

El forraje verde hidropónico como una alternativa productiva en Patagonia Sur: Productividad y calidad nutricional de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*)

BIRGI, J.A.^{1,2}; GARGAGLIONE, V.^{1,2}; UTRILLA, V.^{1,2}

RESUMEN

La principal actividad agropecuaria de la provincia de Santa Cruz, en el sur de Argentina, es la cría extensiva de ganado ovino. Las inclemencias climáticas de la zona hacen que el alimento escasee en épocas invernales, o que sea necesario suplementar al ganado en épocas críticas de manejo como por ejemplo, el servicio y la parición, con fardos provenientes del norte del país. En este contexto, la producción de forraje verde hidropónico (FVH) puede ser una alternativa para obtener alimento de buena calidad en la zona. El FVH es un tipo de forraje que se produce en invernadero, en un medio acuoso, sin necesidad de suelo. El objetivo del presente estudio fue evaluar la productividad y la calidad de un FVH de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*): Mariana INTA y Josefina INTA, que crecieron en dos niveles diferentes de luz. No se encontraron diferencias significativas en productividad entre las variedades, obteniéndose entre 18 y 21 kg/m² de FVH en fresco. Asimismo, tampoco se encontraron diferencias significativas en cantidad de biomasa producida según el nivel de luz recibido, obteniendo similares rendimientos las bandejas ubicadas en una mejor posición lumínica que las ubicadas en el piso inferior. Se encontraron diferencias significativas en la calidad entre variedades, destacándose Josefina, (70, 47, 21 y 2,8% de digestibilidad, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y lignina detergente ácido, respectivamente). A su vez, ambas variedades presentaron buenos valores de proteína bruta, entre 18 y 19%. Los resultados de este estudio indican que la producción de FVH con cebada sería factible de realizar en Patagonia Austral, dado los valores promisorios de rendimiento y calidad nutricional del alimento obtenido. Asimismo, el FVH se produce satisfactoriamente en niveles inferiores de luz, con lo cual este tipo de producción puede ser secundaria o acompañante de otro cultivo hidropónico hortícola. En conclusión, el FVH con cebada puede ser una alternativa interesante para abastecer de alimento al ganado de la zona y para diversificar la producción de los invernaderos productivos existentes actualmente.

Palabras clave: invernadero, cultivo intensivo, producción ovina.

ABSTRACT

The main agricultural activity of Santa Cruz province, in southern Argentina, is extensive livestock production. The severe weather of the area means that food is scarce in winter or in other critical periods of livestock management, such as mating and calving. To solve this, ranchers usually have to buy hays of grass that come from the north of the country. In this context, the production of green forage hydroponics (GFH) can be

¹Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Cruz, Mahatma Gandhi 1322, Río Gallegos, Santa Cruz. Correo electrónico: birgi.jorge@inta.gob.ar

²Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Instituto Ciencias del Ambiente, Sustentabilidad y Recursos Naturales (ICASUR), Río Gallegos.

Recibido 14 de junio de 2017 // Aceptado 04 de julio de 2018 // Publicado online 28 de noviembre de 2018

*an alternative to obtain a high quality fodder in the area. GFH is a technology that allows the production of fodder in a greenhouse, in aqueous medium, without the need for soil. The main objective of this study was to evaluate the productivity and quality of a GFH of two varieties of barley (*Hordeum vulgare*): Mariana INTA and Josefina INTA growing under different light intensities. No significant differences were found in production between varieties of barley, yielding both ca. 18 and 21 kg/m² of GFH. Likewise, no significant differences were found according to the amount of light received, where plants growing in the inferior level of light had the same performance that plants growing in the upper level. In contrast, significant differences were found in quality of the GFH between varieties, being Josefina which had the best values with 70, 47, 21 y 2.8% of digestibility, neutral detergent fiber, acid detergent fiber and lignin, respectively. With respect to crude protein, both varieties had good values, around 18-19%. Results from this study indicate that barley GFH production is feasible in this high latitude zone of Patagonia, having high yields and a good forage quality. In addition, the GFH can be obtained in low light intensities, so it can be produced below another hydroponic culture, diversifying the greenhouse incomes. In conclusion, barley GFH production can be a good alternative to provide food to livestock in the area and to diversify current greenhouse production.*

Keywords: greenhouse, intensive culture, livestock production.

INTRODUCCIÓN

La principal actividad agropecuaria de la provincia de Santa Cruz es la cría de ganado ovino para la producción de lana y carne (Goluscio *et al.*, 1998; Oliva *et al.*, 2012). Esta producción se realiza de manera extensiva a partir del pastoreo del ganado en grandes superficies de campo y expuesta a las inclemencias climáticas de la región, que resultan en que la disponibilidad de forraje escasee en la época invernal o que sea insuficiente en determinados momentos fisiológicos críticos del animal, tales como el servicio, gestación y parición. En este contexto, la herramienta de manejo comúnmente utilizada en los establecimientos agropecuarios de la zona para asegurar la estabilidad productiva es la suplementación estratégica. Uno de los principales problemas para realizar una suplementación estratégica es el costo del alimento, ya que este proviene de zonas agrícolas alejadas, como por ejemplo el forraje de alta calidad que proviene de la provincia de Chubut. En virtud de ello, la posibilidad de generar alimento en la misma zona donde se encuentra su demanda favorecería económica y productivamente a los productores que actualmente realizan suplementación estratégica e inclusive podría estimular a aquellos que aún no lo realizan.

El forraje verde hidropónico (FVH) es un tipo de forraje que se produce sin necesidad de suelo, ya que se cultiva principalmente en un medio acuoso, en invernadero y en condiciones controladas de temperatura y humedad. Este forraje tiene características favorables para la producción pecuaria, entre las cuales se destaca una alta calidad nutricional y buena palatabilidad (Dosal, 1987), lo que lo hace apto para la alimentación de distintos tipos de animales. Esta flexibilidad en cuanto al destino de la producción sumada a su calidad nutricional, la optimización en el uso del agua (1 kilo de FVH requiere de 2 a 3 litros de agua) (Al-Karaki y Al-Hashimi, 2012), su inocuidad y la eficiencia en el uso del tiempo y el espacio hacen del forraje verde hidropónico una alternativa muy interesante en regiones

áridas y semiáridas en donde se intenta producir ganado de manera sustentable (López-Aguilar *et al.*, 2009).

La técnica de producción del FVH puede llevarse a cabo en diferentes tipos de instalaciones con costos que varían según el grado de tecnificación de la infraestructura y la escala de producción. En general, el proceso de producción implica la obtención del forraje en bandejas de policarbonato, en las cuales se colocan las semillas para germinar mediante la aplicación, vía aspersión, de una solución nutritiva, sin la utilización de sustrato. El forraje se cosecha en forma de un "pan de forraje" que se entrega a los animales para consumo directo, o bien puede almacenarse compactado en bolsas. De esta manera los animales consumen tanto las hojas como las raíces y restos de semillas del FVH y obtienen de esta fuente buenos contenidos de proteínas, energía, vitaminas y minerales. Numerosas especies pueden ser utilizadas para la obtención de forraje verde hidropónico, entre ellas cebada (Reddy *et al.*, 1988), avena, trigo (Snow *et al.*, 2008), sorgo, alfalfa (Al-Karaki y Al-Hashimi 2012) y maíz (Naik *et al.*, 2015). En general se recomienda utilizar aquella especie que se consiga fácilmente en la zona e implique los menores costos. En este sentido, Al Karaki y Al Hashimi (2012) observaron que la cebada tenía muy buenos rendimientos y hacía un uso del agua más eficiente, por lo que se presentaría como una buena alternativa entre las numerosas especies para elegir. Asimismo, esta especie es factible de conseguir en la zona y existen distintas variedades disponibles en el mercado.

La zona sur de la provincia de Santa Cruz presentaría características favorables para la producción de FVH por dos motivos fundamentales. Por un lado, concentra más del 50% del stock ovino provincial con establecimientos ganaderos que presentan elevados índices productivos que suelen utilizar suplementos alimenticios. Por otro lado, en la ciudad de Río Gallegos existe un cordón de chacras con instalaciones adecuadas para realizar FVH. Sin embargo, en la actualidad no existen experiencias que hayan eva-

luado el rendimiento o calidad nutricional de este tipo de cultivos en esta zona austral, caracterizada por las inclemencias climáticas y períodos prolongados de luz diaria en verano y reducidos en invierno. En este contexto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la productividad y calidad de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas con tecnología hidropónica y bajo dos niveles de luz, a fin de generar información básica para implementar el FVH como una alternativa de producción para suplementación alimenticia en estos sitios australes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio e instalaciones del experimento

El estudio se realizó en un invernadero de la Universidad Nacional de la Patagonia Austral (51° 38' 53" S y 69° 12' 35" O), en la localidad de Río Gallegos, Santa Cruz. El clima de la zona se define como templado frío semiárido de meseta con una temperatura media anual de 7,6 °C y 239 mm de precipitación media anual. Esta zona se caracteriza por presentar fuertes vientos del sector S-SO que pueden alcanzar ráfagas de hasta 120 km/h, sobre todo en la época estival. El invernadero presenta una superficie de 100 m², está recubierto con policarbonato alveolar de 6 mm y se encuentra equipado con tecnología hidropónica: bombas de agua, 3 mesadas de producción, 3 tanques de 600 litros, un sistema de conducción de agua independiente fabricado en Hidro 3[®] y un programador para arranque automático.

Método de producción

La producción de forraje se realizó mediante la siembra y germinación de la especie *Hordeum vulgare* (cebada), comparando dos variedades diferentes de esta: *var. Mariana* INTA (cebada forrajera) y *var. Josefina* INTA (cebada cervecera). Previo al ensayo, las semillas fueron embebidas en agua destilada por 48 h y luego se colocaron 580 gramos de semilla húmeda en bandejas negras de policar-

bonato de 28 cm de ancho por 54,5 cm de largo y 5 cm de profundidad. Esto equivale a una densidad de siembra de 1,2 kg semillas secas/m². La cosecha se realizó al cabo de 15 días de crecimiento desde la siembra, cuando el forraje alcanzó una altura de 25 cm, como la recomendada por Elizondo (2005).

Riego y nutrición del forraje

El forraje fue regado de manera automática en cuatro turnos de riego diarios (cada 6 horas) de un minuto cada uno y utilizando microaspersores de neblina húmeda de posicionamiento invertido marca NaandanJain[®] modelo Hadar 7110 + Súper LPD[®] de presión media (siete por batea y por nivel) con un caudal aproximado de 4 m³/h. La nutrición se realizó mediante una solución multipropósito (FIL Hidroponia) fraccionada por el fabricante en solución A (macronutrientes) y solución B (micronutrientes), utilizándose las siguientes proporciones de cada una: 4 g de solución A en 10 litros de agua y 1 g de solución B en 10 litros de agua (solución ¼ full). Esta relación luego fue llevada a un volumen total de 600 litros (tabla 1), lo que le daba al sistema una autonomía de cinco días, al cabo de los cuales se volvían a preparar las soluciones. En cada preparación se monitoreaban parámetros de pH y conductividad eléctrica de la solución con un peachímetro/conductímetro marca Martini Instruments[®] modelo Mi 806. Los parámetros de la solución nutritiva se mantuvieron relativamente constantes con un pH de 6,95, una conductividad eléctrica de 1,19 mS/cm y una temperatura del agua de 8,4 °C.

Disposición del forraje en niveles y mediciones de luz

Las bandejas de forraje se dispusieron en mesadas de 8 m x 0,70 m con dos niveles de altura diferentes: un nivel medio y nivel inferior, a 0,45 m por debajo del primero, siendo el nivel superior utilizado por otro tipo de cultivo hidropónico (en este caso, lechuga) (figura 1). La luz fotosintéticamente activa (densidad del flujo de fotones) recibida

Macronutrientes (Solución A)		
Concentración (%)	Compuesto	Composición
43,9	Nitrato de calcio	15,5 % N; 10% Ca; 34,2% CaO
21,2	Nitrato de potasio	13,8% N; 37% K; 46,6% CaO
19,1	Sulfato de magnesio	8,3% N; 16,4% MgO
0,5	Sulfato de amonio	21% N; 24% S
14,3	Fosfato monopotásico	35,8% K2; 51,1% P ₂ O ₅
Micronutrientes (Solución B)		
1,0	Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo y Co	

Tabla 1. Detalle de la composición y proporciones de la solución nutritiva multipropósito utilizada en el presente estudio.



Figura 1. A) Esquema de la disposición de las bandejas para la producción de forraje verde hidropónico (FVH) en un invernadero de Río Gallegos, Santa Cruz. En el nivel superior de la mesada se encuentra emplazado un cultivo de lechuga, como cultivo principal, mientras que el FVH se evaluó en los niveles medio e inferior. B) Foto de una de las mesadas donde se observan las bandejas de forraje en el nivel medio e inferior de esta.

en los niveles superior, medio e inferior fue medida con un medidor marca Apogee Model MQ-301, durante 4 días (dos soleados y dos nublados) siempre a las 12:30 h del mediodía para conseguir el máximo ángulo solar.

Diseño experimental y muestreo

Las variables productivas y los parámetros nutricionales se analizaron según un arreglo factorial 2 × 2, por ej. variedad (factor fijo; Mariana INTA y Josefina INTA) y nivel de luz

(factor fijo; medio e inferior). El arreglo factorial se incluyó en un diseño en bloques completos aleatorizados (en donde cada mesada de producción constituía un bloque, $n=3$) puesto que entre las mesadas existía una diferencia de exposición a la luz solar debido a la ubicación de estas. Cada bloque contenía 48 bandejas (12 bandejas x 2 variedades x 2 niveles). Se seleccionaron al azar 5 bandejas por cada variedad (10 por cada nivel y 20 en total en cada bloque) para realizar los cortes de forraje. Con el promedio de estas cinco bandejas se generó una muestra compuesta que constituía la repetición. La cosecha consistió en realizar 60 cortes de forraje (5 submuestras x 3 repeticiones x 2 variedades x 2 niveles) con un marco de 20 x 20 cm y se realizó al final de período de crecimiento (15 días postsiembra). Las muestras se pesaron en fresco y luego se secaron en estufa a 65 °C hasta peso constante para determinar materia seca total, peso de la porción aérea (hojas) y peso de la porción basal (raíces y semillas sin germinar). Luego, las muestras reconstituidas (aéreo + basal) fueron molidas y enviadas al laboratorio de Nutrición animal de INTA Manfredi para realizar los siguientes análisis químicos: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIGMS) a través de Tilley y Terry (1963), Proteína bruta (PB) por Kjeldahl, Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), Lignina detergente ácido (LDA) mediante Goering y Van Soest (1970), en el analizador Ankom 220 Fiber Analyzer, y cenizas a 550 °C. Los procedimientos utilizados para estas técnicas siguieron las recomendaciones del programa de mejoramiento de la evaluación de forraje y alimentos (Jaurana y Wawrzkiwicz, 2009).

Se realizaron análisis de la varianza y, en el caso de encontrar diferencias significativas, se compararon las medias mediante el test de Tukey ($p<0,05$), utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2018). Al haberse trabajado en un solo invernadero las conclusiones deben

restringirse a las condiciones de temperatura, humedad y radiación experimentadas en invernaderos de similares características (Hurlbert, 1984).

RESULTADOS

Luz incidente recibida en los distintos niveles

Se encontraron diferencias significativas ($p<0,0001$) en la densidad de flujo de fotones (luz fotosintéticamente activa) recibida en los diferentes niveles de producción (tabla 2). Mientras que el nivel superior recibió una media de 387 $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$, el nivel medio solo recibió un 17% con respecto al nivel superior (67 $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$) y el inferior recibió un 5% de la luz incidente en el nivel superior (21 $\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$).

Nivel en la batea			
Densidad de flujo de fotones	Superior	Medio	Inferior
($\mu\text{moles m}^2 \text{s}^{-1}$)	387,16 a	67,05 b	20,92 c

Tabla 2. Luz fotosintéticamente activa incidente en los distintos niveles de producción. El nivel superior corresponde a un cultivo de lechuga y los niveles medio e inferior a la producción de forraje verde hidropónico en un invernadero en la localidad de Río Gallegos, Santa Cruz. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,0001$).

Producción de forraje

No se encontraron diferencias significativas en la producción total de FVH entre las variedades Mariana y Josefina, rondando ambas los 20 kg/m^2 (figura 2 A). Tampoco se detectaron diferencias significativas entre los niveles

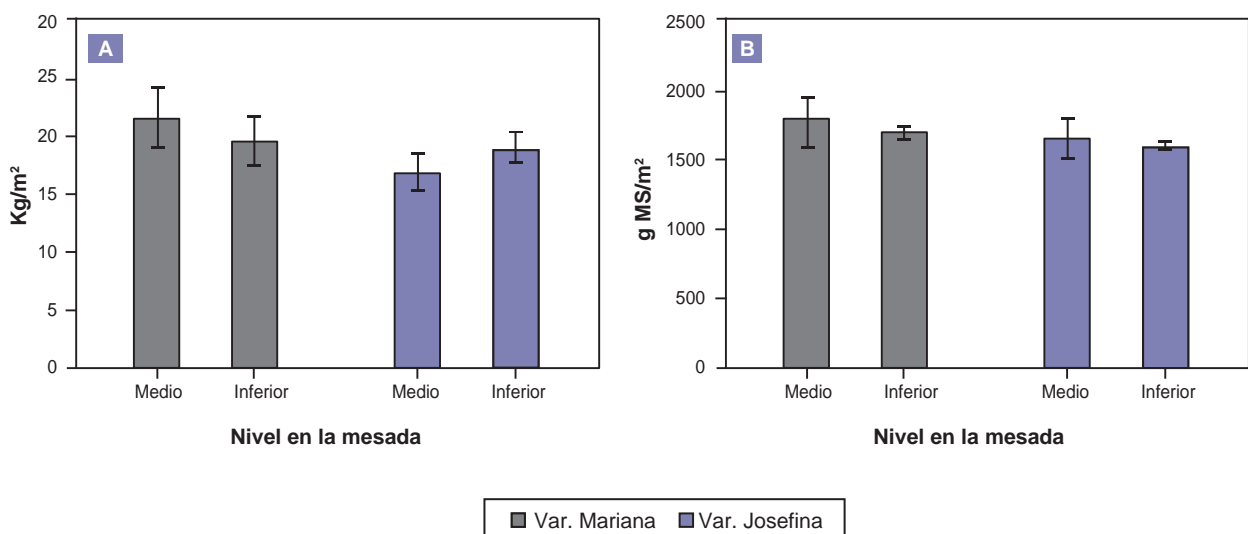


Figura 2. Producción total de A) forraje verde hidropónico y B) biomasa total producida de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) cosechadas a los 15 días en dos niveles diferentes de luz (medio e inferior) en la batea de producción en un invernadero en la localidad de Río Gallegos, Santa Cruz. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.

de luz evaluados (figura 2 A). En cantidad de materia seca producida, no hubo diferencias significativas ($p=0,08$) entre variedades con valores entre 1700-1600 g MS/m² (figura 2 B), como así tampoco se observaron diferencias significativas entre los niveles de luz (figura 2 B).

Al analizar por separado la producción de materia seca de la fracción aérea (hojas) y basal (raíces y semillas sin germinar) se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) en el componente aéreo entre las dos variedades y niveles de luz. En virtud de ello, en el nivel medio (arriba) la variedad Mariana produjo significativamente mayor biomasa aérea (342 g MS/m²) que la variedad Josefina (241 g MS/m²) (figura 3 A). Asimismo, la variedad Mariana presentó diferencias significativas ($p<0,05$) en la producción de materia seca aérea entre los distintos niveles de luz, obteniendo 342 y 253 g MS/m² para los niveles medio (arriba) e inferior (abajo), respectivamente (figura 3 A). Por el contrario, la variedad Josefina no presentó diferencias significativas ($p>0,05$) en producción según el nivel de luz recibido (figura 3 A). Con respecto al componente basal, no hubo diferencias significativas ($p>0,05$) entre variedades ni niveles de luz, obteniéndose un promedio general de 1400 g MS/m² (figura 3 B).

Calidad del forraje producido

No se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de calidad evaluados según el nivel de luz recibido asociado a la ubicación de las bandejas en las mesadas. Por este motivo todos los valores fueron promediados. Por el contrario, se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros de calidad según la variedad de cebada evaluada (tabla 3). Mientras que la variedad Josefina INTA presentó mayores valores de DIGMS (69,9%), la variedad Mariana INTA presentó valores significativamente mayores en FDN (54,8%), FDA (26,7%), LDA (3,2%) y PB (18,7%) (tabla 3).

DISCUSIÓN

Los valores de productividad del FVH de cebada cosechada encontrados en este estudio para las variedades Mariana y Josefina son similares a los obtenidos por Al Karaki y Al Hashimi (2012) para cebada a los 8 días de siembra, quienes reportaron un valor de 20 kg/m². Asimismo, Romero Valdez *et al.* (2009) informaron valores de 15 kg FVH/m² para la misma especie, pero usando una densidad

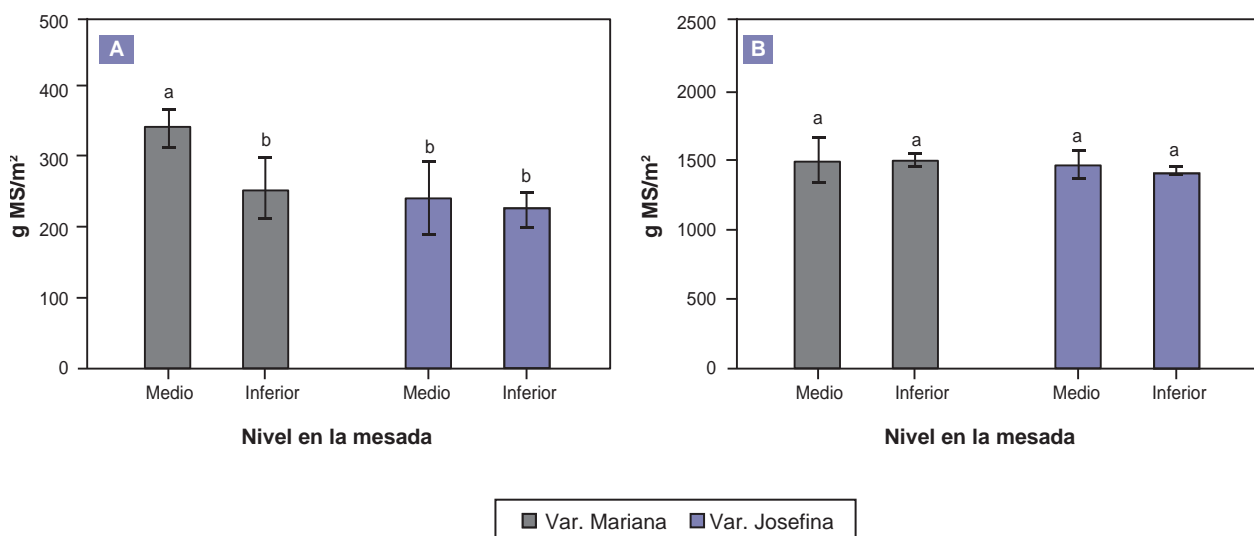


Figura 3. Producción aérea (A) y de raíces (B) de materia seca (g m⁻²) de dos variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) obtenido durante el período de producción (15 días) en un invernadero en la localidad de Río Gallegos, Santa Cruz, en dos niveles diferentes de luz: nivel medio y nivel inferior. Las barras verticales indican el desvío estándar de las medias.

	FDN (%)	FDA (%)	LDA (%)	PB (%)	DIGMS (%)	Cenizas (%)
Mariana	54,8 (2,4) a	26,7 (1,5) a	3,2 (0,2) a	18,7 (0,7) a	67,1 (1,3) a	7,0 (0,9) a
Josefina	46,7 (4,3) b	21,5 (2,3) b	2,8 (0,2) b	17,6 (0,6) b	69,9 (1,8) b	7,0 (0,8) a

Tabla 3. Parámetros de calidad nutricional de forraje hidropónico de dos variedades de *Hordeum vulgare* (Mariana y Josefina). FDN: fibra detergente neutra, FDA: fibra detergente ácida, LDA: lignina detergente ácida, PB: proteína bruta, DIGMS: digestibilidad de la materia seca, y cenizas. Entre paréntesis se observa el desvío estándar de la media. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0,05$) entre variedades.

de siembra de 2,5 kg semilla/m² y una cosecha al décimo día postsiembra. Por su parte, Cerrillo Soto *et al.* (2012) en Durango, México, obtuvieron una productividad de entre 7 y 8 kg de FVH/m² para avena y trigo cosechados a los 12 días, y López-Aguilar *et al.* (2009), en un cultivo de maíz, obtuvieron un rendimiento de 12,95 kg FVH/m² cosechado a los 14 días. En este contexto, los resultados obtenidos en el presente estudio son bastante prometedores, en virtud de la factibilidad de la producción en estas altas latitudes, por un lado, y la obtención de rendimientos iguales o superiores a aquellos obtenidos en otros estudios. Otro aspecto importante para considerar sería que, si bien hubo diferencias en la cantidad del material aéreo entre las variedades evaluadas, al analizar la biomasa total producida no se encontraron diferencias significativas entre los niveles de luz evaluados asociados con la ubicación de las bandejas en las mesadas, lo cual indicaría que en esta especie no se pierde productividad al sembrarla en distintos niveles de luz. Este resultado es muy importante ya que permitiría utilizar al forraje verde hidropónico como un sistema de producción secundario acompañante de otro cultivo principal, como puede ser lechuga, acelga o albahaca en hidroponía que han obtenido buenos rendimientos en la zona (Birgi, 2015). De esta manera, aquellos pequeños o medianos productores que cuentan con un invernadero adaptable a la producción de forraje podrían diversificar su producción, teniendo diferentes ingresos en distintas épocas del año.

Otro aspecto evaluado en el presente estudio fue la proporción de biomasa aérea-radical que presentaba el forraje. Se pudo observar que la variedad Mariana generó mayor proporción aérea que Josefina, sobre todo bajo el mejor nivel de luz, lo cual indicaría que esta variedad podría ser más sensible a los cambios en la intensidad lumínica. Asimismo, se observó que la parte basal, compuesta por raíces y semillas sin germinar, representa una proporción importante de la producción en materia seca por metro cuadrado en las dos variedades de cebada evaluadas. Este factor es importante a tener en cuenta, aunque en general estudios previos detallan que el forraje hidropónico es palatable y consumido por los animales en su totalidad sin problemas, lo que resulta en una mínima pérdida de nutrientes (Pandey y Pathak, 1991).

Con relación a la calidad nutricional del FVH obtenido, los valores de digestibilidad encontrados en el presente estudio fueron superiores a los informados para cebada (60-65%) en una revisión de trabajos de hidroponía realizada por Naik *et al.* (2015). Asimismo, en el presente experimento se observó que la variedad Josefina INTA presentó mayor digestibilidad que la variedad Mariana INTA, además la primera presentó significativamente menores valores de FDN, FDA y lignina, lo cual indica que se trata de una variedad de calidad superior. La FDN corresponde a la fracción del forraje que contiene celulosa, hemicelulosa, sílice, bajo contenido de proteína y lignina (Van Soest, 1991) y se considera que los forrajes con un contenido de FDN menor al 40% son de buena calidad, mientras que aquellos con FDN mayor al 60% pueden interferir con la digestión y el consumo (Van Soest, 1982). En virtud de lo descrito,

la variedad Josefina INTA se acerca más al valor óptimo considerado como forraje de buena calidad. Con respecto a la FDA, esta fracción se relaciona con la porción del forraje indigerible, y se conoce que valores cercanos al 30% favorecerían al consumo de materia seca (Mertens, 1994). Según este parámetro, ambas variedades de cebada evaluadas serían óptimas para consumo, aunque la variedad Josefina INTA presentó una mejor calidad. Los valores de FDN y FDA encontrados en el presente estudio para la variedad Josefina son concordantes con aquellos presentados por Herrera-Torres *et al.* (2010) para trigo hidropónico cosechado a los 12 días y superiores a los valores informados por Gebremedhin *et al.* (2015), quienes obtuvieron una FDA de alrededor del 16% y una FDN del 35% en cebada cosechada a los 7 y 8 días postsiembra. Estas diferencias podrían deberse a las distintas fechas de cosecha entre ambos estudios ya que, por ejemplo, Herrera-Torres *et al.* (2010) informaron que el porcentaje de FDN y FDA en FVH de trigo aumentó con el tiempo en forraje cosechado a los 8, 10 y 12 días postsiembra.

Con respecto al contenido de proteína bruta, los valores encontrados en este estudio fueron superiores a los informados por Gebremedhin *et al.* (2015) y Fazaeli *et al.* (2011), quienes obtuvieron valores próximos al 14% para FVH de cebada cosechada a los 8 y 6 días postsiembra. Estas diferencias se vinculan a distintas fechas de cosecha, ya que el contenido de PB tiende a aumentar con el tiempo (Herrera-Torres *et al.*, 2010; Cerrillo Soto *et al.*, 2012). Por su parte, Cerrillo Soto *et al.* (2012) informaron valores de 19 y 16,5% para avena y trigo, respectivamente, cosechado a los 12 días postsiembra. Cabe mencionar que, en general, se considera que un forraje o alimento no debe presentar un contenido de proteína bruta inferior al 7%, para no comprometer la microbiota ruminal (Van Soest, 1982).

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la producción de FVH de cebada es factible de realizarse en la Patagonia Austral, con valores de rendimientos similares o incluso superiores a aquellos obtenidos en otras regiones. Ambas variedades de cebada obtuvieron altos rendimientos, aunque la variedad Josefina INTA se destaca por presentar mayor calidad. Este tipo de producción puede ser una alternativa interesante para obtener alimento de calidad que abastezca parcialmente al productor de ganado ovino o vacuno de la zona, que actualmente tiene que importar fardos desde el norte del país para suplementar en temporadas críticas. Asimismo, es importante mencionar que el FVH se obtuvo satisfactoriamente bajo niveles inferiores de luz, con lo cual este tipo de producción puede ser secundaria o acompañante de otro cultivo hidropónico hortícola, diversificando los ingresos del invernadero.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio se realizó con fondos provenientes del Ministerio de Educación, (SPU, línea Amílcar Oscar He-

rrera) y fondos del INTA Santa Cruz. Asimismo, los autores agradecen a la agencia de Extensión Rural INTA Río Gallegos por colaborar en pensar el ensayo, a Antonio Clave, Ing. Santiago Toledo y a los alumnos de la UNPA Sabrina Lewis, Gustavo Vega, Claudio Ansoain, Romina García, Karina Oyarzo, Florencia Padrón, Mariel Quinteros, Romina Ramos y Natalia Verón por colaborar en la instalación del estudio y la toma de datos.

BIBLIOGRAFÍA

- AI-KARAKI, G.N.; AI-HASHIMI, M. 2012. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic condition. Internl. Schol. Res. Network. DOI: 10.5402/2012/924672
- BIRGI, J. 2015. Producción hidropónica de hortalizas de hoja. Informe Técnico del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, área geográfica de Santa Cruz, Argentina. (Disponible: <http://inta.gob.ar/documentos/produccion-hidroponica-de-hortalizas-de-hoja-0> verificado: 07 de marzo de 2017).
- CERRILLO SOTO, M.A.C.; JUÁREZ-REYES, A.S.; RIVERA-AHUMADA, J.A.; GUERRERO-CERVANTES, M.; RAMÍREZ-LOZANO, R.G.; BARRAGÁN, H.B. 2012. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia*, 37 (12), 906-913.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2018. Infostat versión 2018. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. (Disponible: www.infostat.com.ar verificado:10 de febrero de 2018).
- DOSAL, J.J.M. 1987. Efecto de la Dosis de Siembra, Época de Cosecha y Fertilización sobre la Calidad y Cantidad de Forraje de Avena Producido Bajo Condiciones de Hidroponía. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad de Concepción, Sede Chillán. Chile.
- ELIZONDO, J. 2005. Forraje verde hidropónico: una alternativa para la alimentación animal. *Revista ECAG* 32, 36-39.
- FAZAELI, H.; GOLMOHAMMADI, H.A.; SHOAYEE, A.A.; MONTAJEBI, N.; MOSHARRAFT, S.H. 2011. Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder Barley. *Journal of Agricultural Science and Technology* 13, 367-375.
- GBREMEDHIN, W.K.; DEASI, B.G.; MAYEKAR, A.J. 2015. Nutritional Evaluation of Hydroponically Grown Barley Fodder. *Journal of Agricultural Engineering and Food Technology* 2, (2) 86-89.
- GOERING, H.; VAN SOEST, P. 1970. Forage fiber analyses. *Agriculture Handbook N 379*. Chemical-fiber determinations. Agricultural research service. United states department of agriculture.
- GOLLUSCIO, R.; DEREGIBUS, V.; PARUELO, J. 1998. Sustainability and range management in the Patagonia steppes. *Ecología Austral* 8, 265-284.
- HERRERA TORRES, E.; CERRILLO SOTO, M.A.; JUÁREZ REYES, A.S.; MURILLO ORTIZ, M.; RÍOS RINCÓN, G.; 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(4), 284-289.
- HURLBERT, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54:187-211.
- JAURENA, G.; WAWRZKIEWICZ, M. 2009. PROMEFA (Programa para el mejoramiento de la evaluación de forrajes y alimentos). Guía de procedimientos analíticos. Centro de Investigación y Servicios en Nutrición Animal (CISNA). Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. pp. 9-23.
- LÓPEZ-AGUILAR, R.; MURILLO-AMADOR, B.; RODRÍGUEZ-QUEZADA, G. 2009. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia*, 34 (2), 121-126.
- MERTENS, D.R. 1994. Regulación de la ingesta de forraje. Calidad, evaluación y utilización de forraje (foragequalityev) 450-493.
- NAIK, P.K. 2012. Hydroponics technology for fodder production. *ICAR News*. 18: 4.
- NAIK, P.K.; SWAIN, B.K.; SINGH, N.P. 2015. Production and utilization of hydroponics fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition* 32 (1), 1-9.
- OLIVA, G.; FERRANTE, D.; PUIG, S.; WILLIAMS, M. 2012. Sustainable sheep management using continuous grazing and variable stocking rates in Patagonia: a case study. *The Rangeland Journal* 34, 285-295.
- PANDEY, H.N.; PATHAK, N.N. 1991. Nutritional evaluation of artificially grown barley fodder in lactating crossbred cows. *Indian Journal of Animal Nutrition* 8 (1), 77-78.
- REDDY, G.V.N.; REDDY, M.R.; REDDY, K.K. 1988. Nutrient utilization by milch cattle fed on rations containing artificially grown fodder. *Indian Journal of Animal Nutrition* 5 (1), 19-22.
- ROMERO VALDEZ, M.E.R.; DUARTE, G.C.; HERNÁNDEZ GALLARDO, E.O. 2009. Producción de forraje verde hidropónico y su aceptación en ganado lechero. *Acta Universitaria* 19 (2), 11-19.
- SNOW, A.M.; GHALY, A.E.; SNOW, A. 2008. A comparative assessment of hydroponically grown cereal crops for the purification of aquaculture wastewater and the production of fish feed. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 3 (1), 364-378.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crop. *J. Br. Grassld Soc. Vol* 18:104-111.
- VAN SOEST, P.J. 1982. *Nutritional Ecology of Ruminant*. Cornell University Press, EE. UU., p.375.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3583-3597.