Cienc. Tecnol. Agropecuaria, *21* (3): e1386
DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386 ISSN: 0122-8706 ISSNe: 2500-5308

Alimentación y nutrición animal

Artículo de investigación científica y tecnológica

Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional

Dayana Beatriz Morales Sinchire[1], Leticia Salomé Jiménez Álvarez[1]*, Juan Ignacio Burneo Valdivieso[1], Edwin Daniel Capa Mora[1]

[1] Universidad Técnica Particular de Loja. Loja, Ecuador

* Autor de correspondencia: Universidad Técnica Particular de Loja. San Cayetano Alto, Calle París. Dirección postal 11-01-608. Edificio Área Biológica. Loja, Ecuador. lsjimenez@utpl.edu.ec

Recibido: 26 de marzo de 2019
Aceptado: 09 de marzo de 2020
Publicado: 31 de julio de 2020

Editor temático: Leyla Ríos de Álvarez (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA])

Para citar este artículo: Morales Sinchire, D. B., Jiménez Álvarez, L. S., Burneo Valdivieso, J. I., & Capa Mora, E. D. (2020). Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, *21*(3), e1386. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386

Resumen

En la Región Sur del Ecuador se comparó la producción de avena (*Avena sativa* L.) y trigo (*Triticum vulgare* L.) obtenida a partir de un sistema de forraje verde hidropónico (FVH), frente al sistema de producción convencional o a campo abierto (CA). El experimento para cada sistema y cultivo se estableció bajo un diseño de bloques al azar, instalando cuatro tratamientos (dos en FVH y dos a CA), con tres repeticiones cada uno. Se evaluó la altura de la planta (AP) de cada cultivo para cada sistema productivo, mientras que para cada sistema y cultivo se determinó la producción de biomasa, la proteína cruda (PC) ($p < 0,05$) y el cociente de la relación beneficio-costo (B/C). La mayor altura se obtuvo en trigo FVH con 17,67 cm y en avena CA con 82,78 cm. En relación con la producción de biomasa, el trigo FVH alcanzó 23,57 kg/m^2 de materia verde (MV) o 3,10 kg/m^2 de materia seca (MS); el resto de tratamientos estuvo por debajo de 13 kg/m^2 de MV (1,39 kg/m^2 de MS); el porcentaje de proteína en el trigo CA fue mayor con 19,90 %, seguido de avena CA, mientras que el trigo y la avena FVH tuvieron valores de alrededor del 10 %; en beneficio-costo, el trigo FVH obtuvo un puntaje mayor de 1,46 frente a la avena FVH (0,67), el trigo CA (0,26) y la avena CA (1,00). Por esta razón, la complementariedad de los dos sistemas de producción, especialmente en el cultivo de trigo, podría ser una opción para la alimentación animal.

Palabras clave: alimentación del ganado, alternativa hidropónica, producción de piensos, sistemas de cultivo, sistemas de pastoreo

Oat and wheat forage production under hydroponic and conventional systems

Abstract

In the Southern Region of Ecuador, the production of oat (*Avena sativa* L.) and wheat (*Triticum vulgare* L.) obtained through a Hydroponic Green Forage (HGF) system was compared to the conventional or Open Field (OF) production system. For each production system and crop, the experiment was established under a complete block design, installing four treatments (two in HGF and two in OF), with three repetitions each. The plant height (PH) of each crop was evaluated for each production system, while for each system and crop, the production of biomass, crude protein (CP) ($p < 0.05$), and the benefit-cost ratio (B/C) were determined. The highest PH was obtained in HGF wheat with 17.67 cm and in OF oat with 82.78 cm. In biomass production, HGF wheat reached 23.57 kg/m^2 green matter (GM) or 3.10 kg/m^2 dry matter (DM); the rest of the treatments were below 13 kg/m^2 GM (1.39 kg/m^2 DM). The percentage of protein in OF wheat was higher with 19.90 %, followed by OF oat, whereas HGF wheat and HGF oat exhibited values of around 10 %. Concerning the benefit-cost ratio, the HGF wheat showed values of 1.46 compared to HGF oat with 0.67, OF wheat with 0.26, and OF oat with 1.00. For this reason, the complementarity of the two production systems, especially in wheat cropping, could be an option for animal feed.

Keywords: farming systems, feed production, grazing systems, hydroponic alternative, livestock feeding

Introducción

La ganadería bovina es la principal actividad en la región Sierra del Ecuador, constituyendo el 49 % del total nacional. La provincia de Loja ocupa la quinta posición de once que conforman la región al poseer 9 % del total de cabezas de ganado (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2016). Esta región tiene una proporción de pastos cultivados y naturales de 27,86 % y 74,28 %, respectivamente (INEC, 2016). La productividad de los pastos para la alimentación del ganado bovino, en relación con la cantidad de animales que se encuentra en esta provincia, es baja por los limitados recursos hídricos y la disminución en la fertilidad de los suelos (Huiza, 2015), debido a los serios procesos de degradación del suelo como erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación (De Noni & Trujillo, 1986), lo que motiva a los productores a suministrar insumos pecuarios como concentrados para complementar la alimentación de sus animales, elevándose los costos de producción.

El forraje tradicionalmente cultivado en Campo Abierto (CA) enfrenta dificultades en su producción. El crecimiento de la tasa de urbanización obliga a desplazar las explotaciones pecuarias a sectores lejanos (Vargas-Rodríguez, 2008), factores climáticos adversos como las inundaciones, sequías y falta de sistemas de riego, lo que conlleva una menor producción de forraje producido para alimentación de los animales (Food and Agriculture Organization [FAO], 2001). Esta situación lleva a la búsqueda o aplicación de nuevas tecnologías, con la finalidad de mejorar la cantidad y calidad de alimento para el ganado (Suquilanda, 2008).

El forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa propuesta para solventar los problemas de falta de alimento a los animales de granja, que consiste en la producción de biomasa vegetal a partir del crecimiento inicial de plántulas (Ramírez-Víquez & Soto-Bravo, 2017; Zagal-Tranquilino et al., 2016); además, posee atributos nutricionales aptos para la alimentación animal (Nava-Noriega et al., 2005) y complementa la suplencia de forraje durante todo el año, debido a que se puede producir en áreas marginales y poco fértiles (Vargas-Rodríguez, 2008). Este sistema de producción no es muy utilizado en el país, menos aún en la provincia de Loja, por lo que iniciar con estudios en este tema será de mucha utilidad para el productor de ganado bovino de esta zona del Ecuador. Según González et al. (2015), este sistema de producción podría traer algunos beneficios económicos y ambientales para las fincas productoras de ganado de leche y carne.

Entre los cereales que se cultivan bajo la técnica de FVH está la avena y el trigo, debido a que poseen un buen perfil nutricional; asimismo, sus semillas están compuestas por una cascarilla integrada por fibras de celulosa que contienen vitaminas del grupo B, vitamina E y ácido fólico, germen que posee grasas insaturadas y su almendra interna se compone de almidón. Según la FAO (2001), las propiedades más importantes de estos cereales producidos bajo FVH son las siguientes: la materia seca puede llegar hasta

un 32,0 % y la proteína bruta hasta un 9,0 % que, suministrada como alimento complementario a animales rumiantes, apoyaría los procesos de mejora nutricional del animal y productivo de la finca.

Por lo anterior, y en relación con la necesidad de mejorar la cantidad y calidad de alimento para bovinos, se ha propuesto el desarrollo de este trabajo de investigación, que pretende comparar la producción y contenidos de proteína cruda (PC) de forrajes cultivados tanto en el sistema a CA como en el de FVH.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se realizó en la Estación Agropecuaria-Universidad Técnica Particular de Loja (EA-UTPL), ubicada en el sector de Cajanuma, al sur del cantón Loja, a 9 km desde la ciudad de Loja, por la vía a Vilcabamba. La EA-UTPL forma parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Podocarpus. Se ubica en las coordenadas X: -4,0886 y Y: -79,2066 (Google Maps, 2018) a una altura de 2.300 m s.n.m. Además, presenta medias anuales de temperatura y precipitación de 15,4 °C y 780 mm, respectivamente, según datos de la Estación Meteorológica "La Argelia" (TúTiempo.net, 2017).

Diseño experimental

Se usó un diseño de bloques al azar para evaluar los tratamientos en los dos sistemas de producción: FVH y CA, en cada uno de los cuales se cultivó trigo (*Triticum vulgare* L.) y avena (*Avena sativa* L.). Se realizaron tres parcelas o repeticiones por tratamiento. Los tratamientos se identificaron con la siguiente convención:

- Trigo FVH = trigo en sistema de forraje verde hidropónico.
- Avena FVH = avena en sistema de forraje verde hidropónico.
- Trigo CA = trigo en sistema de campo abierto.
- Avena CA = avena en sistema de campo abierto.

En el sistema de producción CA las parcelas de estudio tuvieron dimensiones de 2,5 x 1,0 m. La siembra se realizó a chorro continuo, con una separación entre surcos de 20 cm (Martínez-Frías, 2012). Al inicio de la siembra se fertilizaron todas las parcelas con fertiforraje, que es un fertilizante comúnmente utilizado en la producción de este tipo de sistemas; la segunda fertilización se realizó a los 45 días después de la siembra (dds) (Garófalo et al., 2011; Villaseñor-Mir et al., 2003), cosechando en la etapa de llenado de grano que se caracteriza por presentar las primeras espigas y es cuando el cultivo presenta la mayor calidad (Ramírez-Ordóñez et al., 2013).

En el sistema FVH la siembra se realizó en bandejas plásticas de 0,40 x 0,60 m. La dosis de semilla húmeda utilizada en avena fue de 6,4 kg/m^2 (Fuentes et al., 2011) y en trigo, de 4,8 kg/m^2 (Cerrillo-Soto et al., 2012). Previo a la siembra, se desinfectaron las semillas y las bandejas con una solución de hipoclorito de sodio al 1 % (10 mL/L de agua) durante 30 s (FAO, 2001). Se enjaguaron las semillas con agua limpia y se dejó en remojo por 24 h para su hidratación y posterior siembra en bandejas, manteniéndolas en la oscuridad hasta su germinación. Desde los 5 a los 12 d se aplicaron soluciones de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo), con concentraciones de 1,25 y 0,5 mL/L,

respectivamente (Maldonado-Torres et al., 2013; Núñez-Torres et al., 2017), realizándose ocho riegos al día (FAO, 2001), para cosechar a los 15 dds (Fuentes et al., 2011).

Variables evaluadas

Altura de plantas (AP)

En el sistema a CA se midió la altura de las plantas cada 15 d hasta su cosecha o corte, analizando el último dato (al momento de la cosecha). En el sistema FVH la altura se registró a diario a partir de su germinación; asimismo, el dato analizado fue el dato final (aproximadamente a los 16 d) (Campo-Rodríguez & Villar-Delgado, 2012; Salas-Pérez et al., 2010). Para tomar estos datos se usó una regla milimetrada desde la base de la planta hasta el inicio de la espiga en CA y en FVH hasta el ápice de las plantas, mirando horizontalmente a través del forraje (Fernández, 2004).

Producción de biomasa

Se registró el peso fresco o materia verde (MV) de los dos cultivos y sistemas productivos al momento de la cosecha, y se calculó el equivalente de la producción de forraje de trigo y de avena por cada metro cuadrado de superficie (Cerrillo-Soto et al., 2012) y se extrapoló para un año; después se determinó el porcentaje de materia seca (MS) (Harris, 1970). La misma metodología se usó tanto para el sistema de FVH como a CA.

$$\%\, MS = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso inicial}}\ (100) \qquad \text{[Ecuación 1]}$$

Determinación del porcentaje de proteína cruda (PC)

Se tomaron tres muestras representativas de forraje de los cultivos de los dos sistemas, usando un cuadrante de 20 x 20 cm, evitando los bordes; posteriormente, se pesó la muestra y se secó en una estufa a 70 °C por 24 h para después ser molida. Se determinó el porcentaje de proteína cruda por el método de micro Kjeldahl validado por Harris (1970), obteniendo el porcentaje del nitrógeno total y multiplicando por el factor de conversión a proteína de 6,25 (avena) y 5,7 (trigo) (Mariotti et al., 2008).

Análisis beneficio/costo (B/C)

Se analizaron los indicadores de tipo financiero por m^2 y por año, considerando las inversiones iniciales de instalación de los sistemas y los gastos totales en materiales e insumos de todas las producciones (24 de FVH y 6 a CA), como arriendo de terreno, mano de obra, semillas, soluciones nutritivas, bandejas, sistema de riego, entre otras; se realizó la depreciación de los componentes del sistema de riego (bombas, mangueras, etc.) y estructuras metálicas. El beneficio se calculó de acuerdo con la proyección de ingresos proporcionales al rendimiento (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 1988); para el área de un metro por año de producción de cada sistema, se tomó el dato de valor de venta del forraje en el mercado local en el 2018 (1,09 por kg de forraje). Además, se utilizó la siguiente fórmula:

$$B/C = \frac{Ingresos}{Egresos}$$ [Ecuación 2]

Para que el análisis sea favorable, se requiere que el cociente B/C sea mayor a 1 (Infante-Villarreal, 1984). Datos iguales a 1 indican un equilibrio, mientras que los menores a 1, pérdida.

Análisis estadístico

Las variables de AP, producción de biomasa por metro cuadrado por año, contenido de PC entre los cultivos y sistemas de producción se sometieron a ANOVA de una vía con la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$), usando el *software* estadístico SPSS 24.0.

Resultados y discusión

Altura de planta

En el sistema de FVH, la AP media registrada al final del ciclo (14 a 16 d) fue mayor ($p < 0,05$) en 2,08 cm para el trigo al compararse con la avena (figura 1).

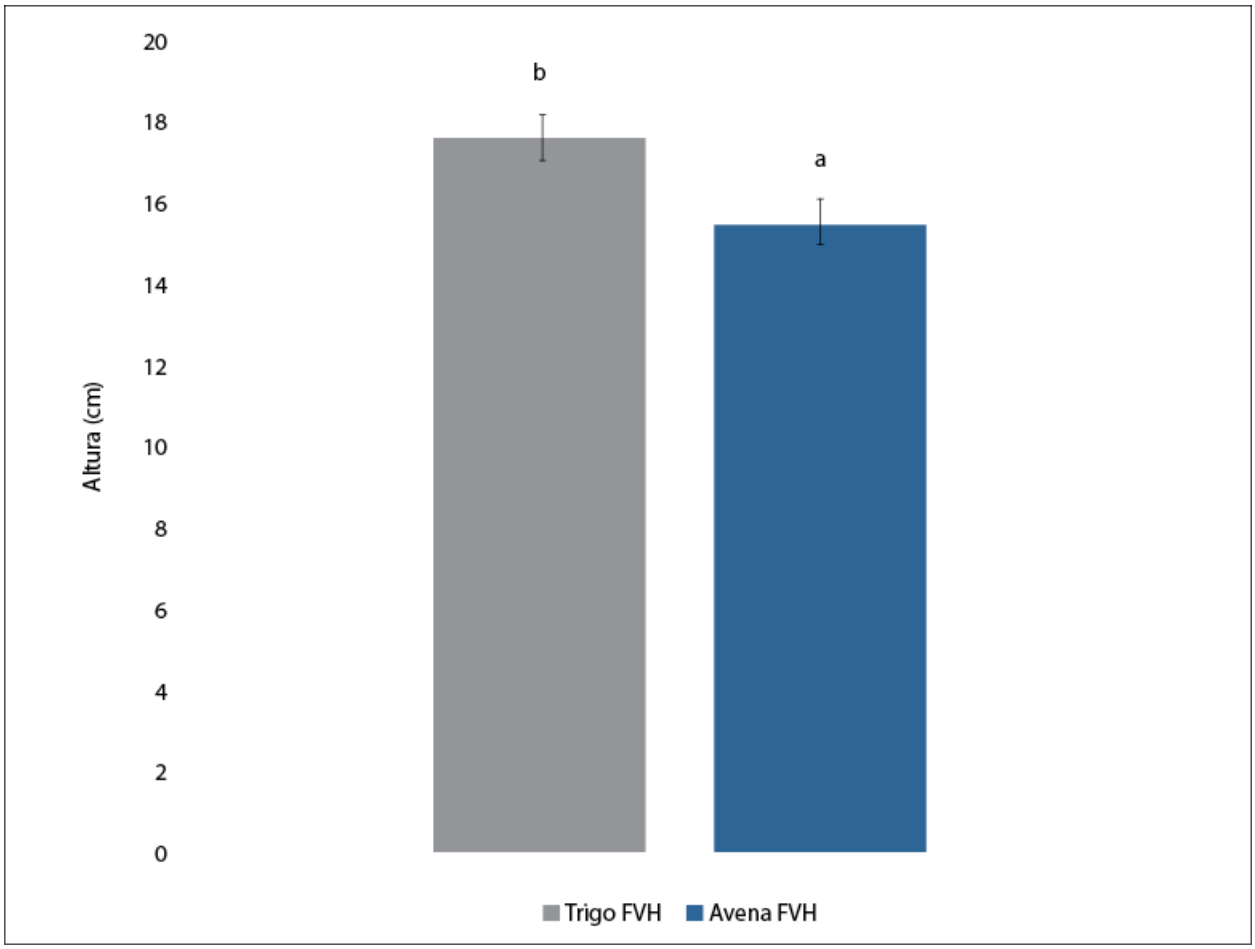

Figura 1. Altura de las plantas de trigo y avena en el sistema de FVH.
Las columnas de la figura representan la media de tres repeticiones de la altura en centímetros. Las barras representan el error estándar de las medias. Letras minúsculas distintas significan diferencias significativas entre los tratamientos. Trigo FVH = trigo en sistema de forraje verde hidropónico; Avena FVH = avena en sistema de forraje verde hidropónico.
Fuente: Elaboración propia

En el sistema de FVH la AP de trigo fue 17,67 cm, similar a los 18,94 cm obtenidos por Sánchez del Castillo et al. (2013) para el mismo cultivo. Por el contrario, Maldonado-Torres et al. (2013) reportaron 14,85 cm para trigo en México, diferencia de altura que se debe a la mayor densidad de siembra de la presente experiencia, que ocasionó competencia de luz y consecuentemente etiolación. La AP de la avena (15,59 cm) fue menor a los 19,5 cm reportados por Fuentes et al. (2011) para el mismo cultivo en condiciones similares. Abarca-Reyes et al. (2016) afirmaron que el FVH de avena se cosecha desde los 14 d y con altura de 20 a 25 cm, datos similares en días de cosecha a este trabajo (14 a 16 d), pero diferentes en altura; los menores valores pueden estar relacionados a las diferencias en el porcentaje de sombra de cada lugar y sistema. En este aspecto, las mayores alturas podrían estar en relación directa con la producción, pero no necesariamente con la calidad nutricional del forraje. Por

ejemplo, Salas-Pérez et al. (2010) observaron que el mayor contenido de proteína se presenta en las etapas iniciales; después, existe una disminución de proteína en el FVH debido a la maduración de la planta.

En el sistema CA, la AP media registrada al final del ciclo (45 d) fue mayor ($p < 0,05$) en 2,08 cm para el cultivo de avena, al compararse con el trigo (figura 2).

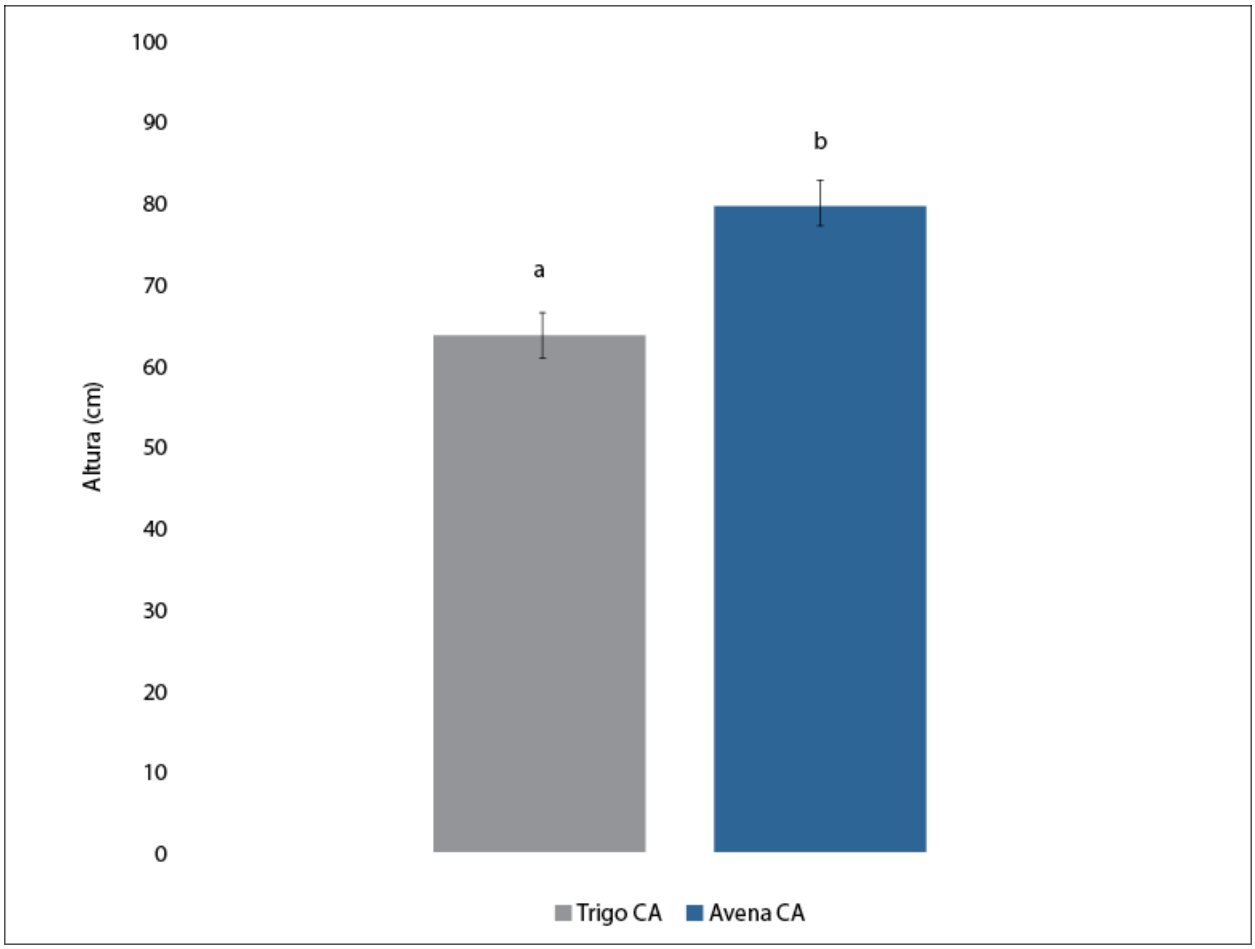

Figura 2. Altura de la planta de trigo y avena en el sistema de CA.
Las columnas de la figura representan la media de tres repeticiones de la altura en centímetros. Las barras representan el error estándar de las medias. Letras minúsculas distintas significan diferencias significativas entre los tratamientos. Trigo CA = trigo en sistema de campo abierto, avena CA = avena en sistema de campo abierto.
Fuente: Elaboración propia

La AP de la avena CA fue de 82,72 cm, menor en comparación con los 139,30 cm alcanzados por Quispe y Sandy (2013), quienes cosecharon en estado lechoso, a diferencia del estado fisiológico más joven (llenado de grano) con que fue colectado en esta experiencia. Otra explicación para la diferencia de altura entre los dos cultivos es el lugar en donde se realizó el experimento (Bolivia), que presenta menor temperatura y precipitación, mejores condiciones para el desarrollo de este cultivo.

La altura de trigo CA fue de 66,5 cm, mayor a la señalada por Ramírez-Pérez (2018), quien reporta 55 cm, diferencia que podría deberse a las condiciones de menor altitud sobre el nivel del mar (México, Coahuila)

y precipitación, además de mayor temperatura comparadas con el área de estudio del presente trabajo. Zamora-Villa et al. (2016) presentan una media general de 102 cm en trigo, mayor que en este estudio; ellos cosecharon en estado de madurez acuosa, a diferencia del estado fisiológico más joven (llenado de grano) en el que se ha recolectado en este trabajo.

Producción de biomasa

La producción de biomasa por metro cuadrado de trigo FVH fue mayor ($p < 0,05$) frente a avena FVH y a los dos tratamientos a CA. La avena FVH no presenta una diferencia estadística significativa frente a la avena CA; finalmente, el tratamiento de trigo CA tiene la menor producción (figura 3). Campo-Rodríguez y Villar-Delgado (2012) afirmaron que los FVH son efectivos en evitar trastornos digestivos, brindan mayor cantidad de minerales, proteínas y vitaminas que contribuyen a mejorar la fertilidad de los animales, lo cual estaría considerado como una ventaja de estos sistemas de producción.

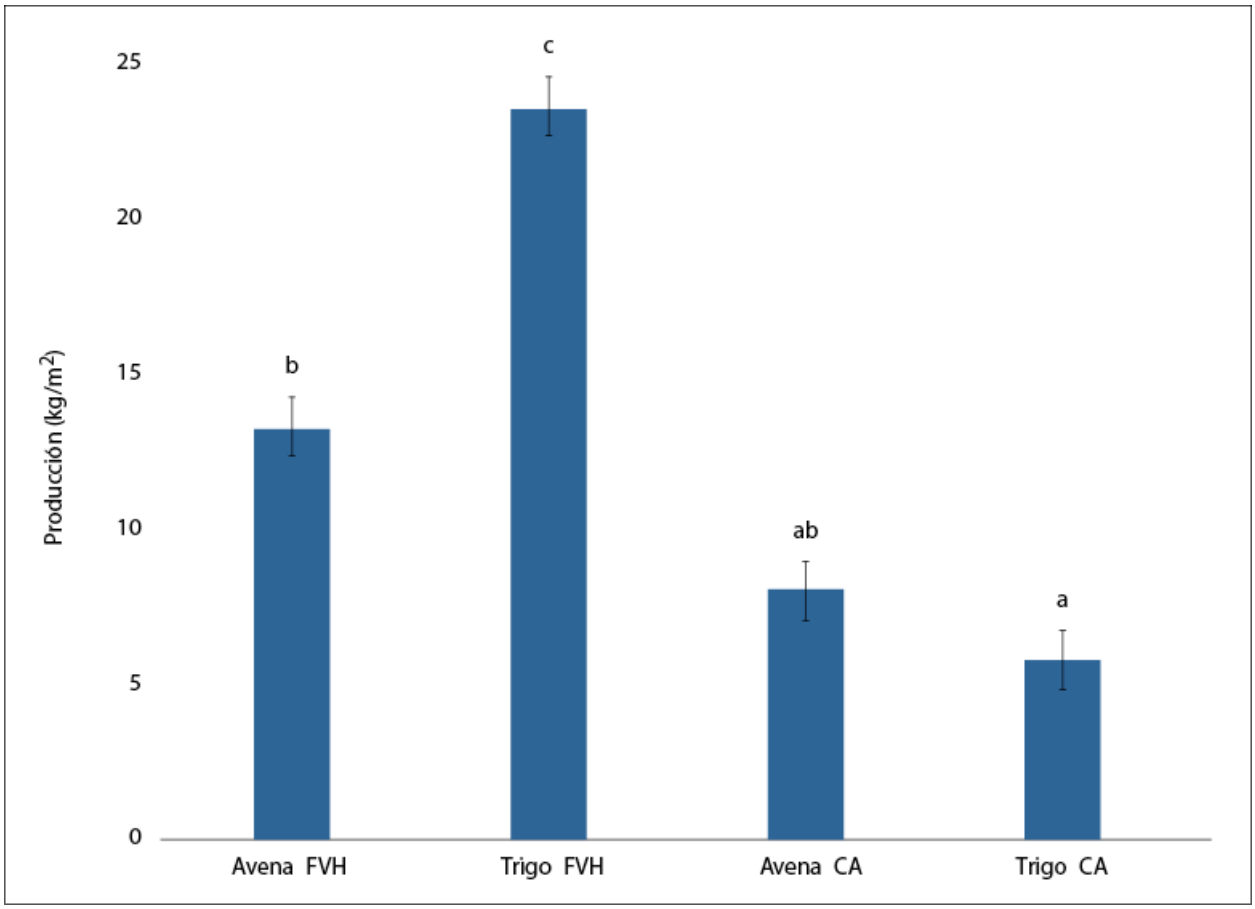

Figura 3. Producción de biomasa en los tratamientos evaluados.
Las columnas representan la media de 3 repeticiones de la producción en kg/m^2. Las barras representan el error estándar de las medias. Letras minúsculas distintas significan diferencias significativas entre los tratamientos. Trigo FVH = trigo en sistema de forraje verde hidropónico; Avena-FVH = avena en sistema de forraje verde hidropónico; Trigo CA = trigo en sistema de campo abierto; Avena-CA = avena en sistema de campo abierto. Fuente: Elaboración propia

La producción de trigo FVH (23,57 kg/m^2 de MV y 3,10 kg/m^2 de MS) es semejante a los datos presentados por Cerrillo-Soto et al. (2012), con rendimientos de MV de 25 kg/m^2, considerado por ellos como adecuado. Al realizar otra comparación con los resultados de Maldonado-Torres et al. (2013) que obtuvieron 19,95 kg/m^2, los de este trabajo son más altos, lo que podría estar relacionado con la mayor concentración de nitrógeno de la solución nutritiva aplicada y con una menor densidad de siembra del cultivo con la que produjo dicho autor.

Cerrillo-Soto et al. (2012) consiguieron para avena FVH valores de 13 kg/m^2 (MV) (1,39 kg/m^2 de MS), similares a esta investigación con 13,23 kg/m^2 (MV) (1,39 kg/m^2 de MS), atribuyendo las menores producciones de avena a los porcentajes bajos de germinación de la semilla, indicando que lo mismo ha ocurrido en el presente trabajo.

Al comparar los resultados del trigo CA se obtiene 5,77 kg/m^2 de MV y 1,42 kg/m^2 de MS, valores cercanos a los reportados por Zamora-Villa et al. (2016) que obtienen 1,2 kg/m^2 de MS, aunque su etapa de cosecha fue diferente (madurez acuosa), valores que son mayores a los de Ramírez-Pérez (2018) que obtiene 0,50 kg/m^2 de MS. En los resultados de la avena CA se obtuvo 8 kg/m^2 de MV y 1,52 kg/m^2 de MS, superiores a los reportados por Mamani (2016) quien obtuvo 2,3 kg/m^2 de MV y 0,64 kg/m^2 MS. Estas diferencias pueden relacionarse con que los autores utilizan mayores distancias de siembra y existen menores promedios de precipitación y de fertilidad en sus suelos, factor relevante considerando que estos parámetros están íntimamente ligados al rendimiento productivo de los cultivos (Espitia et al., 2012). Ramírez-Ordóñez et al. (2013) lograron 1,25 kg/m^2 de MS en la etapa de llenado de grano, pese a que reportó menores precipitaciones, temperatura y altitud del lugar de investigación (México, Estado de Chihuahua).

Contenido de proteína cruda

El trigo CA presenta el mayor contenido de PC ($p < 0,05$) frente a los otros tratamientos. Los menores valores, sin diferencia entre ellos, se presentaron para trigo y avena FVH. La avena CA presentó un valor intermedio. No obstante, en todos los casos se obtuvo valores superiores al 10 %, muestra de que son adecuados para establecerse como sistemas de producción para alimentación de bovinos (Salas-Pérez et al., 2010).

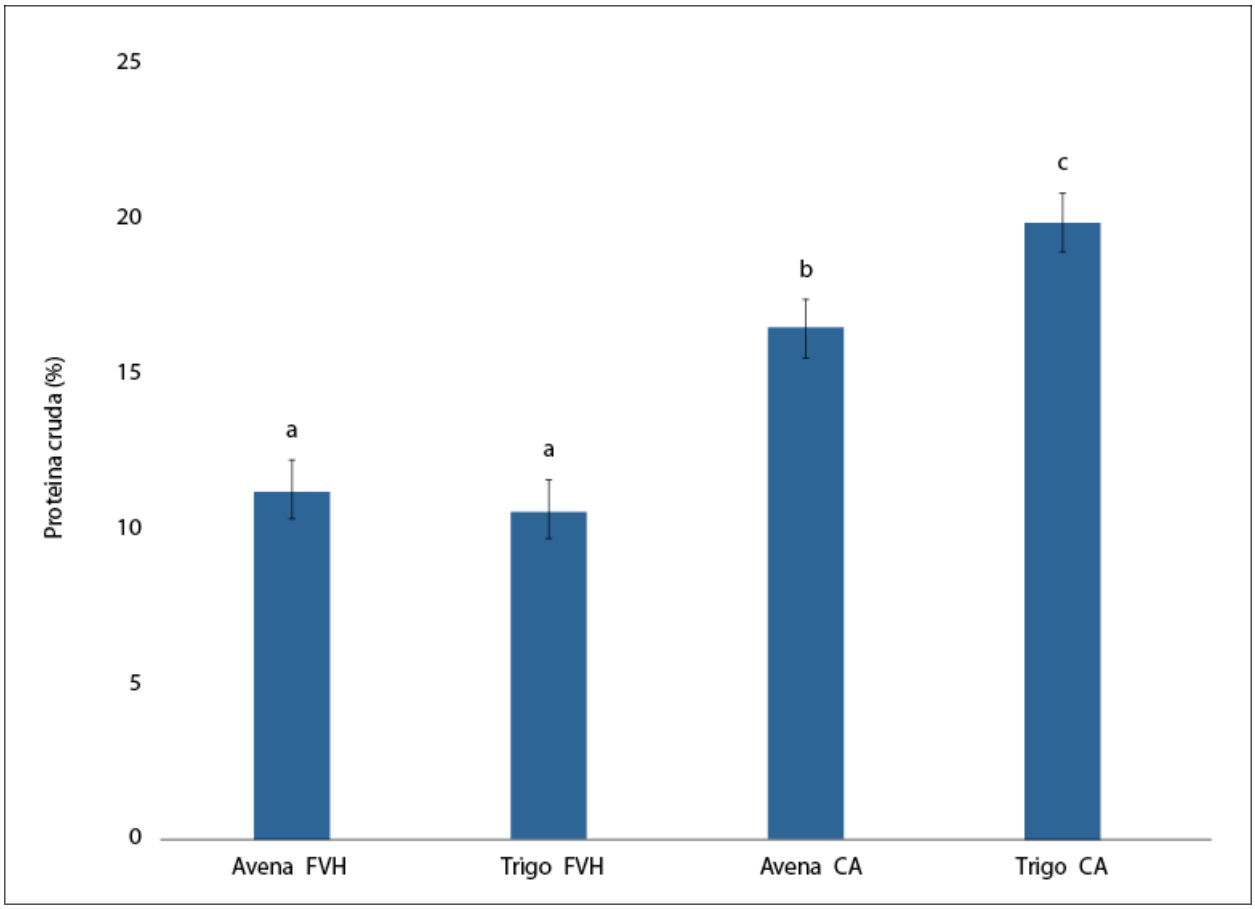

Figura 4. Contenido de proteína cruda (%) en los tratamientos evaluados.
Las columnas de la figura representan la media de tres repeticiones del porcentaje de proteína obtenido por cada tratamiento. Las barras representan el error estándar de las medias, las letras minúsculas distintas representan diferencias significativas entre tratamientos. Trigo FVH = trigo en sistema de forraje verde hidropónico; Avena FVH = avena en sistema de forraje verde hidropónico; Trigo CA = trigo en sistema de campo abierto; Avena CA = avena en sistema de campo abierto.
Fuente: Elaboración propia

Al contrastar estos datos con otros autores en trabajos de similares condiciones, se observa que el trigo CA presenta un contenido de PC de 19,90 %, resultado más elevado comparado con los de Zamora-Villa et al. (2016) que obtuvieron 17,2 %; estos autores indican que puede estar relacionado con la variedad de semilla, la etapa de cosecha (madurez acuosa) y las condiciones del lugar (México).

Los resultados de PC en avena CA son de 16,5 %, similares a los reportados por Ramírez-Ordóñez et al. (2013), que obtienen 16,6 %, ambos valores obtenidos en la etapa de llenado de grano. Espitia et al. (2012) informaron valores mayores de PC con medias de 18,8 % al cosechar en la misma etapa, diferencia que puede estar relacionada con la variedad de avena usada, como el autor lo afirma; el rendimiento y calidad de avena forrajera en CA se encuentran altamente influenciados por la interacción genotipo-ambiente, no solamente en el espacio, sino también por el tiempo.

La avena FVH presenta 11,26 %, valor menor al de Fuentes et al. (2011) que alcanzó 14,31 % a los 16 d en condiciones similares. En otro estudio realizado por Cerrillo-Soto et al. (2012), se aprecia que con el mismo sistema consiguieron valores de 13,4 % en avena, en igual tiempo de cosecha a esta investigación, pero en trigo FVH obtienen 16,7 %. Maldonado-Torres et al. (2013) reportaron valores de 19,0 %, haciendo conocer que la concentración de proteína obtenida a los 15 d de crecimiento tiende a aumentar a medida que se incrementa la concentración de nitrógeno de la solución nutritiva.

Valiente et al. (2016) reportaron resultados superiores a 21 % de PC, datos mayores comparados con 10,61 % de este estudio, debido a que la concentración de nitrógeno en la solución nutritiva que ellos aplican fue mayor, y con menor tiempo de corte; autores como Herrera-Torres et al. (2010), Cerrillo-Soto et al. (2012), Albert et al. (2016) propusieron cosechar entre los 10 y 12 d, que es cuando se presentan valores superiores de proteína. Valiente et al. (2016) informaron que valores menores se presentan debido a la maduración y al desarrollo de los órganos estructurales de las plantas. De la experiencia de este trabajo se coincide con los autores antes mencionados, relacionada con la necesidad de recalcular la dosificación de nutrientes, especialmente en la concentración de N de la solución nutritiva, ya que se debe aumentar conforme avanza el tiempo de crecimiento del cultivo de FVH (Maldonado-Torres et al., 2013). No obstante, Van Soest (1994) informó que los FVH deberían contener como mínimo un 7 % de PC, lo que garantizará que se puedan dar como mínimo los procesos de fermentación de los carbohidratos estructurales a nivel del rumen.

Análisis del beneficio/costo

Los datos evidencian que el tratamiento que tiene mayor relación B/C es el trigo FVH, con 1,46, lo que significa que por cada dólar invertido se obtendrá US $ 0,46 de beneficio, mientras que en la avena CA se obtiene un equilibrio sin ganancias ni pérdidas. Los tratamientos de trigo CA y avena FVH presentaron resultados menores a 1 (tabla 1).

Tabla 1. Resumen del análisis económico de cada tratamiento incluida la implementación del sistema en cada tratamiento

Costos de producción en US $/m^2 en 1 año de producción			
Tratamiento	**Ingresos**	**Egresos**	**B/C***
Trigo FVH	616,57	421,92	1,46
Avena FVH	347,41	518,89	0,67
Trigo CA	8,66	33,24	0,26
Avena CA	33,60	33,66	1,00

* Relación beneficio/costo

Fuente: Elaboración propia

El costo de cada sistema se determinó por metro cuadrado y para un año de producción; en los sistemas hidropónicos, para la primera producción se invirtió un total de US $ 146,40 por metro cuadrado y US $ 150,43 por metro cuadrado para trigo y avena, respectivamente. Estos valores incluyeron equipos como bomba, temporizador, recipientes, semillas, bandejas, sistema de riego, solución nutritiva y, desde la

segunda siembra y hasta la 24, se usa un total de US $ 11,98 y US $ 16,02 por metro cuadrado para trigo y avena, respectivamente, lo cual solo incluye costos de semilla, soluciones nutritivas, implementos para desinfección, entre otros.

En el sistema a CA el valor de costos por cada producción (seis anuales) es de US $ 5,54 por metro cuadrado para trigo y US $ 5,60 por metro cuadrado para avena, en cuyos valores están incluidos rubros como el de la semilla, el fertilizante, el alquiler de tractor, la mano de obra, entre otros usados en sistema de manejo tradicional. Una diferencia fuerte en costos entre los dos cultivos fue el precio de la semilla, que es de US $ 0,80 por kilogramo de trigo y US $ 1,20 por kilogramo de avena.

Los ingresos están en función de la producción obtenida por metro cuadrado y proyectados a un año en cada sistema: el trigo FVH (23,57 kg/m^2) y la avena FVH (13,23 kg/m^2) con 24 producciones anuales; el trigo CA (5,77 kg/m^2) y la avena CA (8 kg/m^2) con 6 producciones anuales y valores sugeridos sobre precios de forrajes de US $ 0,25 por kilogramo para trigo, US $ 0,70 por kilogramo para avena y US $ 1,09 por kilogramo de FVH. El costo de la producción de FVH sin duda alguna es mayor que el de CA; no obstante, se puede abaratar costos con el uso de materiales reciclados como bandejas, módulos y cisterna, además de indicar que la inversión inicial es la más costosa, ya que posteriormente se utilizan los mismos materiales como bomba, tanque, sistema de riego, pudiendo ser económicamente viable en periodos largos (por ejemplo, en el trigo FVH, en la presente investigación). Asimismo, hay que considerar otros beneficios como el aspecto ambiental (Abarca-Reyes et al., 2016), ya que un sistema de FVH puede apoyar en los procesos de reciclaje de agua al realizar recirculación de este recurso en el sistema, espacio, inocuidad del alimento y tiempo (FAO, 2001), y es aplicable a las condiciones locales, lo que justifica su implementación.

Conclusiones

Los FVH se muestran como una opción complementaria de la dieta de rumiantes a base de forrajes, debido a la producción, composición química y aspectos financieros del cultivo, que además son aplicables a zonas donde existen áreas limitadas en espacio, suelos poco fértiles y no aptos para cultivos.

Agradecimientos

Se hace constar el agradecimiento a la Estación Agropecuaria-Universidad Técnica Particular de Loja, por habernos brindado el área para la implementación de los sistemas de producción, y al Ing. Holger Jaramillo, por la colaboración en los análisis de proteína de los forrajes.

Descargos de responsabilidad

Los autores declaran que no existen conflictos de interés y están de acuerdo con la publicación del artículo.

Referencias

Abarca-Reyes, P., Silva-Rubio, L., Aguirre-Aguilera, C., Mora-López, D., & Carrasco-Jiménez, J. (2016). Producción de forraje verde hidropónico para la pequeña agricultura. *INIA RAYENTUÉ (Instituto de Investigaciones Agropecuarias), 56*(321), 159-184. http://www2.inia.cl/medios/informativos/rayentue/Info-56-Forraje-Verde-Hidroponico-para-la-peque %F1a-agricultura.pdf

Albert, G., Alonso, N., Cabrera, A., Rojas, L., & Rosthoj, S. (2016). Evaluación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, avena y trigo. *Compendio de Ciencias Veterinarias, 6*(1), 7-10. http://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.7-10

Campo-Rodríguez, F., & Villar-Delgado, J. (2012). Forraje verde hidropónico alternativa orgánica para la alimentación animal. *Agricultura Orgánica, 18*(3), 32-34. http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_ao_95-2010/Rev2012-3/09forrajeverdeAU.pdf

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1988*). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica*. CIMMYT.

Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Rivera-Ahumada, J. A., Guerrero-Cervantes, M., Ramírez-Lozano, R. G., & Bernal-Barragán, H. (2012). Producción de biomasa y valor nutritivo del forraje verde hidropónico de trigo y avena. *Interciencia, 37*(12), 906-913. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/906-c-BERNAL-8.pdf

De Noni, G., & Trujillo, G. (1986). *Degradación del Suelo en el Ecuador; Principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso*. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf

Espitia, R. E., Villaseñor-Mir, H. E., Tovar-Gómez, R., Olán, M. D., & Limón-Ortega, A. (2012). Momento óptimo de corte para rendimiento y calidad de variedades de avena forrajera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3*(4), 771-783. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000400012&lng=es&tlng=es

Fernández, H. H. (2004). Estimación de la disponibilidad de pasto. *Agromercado, 98*, 9-12. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo %20sistemas/130-estimacion_9.pdf

Food and Agriculture Organization (FAO). (2001). *Manual Técnico: Forraje Verde Hidropónico.* Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. http://www.fao.org/3/ah472s/ah472s00.htm

Fuentes, F., Poblete, C., Huerta, M., & Palape, I. (2011). Evaluación de la producción y calidad nutritiva de avena como forraje verde hidropónico en condiciones de desierto. *Idesia, 29*(3), 75-81. http://doi.org/10.4067/S0718-34292011000300011

Garófalo, J., Molina, L. P., & Abad, S. (2011). *Guía del Cultivo Trigo.* (Boletín divulgativo N.º 411). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/381/4/iniapscbd411.pdf

Google Maps. (2018). *Coordenadas*. https://www.google.com.ec/maps/place/Loja/@-4.0886055,-79.2079632,206m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x91cb480661b91d2d:0x8e12137cdc1eee09!8m2!3d-4.0078909!4d-79.2112769

González, E., Ceballos, J., & Benavides, O. (2015). Producción de forraje verde hidropónico de maíz *Zea mays* L en invernadero con diferentes niveles de silicio. *Revista de Ciencias Agrícolas, 32*(321), 75-83. http://doi.org/10.22267/rcia.153201.26

Harris, L. (1970). *Métodos para el análisis químico y la evaluación biológica de alimentos para animales.* Center of Tropical Agriculture.

Herrera-Torres, E., Cerrillo-Soto, M. A., Juárez-Reyes, A. S., Murillo-Ortiz, M., Rios-Rincón, F. 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. https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/01/284-c-HERRERA-6.pdf

Huiza, M. M. (2015). *Evaluación de la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum vulgare) y avena (Avena sativa) bajo tres niveles de abonamiento con té de humus de lombriz* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio UMSA. https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/5843

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2016*. http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2016/Informe %20ejecutivo %20ESPAC_2016.pdf

Infante-Villarreal, A. (1984). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. El Ateneo.

Maldonado-Torres, R., Álvarez-Sánchez, M. E., Cristóbal-Acevedo, D., & Ríos-Sánchez, E. (2013). Nutrición mineral de forraje verde hidropónico. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 19*(2), 211-223. http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2011.10.053

Mamani, P. J. (2016). *Avena Forrajera: Rendimiento, Valor Nutricional, Ventaja comparativa y competitiva en la Región Puno* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú]. Repositorio UNAP. http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3733

Mariotti, F., Tomé, D., & Mirand, P. P. (2008). Converting nitrogen into protein—beyond 6.25 and Jones' factors. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 48*(2), 177-184. http://doi.iorg/10.1080/10408390701279749

Martínez-Frías, J. C. (2012). Propagación y técnicas de cultivo de la Avena forrajera verde (*Avena sativa*). *Revista Vinculando*. http://vinculando.org/mercado/agroindustria/propagacion-y-tecnicas-de-cultivo-de-la-avena-forrajera-avena-sativa.html

Nava-Noriega, J. R., Nava-Zavaleta, J., & Córdova-Izquierdo, A. (2005). Alimento balanceado-forraje verde hidropónico en la alimentación de conejos criollos (*Oryctolagus cuniculus). Revista Electrónica de Veterinaria, 6*(7), 1-5. https://www.researchgate.net/publication/26446921_Alimento_balanceado-forraje_verde_idroponico_en_la_alimentacion_de_conejos_criollos_oryctolagus_cuniculus_Food_green_balance-forage_hydroponic_in_the_feeding_of_creole_rabbits_oryctolagus_cuniculus

Núñez-Torres, O. P., Lozada-Salcedo, E. E., Rosero-Peñaherrera, M. A., Cruz-Tobar, E. S., & Aragadvay-Yungan, R. G. (2017). Evaluación de avena hidropónica en la alimentación de conejos en la etapa de engorde. *Journal of the Selva Andina Animal Science, 4*(1), 59-71. http://www.scielo.org.bo/pdf/jsaas/v4n1/v4n1_a05.pdf

Quispe, J. L., & Sandy, W. (2013). Evaluación de cultivares de cebada (*Hordeum vulgare*) y avena (*Avena sativa*) para la producción de forraje en la Estación Experimental Toralapa, Cochabamba - Bolivia. *Revista Científica de Investigación, 1*(1), 83-85. http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-250X2013000100011&lng=es&nrm=iso

Ramírez-Ordóñez, S., Domínguez-Díaz, D., Salmerón-Zamora, J., Villalobos-Villalobos, G., & Ortega-Gutiérrez, J. A. (2013). Producción y calidad del Forraje de variedades de Avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez al corte. *Revista Fitotecnia Mexicana, 36*(4), 395-403. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000400005&lng=es&tlng=es

Ramírez-Pérez, L. O. (2018). *Producción de materia seca y correlaciones entre componentes forrajeros, temperatura de planta y NDVI en cebada* [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México]. Repositorio UAAAN. http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42902/K65154RamírezPérezLuzOralia.pdf?sequence=1

Ramírez-Víquez, C., & Soto-Bravo, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. *Agronomía Costarricense, 41*(2), 79-91. http://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301

Salas-Pérez, L., Preciado-Rangel, P., Esparza-Rivera, J. R., Álvarez-Reyna, V. D., Palomo-Gil, A., Rodríguez-Dimas, N., & Márquez-Hernández, C. (2010). Rendimiento y calidad de forraje hidropónico producido bajo fertilización orgánica. *Terra Latinoamericana, 28*(4), 355-360. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792010000400007&lng=es&tlng=es

Sánchez del Castillo, F., Moreno-Pérez, E. D., Contreras-Magaña, E., & Morales-Gómez, J. (2013). Producción de forraje hidropónico de trigo y cebada y su efecto en la ganancia de peso en borregos. *Revista Chapingo Serie Horticultura, 19*(4), 35-43. http://doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.02.020

Suquilanda, M. (2008). *El deterioro de los suelos en Ecuador y la producción agrícola* [Ponencia]. IX Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador. https://www.researchgate.net/publication/228400517_EL_DETERIORO_DE_LOS_SUELOS_EN_EL_ECUADOR_Y_LA_PRODUCCION_AGRICOLA

TuTiempo.net. (2017). *Estación meteorológica «La Argelia»*. https://www.tutiempo.net/clima/12-2017/ws-842700.html

Valiente, O., Álvarez, R., Alonso, N., & Corrales, M. (2016). Evaluación del rendimiento, composición bromatológica y digestibilidad in vitro del forraje verde hidropónico de trigo (*Triticum* spp.) *Compendio de Ciencias Veterinarias, 6*(2), 42-46. http://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.02.42-46

Van Soest, P. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant* (2 ed.). Cornell University Press.

Vargas-Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agronomía Mesoamericana, 19*(2), 233-240. http://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005

Villaseñor-Mir, H. E., Espitia-Rangel, E., & Huerta-Espino, J. (2003). El Campo Experimental Valle de México, estratégico en la producción nacional de avena: Historia y Aportaciones. En *60 años de investigación en el Campo Experimental Valle de México* (pp. 17-30). Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Zagal-Tranquilino, M., Martínez-González, S., Salgado-Moreno, S., Escalera-Valente, F., Peña-Parra, B., & Carrillo-Díaz, F. (2016). Producción de forraje verde hidropónico de maíz con riego de agua cada 24 horas. *Abanico Veterinario, 6*(1), 29-34. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-61322016000100029&lang=pt#B7

Zamora-Villa, V. M., Colín Rico, M., Torres Tapia, M. A., Rodríguez García, A., & Jaramillo Sánchez, A. (2016). Producción y valor nutritivo en fracciones de forraje de trigos imberbes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 7*(2), 291-300. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263145278006