

## ARTICLE / INVESTIGACIÓN

# Producción de avena en corte e hidropónica sembrada a diferentes dosis y tiempo de cosecha

## Production of cut and hydroponic oats sown at different doses and harvest times

Oscar Patricio Núñez Torres<sup>1\*</sup>, Jorge Ricardo Guerrero López<sup>1</sup>, Leiva-Mora Michel<sup>2</sup>, Roberto Ismael Almeida Secaira<sup>1</sup>

DOI. 10.21931/RB/2023.08.03.6

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

<sup>2</sup>Laboratorio de Biotecnología Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.

Corresponding author: [op.nunez@uta.edu.ec](mailto:op.nunez@uta.edu.ec)

**Resumen:** El presente estudio tuvo como fin evaluar la producción y calidad nutritiva de avena (*A. elatius*) de corte e hidropónica bajo el efecto de diferentes densidades de siembra y tiempos de cosecha. Se utilizó un diseño experimental factorial 3x3x3, el cual constó de 3 tratamientos, T1 (avena corte), T2 (avena hidropónica con solución nutritiva) y T3 (avena sin solución nutritiva). Cada tratamiento tuvo tres repeticiones. Los factores de estudio fueron, densidades de siembra de avena de corte (0.150 kg/m<sup>2</sup>, 0.200 kg /m<sup>2</sup>, 0.250 kg/m<sup>2</sup>), tiempo de cosecha (45, 60, 75 días) y las densidades de siembra del forraje hidropónica con y sin solución fueron: 1.5 kg/m<sup>2</sup>, 3.0 kg/m<sup>2</sup>, 4.5 kg/m<sup>2</sup>, tiempos de cosecha (8, 12, 16 días). Las condiciones de cultivo hidropónico favorecieron el desarrollo morfológico, el rendimiento agrícola, la altura de planta, lo cual redujo los tiempos de corte e incrementó los volúmenes de forraje cosechado, así como el peso de forraje. La combinación de densidad de siembra de 0,15 kg/m<sup>2</sup> y cosecha cada 75 días arrojó los mejores resultados. La producción de avena hidropónica con y sin solución nutritiva incrementó el peso del forraje, el porcentaje de proteína, contenido de grasa y fibra. Asimismo, en el análisis económico se determinó que la avena hidropónica con solución nutritiva mostró una recuperación de 0.44 centavos por cada dólar invertido siendo el tratamiento que mayor rentabilidad alcanzó. En base a los resultados obtenidos se concluyó que la producción de forraje verde hidropónico bajo efecto de densidades de siembra y tiempo de cosecha influyó en los índices productivos y que resulta una alternativa eficiente para pequeños productores de forraje en la sierra ecuatoriana.

**Palabras clave:** Costos, Germinación, Soluciones nutritivas, Valor nutritivo.

**Abstract:** This study aimed to evaluate cut and hydroponic oats' production and nutritional quality (*A. elatius*) under different planting densities and harvest times. A 3x3x3 factorial experimental design was used, which consisted of 3 treatments: T1 (cut oats), T2 (hydroponic oats with nutrient solution) and T3 (oats without nutrient solution). Each treatment had three replicates. The study factors were the sowing densities of cut oats (0.150 kg/m<sup>2</sup>, 0.200 kg/m<sup>2</sup>, 0.250 kg/m<sup>2</sup>), harvest time (45, 60, 75 days) and the sowing densities of hydroponic forage with and without solution were: 1.5 kg/m<sup>2</sup>, 3.0 kg/m<sup>2</sup>, 4.5 kg/m<sup>2</sup>, harvest times (8, 12, 16 days). Hydroponic cultivation conditions favored morphological development, agricultural yield, and plant height, which reduced cutting times and increased harvested forage volumes and forage weight. The combination of sowing density of 0.15 kg/m<sup>2</sup> and harvesting every 75 days gave the best results. Hydroponic oat production with and without nutrient solution increased forage weight, protein percentage, fat and fiber content. Likewise, the economic analysis determined that hydroponic oats with nutritive solution recovered 0.44 cents for each dollar invested, the treatment that reached the highest profitability. Based on the results obtained, it was concluded that the production of hydroponic green forage under the effect of planting densities and harvest time influenced the production rates. It is an efficient alternative for small forage producers in the Ecuadorian highlands.

**Key words:** Costs, Germination, Nutrient solutions, Nutrient value.

### Introducción

Los constantes cambios climáticos han provocado la continua expansión de las áreas destinadas al cultivo de forrajes, los cuales no aportan la cantidad de nutrientes necesaria, trayendo como consecuencia la disminución de los rendimientos agrícolas. En los últimos años, en la provincia de Tungurahua se ha experimentado cambios climáticos desapacibles que han provocado una reducción de la producción forrajera que utiliza métodos tradicionales, afectan-

do principalmente la alimentación en animales de la zona<sup>1</sup>. Adicionalmente, se estima que la producción de forraje de modo tradicional requiere invertir altos costos, es por ello que se observa en la región sierra un incremento de los minifundios con la consiguiente disminución de la superficie destinada a la producción de forrajes.

Ante esta problemática, actualmente existe una tendencia a producir pastos de excelente calidad mediante la

**Citation:** Núñez Torres O P, Guerrero López J R, Leiva-Mora M, Almeida Secaira R I. Producción de avena en corte e hidropónica sembrada a diferentes dosis y tiempo de cosecha. *Revis Bionatura* 2023;8 (3) 6. <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2023.08.03.6>

**Received:** 28 May 2023 / **Accepted:** 15 July 2023 / **Published:** 15 September 2023

**Publisher's Note:** Bionatura stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

**Copyright:** © 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



utilización de la hidroponía, favoreciendo tanto el incremento del rendimiento agrícola como del beneficio económico<sup>2</sup>. La hidroponía en el Ecuador se ha transformado en una práctica que continúa progresando, pero al mismo tiempo existe un desconocimiento y desinformación sobre las especies que pueden ser utilizadas en la hidropónica<sup>3</sup>.

El forraje verde hidropónico (FVH) es el resultado de la técnica del cultivo sin suelo y constituye una de las principales tecnologías que favorecen el progreso de la agricultura, tanto por la rapidez de producción de la biomasa así como que permite cosechar a partir de los 9 a 16 días desde el momento de su siembra, lo que representa una ventaja respecto a la siembra tradicional con la cual no es posible producir durante todo el año<sup>4</sup>. En ese sentido, Fuentes *et al.* (2011)<sup>5</sup> sostuvieron que la prolongación de los tiempos de cosecha puede provocar reducción de la calidad del forraje, por lo que recomiendan realizar la cosecha a los 10 días, lo cual asegura un forraje con alto contenido de materia seca (36,86 %), proteína bruta (14,79%) y fibra cruda (18,77%).

La producción de avena (*Arrhenatherum elatius* (L.) P.Beauv. ex J. Presl & C. Presl) bajo el sistema de FVH requiere condiciones óptimas de temperatura, luz, humedad, además de una cuidadosa selección de semillas viables, control a partir de la germinación y del crecimiento inicial de las plantas. Las semillas de avena, cebada, maíz y trigo son comúnmente cultivadas bajo un sistema de cultivo hidropónico para la producción de forraje, el cual puede ser destinado a la alimentación de animales. Este alimento es apreciado por su alta palatabilidad, digestibilidad y especialmente por su excelente calidad nutricional<sup>6</sup>.

Estudios previos demuestran que granos de cereales como avena, cebada, maíz, arroz, trigo y sorgo cultivados de manera hidropónica pueden ser cosechados entre los 9 a 15 días posteriores a la siembra, con un máximo aprovechamiento de la energía solar y la solución de nutrientes minerales, lo que permitió aumentar la producción de biomasa por m<sup>2</sup>, mejorar la calidad nutricional y optimizar el tiempo de la cosecha del forraje<sup>7,8</sup>.

Asimismo, Cerrillo-Soto *et al.* (2012)<sup>9</sup>, reportaron una producción de biomasa de 13,0 kg FVHA/m<sup>2</sup> con calidades nutricionales respecto al contenido de proteína, 15,6% de materia seca (MS), contenido de energía metabolizable (2,5 Mcal/Kg/MS) y contenido de proteína metabolizable (73 g /Kg/MS). Adicionalmente, Delgado (2016), realizó una investigación donde determinó la producción de avena (*Avena sativa* L.) como forraje verde hidropónico a base de tres métodos de producción<sup>10</sup>.

De acuerdo con Vásquez *et al.* (2014), la provincia de Tungurahua es un sitio estratégico donde se desarrollan una serie de actividades productivas tanto agrícolas como pecuarias, el sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH) podría representar una alternativa no convencional, importante para la obtención de forrajes de muy buena calidad nutricional a través del año, utilizando pequeñas superficies de terreno<sup>11</sup>. Por lo tanto, el objetivo de la investigación fue determinar la producción y calidad nutritiva de avena (*A. elatius*) de corte e hidropónica por efecto de las densidades de siembra y tiempo de cosecha.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en la Granja Experimental Querochada de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Técnica de Ambato, ubicada en el cantón Cevallos,

Provincia de Tungurahua, Ecuador (01° 21'00" S y 77° 35'00"O)<sup>12</sup>. Para la producción del FVH se utilizó un invernadero de madera (6m de largo x 3m de ancho x 3m de alto) cubierta con plástico de polietileno UV6, con ventoletras en los lados e internamente cubierto con tela con 65% de sombra. En el interior del invernadero se colocaron 9 módulos de hierro de 2m largo x 1m de ancho.

La semilla de avena (*A. elatius*) se adquirió en la empresa FERTISA, para la pre-germinación de la avena hidropónica se pesó la semilla dejándola en remojo durante 24 h, luego fueron lavadas. Posteriormente las semillas lavadas fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 1% en dosis de 1mL/L durante 15 min y nuevamente lavadas con agua y posteriormente secadas en un cedazo tapado con papel durante 2 horas bajo sombra para eliminar el exceso de humedad.

Para favorecer la germinación de las semillas, estas fueron colocadas dentro de una funda negra con orificios en la parte inferior para que se oxigenaran durante el proceso de germinación depositando dentro de un balde tapado con periódico húmedo durante 3 días. Seguidamente fueron sembradas en bandejas plásticas de 60 x 40 cm con orificios en un extremo para evitar la acumulación del agua. Para la preparación de la solución nutritiva para el FVH se utilizaron las siguientes fuentes: Ca (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, dosis 1,20 g/L; KNO<sub>3</sub>, dosis 0,87 g/L; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, dosis 0,54 g/L; H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 0,20 g/L; MgSO<sub>4</sub>, 0,52 g/L; micronutrientes 0,10 g/L.

Se evaluó el rendimiento de la avena sembrada en un sistema convencional (T1) y bajo un sistema hidropónica con (T2) y sin solución nutritiva (T3). En cada sistema de cultivo, se evaluaron tres densidades de siembra y tres fechas de corte. En avena de corte se usaron las siguientes densidades de siembra: 0,150 kg/m<sup>2</sup>, 0,200 kg/m<sup>2</sup>, 0,250 kg/m<sup>2</sup>; con tiempos de cosecha 45, 60, 75 días después de la siembra, mientras que para la avena sembrada bajo sistema hidropónico se usaron densidades de 1,5 kg/m<sup>2</sup>, 3,0 kg/m<sup>2</sup>, 4,5 kg/m<sup>2</sup>, con tres tiempos de cosecha (8, 12, 16 días después de la siembra) tanto para avena con y sin solución nutritiva. Se analizaron los siguientes índices productivos: peso de la semilla (Kg), germinación (%), altura de la planta (cm), peso final de la avena de corte e hidropónica (Kg).

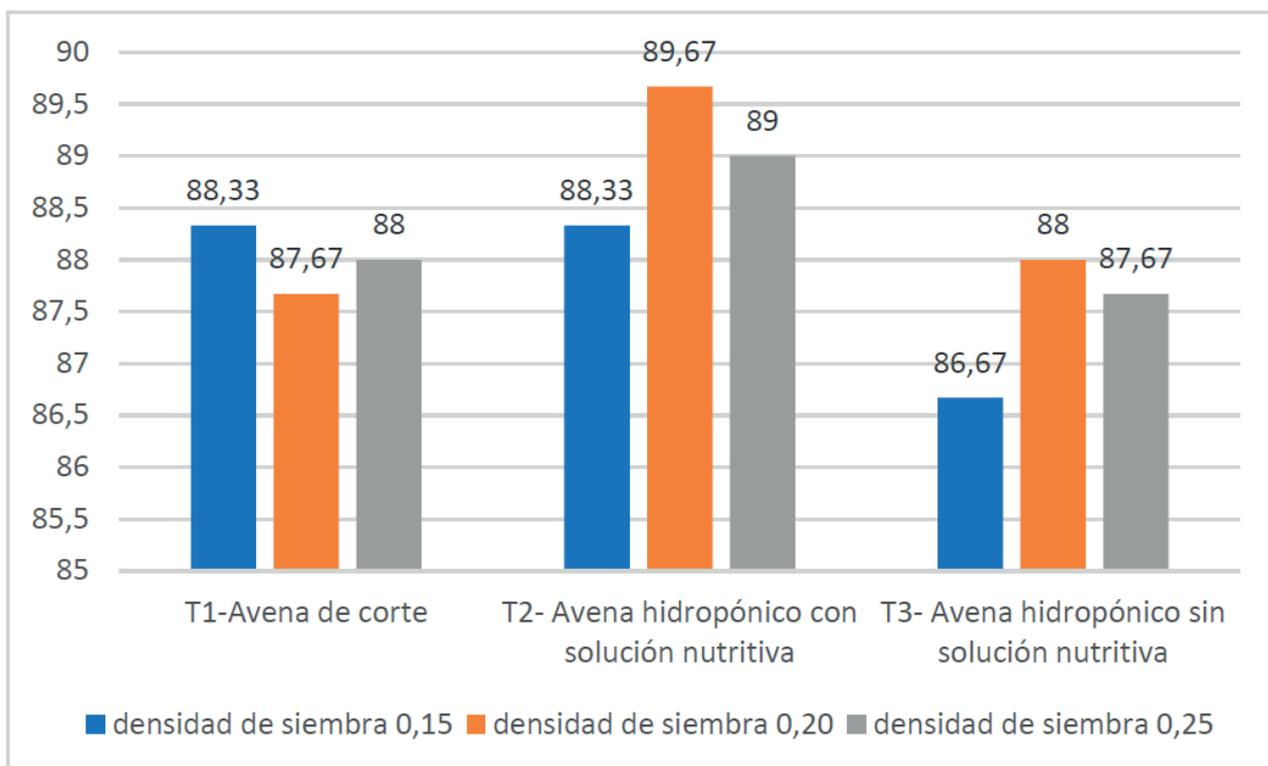
Finalmente se realizó un análisis bromatológico y también se determinaron todos los gastos requeridos para la producción de forraje de corte e hidropónico, de esta manera se estableció la diferencia entre los tratamientos mediante la relación beneficio/costo. El ensayo fue conducido bajo un diseño factorial 3x3x3 con tres repeticiones. Los datos fueron sometidos a análisis de varianza y las variables que mostraron diferencias significativas fueron sometidas a la prueba para la separación de las medias según Tukey (p<0.05) usando el paquete estadístico Statistix versión 10.0.

## Resultados

### Avena de corte

Se encontraron diferencias significativas en todas las variables evaluadas, excepto en el porcentaje de germinación (Tabla 1 y gráfico 1).

Con la densidad de semilla de 0,15 kg/m<sup>2</sup> y el tiempo de cosecha 75 días después de la siembra (dds) se obtuvieron los mayores valores de altura de planta (49,39 cm),



**Figura 1.** Porcentaje de germinación en tres sistemas de producción de forraje de avena utilizando tres densidades de siembra.

	Densidad de siembra (kg/m <sup>2</sup> )								
	0,15			0,20			0,25		
	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días	45 días	60 días	75 días
<b>% Germinación</b>	87,33 a	87,33 a	88,33 a	88,33 a	87,00 a	87,67 a	87,67 a	88,33 a	88,00 a
<b>Altura planta (cm)</b>	33,29 f	41,59 cd	49,39 a	32,42 f	37,69 ef	44,77 bc	32,82 f	39,09 de	45,77 b
<b>Peso forraje (kg)</b>	8,87 b	15,60 ab	19,51 a	13,88 ab	13,88 ab	10,56 b	12,30 ab	8,53 b	10,03 b
<b>% Proteína</b>	2,99 bc	3,13 ab	2,22 ef	2,13 f	3,17 a	2,21 ef	2,30 e	2,95 c	2,54 d
<b>% Humedad</b>	86,39 ab	76,62 c	78,39 bc	89,52 a	78,23 bc	77,64 bc	88,73 a	80,24 abc	76,62 c
<b>% Ceniza</b>	2,91 a	6,61 c	2,54 a	2,83 a	4,80 b	2,30 a	2,87 a	4,54 b	1,99 a
<b>% Grasa</b>	0,28 e	0,40 d	0,79 a	0,48 cd	0,43 d	0,57 bc	0,21 e	0,46 d	0,73 b
<b>% Fibra Cruda</b>	2,55 d	5,23 a	4,15 c	1,84 e	4,43 bc	4,49 bc	2,11 de	4,36 bc	4,85 ab

**Tabla 1.** Variables productivas y contenido bromatológico en avena cultivada en un sistema tradicional.

mientras que los valores más bajos fueron alcanzados con densidades 0,15; 0,20 y 0,25 kg/m<sup>2</sup> cuando fueron cosechadas a los 45 dds con promedios de 33,29; 32,82 y 32,42 cm, respectivamente.

De manera similar, el mayor valor de peso de forraje fue registrado cuando la avena se sembró a densidad de 0,15 kg/m<sup>2</sup> y cosechada a los 75 dds, seguida de aquellas cultivadas a las densidades 0,15 y 0,20 kg/m<sup>2</sup> y cosechadas a los 60 dds así como las densidades de 0,2 y 0,25 kg/m<sup>2</sup> y cosechada a los 45 dds, donde se obtuvieron pesos de 15,60, 13,88, 13,88 y 12,30 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente. Por otra parte, los valores más bajos fueron registrados con densidades 0,20 y 0,25 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 75 dds (10,56 y 10,03 kg/m<sup>2</sup>), mientras que con la densidad de 0,15 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 45 dds y 0,25 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 60 dds las plantas alcanzaron 8,87 y 8,53 kg/m<sup>2</sup>, respectivamente.

Con relación al análisis bromatológico, el mayor porcentaje de proteína, fue observado en plantas sembradas con densidades de 0,15 y 0,20 kg/m<sup>2</sup> a los 60 dds, los cuales fueron significativamente mayor que el resto de los tratamientos. Los porcentajes de humedad y cenizas fueron significativamente mayores en plantas correspondientes a las densidades de 0,2 y 0,25 kg/m<sup>2</sup> cosechadas a los 45 dds, observándose que el contenido de cenizas también fue alto en otras combinaciones (Tabla 1). Finalmente, los porcentajes de fibra cruda y grasa fueron significativamente mayores en plantas sembradas a 0,15 kg/m<sup>2</sup> con tiempos de cosecha de 60 y 75 dds, respectivamente.

#### Avena hidropónica con y sin solución nutritiva

De manera similar a lo observado con la avena de corte, se demostró el efecto de la densidad de siembra y el tiempo de cosecha, sobre la mayor parte de las variables

evaluadas en plantas de avena hidropónica tratadas con solución nutritiva, excepto en el porcentaje de germinación (Tabla 2). Los mayores valores en altura de planta, porcentaje de proteínas, cenizas, grasa y fibra cruda fueron observados en avena sembrada a una densidad de 4,5 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 8 y 12 días dds. Un comportamiento similar fue registrado en el contenido de grasa y fibra cruda. Contrariamente, el mayor peso de forraje fue obtenido en avena sembrada a densidades de 3,0 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 12 y a 4,5 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 12 y 16 dds, quienes alcanzaron valores entre 34,9 y 35,65%, mayores al tratamiento con el peor resultado (densidad de 1,5 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 8 dds) (Tabla 2).

En plantas de avena hidropónica sin aplicación de solución nutritiva, los mayores valores en altura de planta fueron alcanzados en las densidades de 3,0 y 4,5 kg/m<sup>2</sup> cuando fueron cosechadas a los 12 y 16 dds, las cuales mostraron valores similares entre ellos, así como con la densidad 1,5 kg/m<sup>2</sup> a los 16 dds. Estos tratamientos fueron entre 35,2 y 39,8% mayores que el peor de los resultados obtenido con la densidad 4,5 kg/m<sup>2</sup> cosechada a los 8 dds. (Tabla 3).

Por otra parte, cuando se usó una densidad de 4,5 kg/m<sup>2</sup> con un tiempo de cosecha de 16 dds arrojó el mejor resultado respecto al peso de forraje. Con relación al análisis bromatológico, los mejores resultados en contenido de humedad de ceniza fueron observados con la densidad de siembra de 1,5 kg/m<sup>2</sup> independientemente del tiempo de cosecha, mientras que el porcentaje de grasa fue alcanzado con la misma densidad con tiempos de cosecha de 12 y 16 dds (Tabla 3). Finalmente, la fibra cruda fue mayor en las

plantas de avena cultivadas con una densidad de 3,0 kg/m<sup>2</sup> cosechadas a las 16 dds.

Ingresos y relación beneficio/costo de los diferentes tratamientos de cultivo de avena

En la tabla 4 se muestran los valores de ingreso en cada tratamiento, observándose que los mayores ingresos fueron alcanzados con la avena hidropónica (con y sin solución nutritiva), los cuales resultaron ser 16,3 y 12,2 veces más altos que el ingreso estimado para avena cultivada en un sistema convencional.

La relación beneficio/costo de los diferentes sistemas de cultivo de avena evaluados mostró que en el tratamiento donde la avena fue cultivada en un sistema convencional la utilidad fue 61,9 y 44,1% menor con respecto a la avena hidropónica con y sin solución nutritiva, respectivamente (Tabla 5). Asimismo, la relación beneficio/costo fue 76,4 y 75,4% menor en comparación con los mismos tratamientos, respectivamente.

De acuerdo con los resultados, por cada dólar invertido en cada uno de los sistemas de siembra se proyecta la recuperación de 34 centavos de dólar con el forraje obtenido bajo un sistema convencional, mientras que con la avena hidropónica con o sin solución nutritiva las recuperaciones fueron de 1,44 y 1,38 dólares, respectivamente.

Como se parecía en la figura 1, la avena hidropónica en estado de imbibición (Figura 1A). Al cabo de los 8 días se muestra crecimiento pero aun no ha desarrollado suficiente biomasa vegetal (Figura 1B). Sin embargo, a los 12 de crecidas se observa una mayor uniformidad y compactación de las plantas germinadas (figura 1C). A los 16 días

	Densidad de siembra (kg/m <sup>2</sup> )								
	0,15			0,20			0,25		
	8 días	12 días	16 días	8 días	12 días	16 días	8 días	12 días	16 días
<b>Germinación (%)</b>	88,33 a	88,00 a	88,33 a	88,33 a	89,00 a	89,67 a	89,33 a	89,33 a	89,00 a
<b>Altura planta (cm)</b>	1,10 f	1,24 e	1,29 de	1,39 cd	1,50 c	1,62 b	2,05 a	2,06 a	2,16 a
<b>Peso forraje (Kg)</b>	4,83 e	7,27 bcd	7,23 cd	4,88 e	7,50 a	7,17 d	4,93 e	7,43 abc	7,48 ab
<b>Proteína (%)</b>	5,29 a	4,08 b	2,74 c	4,42 b	4,20 b	2,67 c	5,23 a	4,23 b	2,53 c
<b>Humedad (%)</b>	52,73 b	74,60 a	77,73 a	62,63 b	63,00 b	78,13 a	56,93 b	62,53 b	80,30 a
<b>Ceniza (%)</b>	1,39 a	0,90 c	0,81 c	1,13 b	1,17 ab	0,72 c	1,36 ab	1,31 ab	0,73 c
<b>Grasa (%)</b>	2,20 b	0,42 f	0,79 d	2,06 c	0,53 ef	0,53 ef	2,98 a	0,46 ef	0,57 e
<b>Fibra cruda (%)</b>	4,60 d	6,06 c	4,27 d	7,77 b	8,55 a	4,71 d	8,35 a	8,68 a	3,66 e

**Tabla 2.** Variables productivas y contenido bromatológico en avena hidropónica con solución nutritiva.

	Densidad de siembra (kg/m <sup>2</sup> )								
	0,15			0,20			0,25		
	8 días	12 días	16 días	8 días	12 días	16 días	8 días	12 días	16 días
<b>% Germinación</b>	87,33 a	88,33 a	86,67 a	87,67 a	87,67 a	88,00 a	88,00 a	89,00 a	87,67 a
<b>Altura planta (cm)</b>	3,50 b	5,27 a	5,75 a	3,40 b	5,25 a	5,78 a	3,48 b	5,25 a	5,78 a
<b>Peso forraje (Kg)</b>	0,99 g	0,94 g	1,10 fg	1,24 ef	1,35 de	1,50 cd	1,76 b	1,59 bc	1,95 a
<b>% Proteína</b>	4,65 b	2,70 d	2,17 f	5,02 a	3,20 c	2,27 ef	5,21 a	4,63 b	2,51 de
<b>% Humedad</b>	61,13 a	51,63 a	55,10 a	78,53 b	73,67 b	59,83 a	81,70 b	80,37 b	81,30 b
<b>% Ceniza</b>	1,25 ab	1,49 a	1,31 ab	0,69 c	1,04 b	1,31 ab	0,58 c	0,65 c	0,57 c
<b>% Grasa</b>	0,88 bc	2,30 a	2,31 a	0,09 d	1,13 b	0,66 bc	0,59 bcd	0,53 cd	0,54 cd
<b>% Fibra Cruda</b>	7,37 bc	7,63 b	6,98 c	6,16 d	6,03 d	8,79 a	3,69 ef	4,06 e	3,37 f

**Tabla 3.** Variables productivas y contenido bromatológico en avena hidropónica cultivadas sin solución nutritiva.

	Cantidad producida (kg)	Valor unitario (\$)	Valor total de la producción (\$)
Avena bajo sistema convencional	81	0,20	16,20
Avena hidropónica con solución nutritiva	1200	0,22	264,00
Avena hidropónica sin solución nutritiva	900	0,22	198,00

Tabla 4. Ingresos por tratamiento de los diferentes tratamientos de cultivo de avena.

	Gasto (\$)	Ingreso total (\$)	Utilidad (\$)	Rentabilidad (%)	B/C
Avena bajo sistema convencional	47,22	16,20	31,02	191,40	0,34
Avena hidropónica con solución nutritiva	182,50	264	81,50	30,87	1,44
Avena hidropónica sin solución nutritiva	142,50	198	55,50	28,03	1,38

Tabla 5. Cálculo de relación beneficio/costo de los tratamientos.

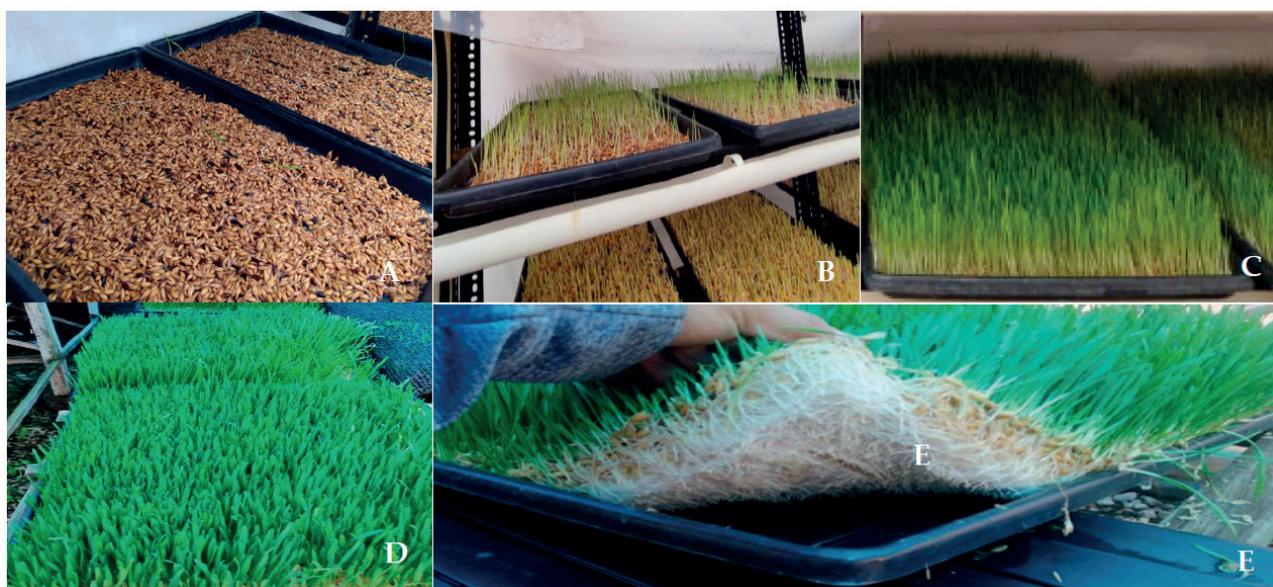


Figura 2. Ciclo productivo de avena hidropónica con solución nutritiva. A) 24 h de la germinación. B) 8 días de crecida. C) 12 días de crecida. D) 16 días de crecida. E) Avena lista para alimentación.

se observa un entrelazado fuerte de las raíces de las plantas germinadas en bandejas así como una biomasa lista para ser consumidas por animales ((figura 1D y E).

## Discusión

Los parámetros productivos y de contenido bromatológico en avena hidropónica variaron dentro de las diferentes densidades de siembra en avena con y sin solución nutritiva en base a la altura de la planta las dosis utilizadas en la densidad de siembra fueron: 1.5 kg/m<sup>2</sup>, 3.0 kg/m<sup>2</sup>, 4.5 kg/m<sup>2</sup>, tiempos de cosecha (8,12,16 días), respectivamente, datos similares fueron informados por la FAO, (2001), donde señalaron que las dosis óptimas para el cultivo hidropónico de avena varían entre 2,2 a 3,4 kilos por metro cuadrado, proporcional al espacio (bandeja) disponible para el cultivo de las semillas<sup>13</sup>.

Fuentes (2011), mediante varias experiencias con FVH de avena logró desarrollar varias adaptaciones en el ma-

nejo de la dosis de siembra, utilizando principalmente las siguientes: 2 a 3 kg/m<sup>2</sup>, 3.9 kg/m<sup>2</sup> y 5,6 kg/m<sup>2</sup>. En este estudio las dosis de siembra estuvieron relacionadas con la superficie de bandejas disponibles, la calidad y cantidad de forraje obtenido<sup>5</sup>.

Por otra parte, Morales *et al.*, (2020), realizaron una investigación en la Región del Sur del Ecuador, donde compararon la producción de avena (*Avena sativa* L.) y trigo (*Triticum vulgare* L.) procedente de un sistema de forraje verde hidropónico (FVH) así como de un sistema de producción convencional (CA)<sup>14</sup>. Estos autores obtuvieron una mayor altura en el trigo FVH con 17,67 cm, por otro lado, con la avena bajo el CA alcanzaron una altura de 82,67 cm. En lo que respecta a la producción de biomasa, con el trigo FVH produjeron 23,75 kg/m<sup>2</sup> de materia verde o 3,10 kg/m<sup>2</sup> en materia seca respectivamente.

Acurio (2016), indicó que para el éxito de la producción del FVH se requiere una apropiada irrigación a partir de su siembra hasta el instante en que es cosechada, asimismo es recomendable la implementación de agua más

una solución nutritiva rica en micro y macroelementos que favorezcan a obtener mayor producción, se debe tener en cuenta que si se utiliza solamente agua pura es muy útil, pero a su vez el rendimiento será menor a comparación del desarrollo con solución<sup>15</sup>. Con relación al peso de forraje en kilogramos en el estudio realizado se apreció que las interacciones D2C2 (3.0 kg/m<sup>2</sup>/12 días), se ubicaron en el rango A con una media de 7.50 kg; D3C3 (4.50 kg/m<sup>2</sup>/16 días) se ubicó en el rango AB con una media de 7.48 kg; de peso respectivamente.

En relación con los tiempos de cosecha del forraje hidropónico, Soto et. al (2012), indicaron que entre los 8 a 14 días lograron una altura promedio de hasta 25 cm en la cual se mostró una productividad de 8 a 15kg de FVH<sup>16</sup>. En el séptimo y octavo día tuvieron mayor riqueza nutricional por lo que su peso y cosecha desde dichos días ya es recomendable para iniciar su cosecha dependiendo de la necesidad del productor.

Si se tiene en cuenta que la cosecha no es solamente de la parte aérea, sino que comprende la totalidad de la biomasa producida, es decir todo lo que contiene la bandeja como hojas, tallos, el acolchado de la raíz, así como las semillas que no consiguieron ser germinadas por ende toda la alfombra es un alimento consumido en su totalidad por los cuyes. Del mismo modo la FAO (2001), indicó que la época de cosecha inicia a partir de los 12 a 14 días de su siembra, pero en caso de necesitar el alimento se puede realizar cosechas adelantadas como a los 8 a 9 días, el forraje se encuentra en su mayor riqueza de nutrientes ente los 7 a 8 días, pero también mediante varias prácticas se ha documentado que el periodo comprendido de 7 a 10 días también se encuentra dentro del rango nutritivo para esta especie<sup>13</sup>.

Acorde con el análisis bromatológico los valores más notorios tanto de proteína, grasa, y fibra correspondieron a la avena hidropónica, aunque no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos T2 y T3. Sin embargo, en la variable porcentaje de grasa se apreció una ventaja en el en avena hidropónica con solución nutritiva cosechada a los 8 días. Referido a la calidad nutritiva López (2009), mencionó que esta varía dependiendo de varios factores ya sea el tiempo de cosecha, variedad, edad, manejo y el clima en el que se desarrolla el cultivo, asimismo el contenido de la proteína es uno de los factores más notables para definir la calidad del forraje de una ración para los animales<sup>9</sup>.

Por otro lado la FAO (2001) manifestó que el forraje verde hidropónico tiene un gran contenido de vitamina E y provitaminas A.<sup>13</sup>, Similarmente Albert et al. (2018) evaluaron el rendimiento productivo y el contenido de nutrientes en tres especies de gramíneas cultivadas con el sistema de Forraje Verde Hidropónico (FVH) las cuales fueron: maíz (*Zea mays*), Avena (*Avena strigosa*) y trigo (*Triticum vulgare*), para esta ensayo se recogieron muestras representativas en dos tiempos de cosecha a los 10 y 12 días y posteriormente se pesó el material fresco.<sup>(17)</sup> El rendimiento productivo de para cada una de las especies fueron: maíz: 3,91 kg/m<sup>2</sup>; 4,64 kg/m<sup>2</sup>; avena: 4,44 kg/m<sup>2</sup>, 4,96 kg/m<sup>2</sup> y trigo: 8,18 kg/m<sup>2</sup>, 10,73 kg/m<sup>2</sup>. De tal forma que el beneficio promedio en materia verde de las tres especies no mostró diferencias significativas al día 10, sin embargo, la ganancia promedio de materia verde para del FVH de trigo con relación al promedio de las otras especies fue estadísticamente significativo tanto para el día 10 como el día 12.

Avendaño (2017), llevó a cabo un estudio encargado

de la evaluación productiva y nutricional de tres variedades de avena forrajera (*A. sativa*): Cayuse, Ever Leaf y Avena Nativa, con tres niveles de ferti-riego hidropónico en Monquí-Boyaca y determinaron que la biomasa y calidad nutricional para la variedad avena Cayese juntamente con el T2, fueron superiores a las otras especies<sup>18</sup>.

El otro estudio realizado por Firehiwot et al. (2018), al evaluar el rendimiento hidropónico y el valor nutritivo de diferentes variedades de forraje de avena (*Avena sativa*) por edades en la Universidad de Wollega, no mostraron diferencias significativas entre las variedades de avena como un efecto de la frecuencia de riego, rendimiento de forraje, rendimiento en fresco, altura de la planta, peso de la hoja, tallo y relación hoja con tallo<sup>19</sup>. Sin embargo, hubo un efecto significativo con las fechas de cosecha sobre el rendimiento de forraje hidropónico, altura de la planta, entre otras, donde los mejores resultados se obtuvieron al cabo de 10 días después de la siembra y disminuyó constantemente hasta los 14 días de siembra.

En la presente investigación se obtuvo una respuesta económica significativa con una recuperación de 44 centavos de dólar por cada dólar invertido de la producción de forraje verde hidropónico bajo efecto de dosis de siembra y tiempos de cosecha influyo en los índices productivos, datos similares mencionó (López Martínez, 2005), que los costos de producción del FVH dependerán de la escala de producción, para sobrellevar a un análisis de costos se debe pensar en los riegos que se encuentra expuesto en la zona como problemas climáticos adversos (sequías), además costos unitarios básicos como la provisión de la semilla de calidad y viable para la producción de forraje que se encuentre al alcance de pequeños y medianos productores<sup>20</sup>. La producción de forraje tiene como ventaja que los niveles de los costos fijos son aceptables a comparación de la producción convencional.

## Conclusiones

Las condiciones de la avena de corte favorecieron el rendimiento, altura de planta, lo cual redujo los tiempos de corte e incrementó las cantidades de forraje cosechado, así como el peso de forraje, siendo la combinación de densidad de siembra de 0,15 kg/m<sup>2</sup> cosecha cada 75 días la de mejores resultados. La producción de avena hidropónica con y sin solución nutritiva incrementaron el peso del forraje, el porcentaje de proteína, grasa y fibra. La avena hidropónica con solución nutritiva mostró una recuperación de 0.44 centavos por cada dólar invertido siendo el tratamiento que mayor rentabilidad produjo.

## Contribuciones de los autores

Conceptualización, Oscar Patricio Núñez Torres y Jorge Ricardo Guerrero López; Metodología, Michel Leiva Mora, Oscar Patricio Núñez Torres y Roberto Ismael Almeida Secaira; software, Michel Leiva Mora, validación, Oscar Patricio Núñez Torres, Jorge Ricardo Guerrero López, Leiva-Mora Michel, Roberto Ismael Almeida Secaira, análisis formal, Michel Leiva Mora y Oscar Patricio Núñez Torres; investigación, Oscar Patricio Núñez Torres y Jorge Ricardo Guerrero López; recursos, Roberto Ismael Almeida Secaira y Michel Leiva Mora, curado de datos, Michel Leiva Mora y Oscar Patricio Núñez Torres; redacción—redacción borrador original, Oscar Patricio Núñez Torres, Jorge Ricardo Guerrero López; redacción—revisión y edición, Roberto Is-

mael Almeida Secaira, Michel Leiva Mora, Jorge Ricardo Guerrero López; supervisión, Oscar Patricio Núñez Torres; administración del proyecto, Oscar Patricio Núñez Torres, adquisición del financiamiento, Oscar Patricio Núñez Torres y Jorge Ricardo Guerrero López; Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

### Conflictos de Interés

Los autores manifestamos que no existen conflicto de intereses ni argumentos que invaliden la publicación del manuscrito.

## Referencias bibliográficas

1. Núñez O, Lozada RM, Cruz E, Aragadvay R. Evaluación de avena hidropónica (*Arrhenatherum elatius*) en la alimentación de conejos en la etapa de engorde. *J Selva Andina Animal Sci.* 2017;1:59-71.
2. Castillo Valdivieso J. Producción de biomasa y calidad nutricional de forraje verde hidropónico de Avena sativa L. y *Hordeum vulgare* L. con dos cortes sucesivos [tesis de pregrado]. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja; 2017.
3. Orjuela Villalobos WG. Evaluación Del Uso De Forraje Verde Hidropónico de Trigo Como Alternativa Nutricional en la Producción de Leche del Ganado Bovino en Turmeque [tesis de pregrado]. Tunja, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia; 2015.
4. Salas L, Preciado P, Esparza J, Álvarez V, Palomo A, Rodríguez N, et al. Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoam.* 2010;28(4):355-360.
5. Fuentes F, Poblete C, Huerta M, Palapé I. Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. *IDESIA (Chile).* 2011;2(3):75-82.
6. López R, Murillo B, Rodríguez G. El forraje verde hidropónico (FVH): Una alternativa de producción de alimento para el ganado en zonas áridas. *Interciencia.* 2009;34(2).
7. Morales MA, Fuente B, Juárez M, Ávila E. Effect of substituting hydroponic green barley forage for a commercial feed on performance of growing rabbits. *World Rabbit Sci.* 2009;17:35-38.
8. Rodríguez-Muela C, Rodríguez HE, Ruiz O, Flores A, Grado JA, Arzola C. Use of green fodder produced in hydroponics systems as supplement for salsers lactating cows during the dry season. *Proc West Sect Am Soc Anim Sci.* 2012;56:271-274.
9. Cerrillo-Soto MA, Juárez-Reyes AS, RiveraAhumada JA, Guerrero-Cervantes M, Ramirez-Lozano RG, Bernal-Barragán H. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia.* 2012;37:906-913.
10. Delgado J. Producción de avena (*Avena sativa*) como forraje verde hidropónico con tres métodos de producción, en el distrito 8 de La Ciudad de El Alto [tesis de pregrado]. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés; 2016.
11. Vásquez JM, Puentes J, Martínez JJ, López MJ, Vásquez JM, Camacho SY, Santana R. Seaman international de agronomía. n.r.215790.
12. WeatherOnline. Pronóstico del clima Querochaca. Disponible en: <https://www.woespana.es/weather/maps/city>. Consultado el 22 de agosto de 2021.
13. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Manual Técnico. Forraje verde hidropónico. Mejoramiento de la disponibilidad de alimentos en los Centros de Desarrollo Infantil del ANNFA. Santiago, Chile; 2001.
14. Morales D, Jiménez L, Burneo I, Capa E. Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Aliment Nutr Anim.* 2020;21(3):1-16.
15. Acurio Medina MC. Evaluación de avena hidropónica en la alimentación de conejos de raza neozelandés en la etapa de engorde [tesis de pregrado]. Ambato, Ecuador: Universidad Técnica de Ambato; 2016.
16. Soto M, Juárez A, Rivera J, Guerrero M, Ramírez R, Bernal H. Producción de biomasa y valor nutricional del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Rev Interciencia.* 2012;37(12):906-913.
17. Albert G, Alonso N, Cabrera A, Rojas L. Evaluación productiva del forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. *Compendio de Ciencias Veterinarias.* 2018;6(1):7-10.
18. Avendaño AP. Evaluación productiva y nutricional de tres variedades de avena forrajera (*Avena sativa*): Cayuse, Ever Leaf y Avena Nativa, con tres niveles de ferti-riego hidropónico en Monguí-Boyacá [tesis de pregrado]. Boyacá, Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD); 2017.
19. Firehiwot G, Diriba D, Kassahun G, Diribe K. Evaluation of hydroponics performance and nutritive value of different oat (*Avena sativa*) forage varieties in Wollega University, Western Ethiopia. *Am-Euras J Sci Res.* 2018;13(3):39-46.
20. López Martínez LA. Producción de forraje verde hidropónico [tesis de especialización]. Saltillo, México: Centro de Investigación en Química Aplicada; 2005.