcancen su peso comercial.

CONCLUSIONES

Tanto el forraje verde hidropónico de trigo como el de cebada tuvieron rendimientos por unidad de superficie similares, aunque el forraje de cebada tuvo valores más altos de conversión de peso de semilla a peso de forraje verde.

Las densidades de siembra que presentaron los valores más altos de conversión de semilla a forraje verde fueron de 4.7 kg·m⁻² en trigo y 3.5 kg·m⁻² en cebada. Al incrementar la densidad, la relación de conversión de peso de semilla a peso de forraje verde disminuyó en ambos cultivos.

weight gain of 159 g would take 94 days to achieve the same weight. The daily cost of feeding a 20-kg animal with 6 kg of hydroponic green fodder is similar to that of 0.7 kg of concentrate feed. Therefore, the greatest economic benefit of the diet with hydroponic green fodder comes from the lower feed cost, which means 20 days less for the sheep to reach their commercial weight.

CONCLUSIONS

The hydroponically-grown wheat and barley green fodder had similar yields per unit area, although barley fodder had higher conversion values from seed weight to green fodder weight.

The seed densities that presented the highest seed-to-fodder conversion values were 4.7 kg·m⁻² in wheat and 3.5 kg·m⁻² in barley. By increasing the density, the conversion ratio from seed weight to green fodder weight decreased in both crops.

In feeding Pelibuey sheep for fattening purposes, the use of hydroponically-grown wheat green fodder is shown as a technically and economically feasible alternative in relation to other diet types.

End of English Version

En la alimentación de borregos Pelibuey con propósitos de engorda, el uso del forraje verde hidropónico de trigo se muestra como una alternativa técnica y económicamente viable en relación a otros tipos de dieta.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2001. Forraje Verde Hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 68 p. <http://www.omarbolso60.com.uy/forraje%20%281%29.pdf>
- ARANO, C. R. 1998. Forraje Verde Hidropónico y Otras Técnicas de Cultivos sin Tierra. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 180 p.
- LAMBERS, H.; F. STUART, CH.; PONS, T. L. 2008. Plant Physiological Ecology. Springer Science. New York, USA. 604 p. doi: 10.1007/978-0-387-78341-3
- MORENO, D. 1976. Raciones Hidropónicas. La Serenísima. Argentina 29: 4-19.
- MORGAN, J. V. R. HUNTER, R.; O'Haire, R. 1992. Limiting Factors in hydroponic barley grass production. Eighth International Congress on Soilless Culture. Proceedings. International Society for Soilless Culture. Ireland pp. 241-261.
- RESH, H. M. 2001. Cultivos Hidropónicos. Quinta edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España 558 p.
- SAGI, V. L. 1976. Cultivos Hidropónicos. La Serenísima. Argentina. 31: 4-19.
- SÁNCHEZ-DEL-CASTILLO, F.; MORENO-PÉREZ, E. C.; COATZIN-RÁMIREZ, R.; COLINAS- LEÓN, M. R.; PEÑA-LOMELÍ, A. 2010. Evaluación agronómica y fisiotécnica de cuatro sistemas de producción en dos híbridos de jitomate. Revista Chapingo Serie Horticultura 16 (3): 207-214. <http://portal.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/de3e2230bd2f094f3b78521f3d90faa7.pdf>
- SANTOS A., R. 1987. Hydroponic green forage in animal nutrition. Agricultura Spain 56(654): 40-42.
- SCHEIDER, W. S. 1985. Nutrición. Conceptos básicos y aplicaciones. Ed. Mc Graw Hill. México 571 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. 2002. Plant Physiology. Tercera Edición. Sinauer Associates, Inc. Publisher. Sunderland, Massachusetts, USA. 690 p.
- VALDIVIA, B. E. 1997. Producción de Forraje Verde Hidropónico. En: Rodríguez, D. A. (editor) Hidroponía Comercial. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 91-99.