

Implementación de un sistema hidropónico para la producción de *Oryza sativa* como forraje con potencial en alimentación animal

Implementation of a hydroponic system to produce *Oryza sativa* as fodder with potential in animal feed

 Alix Amanda Eslava Pedraza ¹;
 Rubén Darío Carreño Correa ²;
  Seir Antonio Salazar Mercado ³

¹ Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia,
alixamandaep@ufps.edu.co

² Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia,
rubendariocc@ufps.edu.co

³ Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta-Colombia,
seirantoniosm@ufps.edu.co

ISSN-p: 0123-7799
ISSN-e: 2256-5337

Vol. 25, nro. 55, e2415, 2022

Recibido: 19 mayo 2022
Aceptado: 20 octubre 2022
Disponible: 9 noviembre 2022

©Instituto Tecnológico Metropolitano
Este trabajo está licenciado bajo
una Licencia Internacional
Creative Commons Atribución
(CC BY-NC-SA)



Cómo citar / How to cite

A. A. Eslava Pedraza, R. D. Carreño Correa, S. A. Salazar Mercado,
“Implementación de un sistema hidropónico para la producción de
Oryza sativa como forraje con potencial en alimentación animal,”
Tecnológicas, vol. 25, nro. 55, e2415, 2022.
<https://doi.org/10.22430/22565337.2415>

Resumen

Una de las alternativas para la optimización de los sistemas pecuarios, es la implementación de tecnologías como la producción de ensilajes, henos y forraje verde hidropónico (FVH). Este estudio buscó implementar un sistema hidropónico para la producción de FVH de arroz (*O. Sativa*), gramínea poco convencional para alimentación animal, esto en condiciones de baja temperatura y alta humedad, variando entre 17 °C y 24 °C y 60 % y 80 %, respectivamente. La evaluación agronómica tuvo una duración de 38 días para la cosecha principal (CP) y 21 días para la soca (CS). Las semillas utilizadas fueron regadas manualmente, aplicándoseles fertilizantes desde el día 21 postsiembra; además, fueron seleccionadas, desinfectadas y sometidas a pregerminación. Se realizó un análisis descriptivo cuantitativo, se utilizaron modelos de regresión lineal. Las variables evaluadas en CP y CS fueron: altura total (cm), altura del tallo (cm), longitud de la hoja principal (cm), relación hoja/tallo y cantidad de hojas/plántula. Se observó un constante crecimiento de las plántulas hasta el día 26 postsiembra; luego, se halló que el crecimiento en altura fue mínimo. Respecto a la CS, se encontró rebrote en algunas áreas dispersas del tapete radicular, alcanzando una altura menor a la registrada en la CP, donde se evidenció muerte prematura de las plántulas. Se pudo concluir, finalmente, que en las condiciones ambientales del experimento el rendimiento en biomasa y altura es bajo; sin embargo, la composición nutricional de *O. sativa* indica que la implementación de la hidroponía permite proponer la producción de FVH de esta gramínea como una alternativa promisoría en alimentación animal.

Palabras clave

Composición nutricional, desarrollo de semillas, *Oryza sativa*, tecnología agronómica, sistema hidropónico.

Abstract

One of the alternatives for the optimization of livestock systems is the implementation of technologies such as the production of silage, hays, and hydroponic green fodder (FVH). This study sought to implement a hydroponic system to produce FVH of rice (*O. Sativa*), unconventional grass for animal feed, in conditions of low temperature and high humidity, varying between 17 °C y 24 °C y 60 % y 80 %, respectively. The agronomic evaluation had a duration of 38 days for the main crop (CP) and 21 days for the soca (CS). The seeds used were watered manually, applying fertilizers from day 21 post-sowing; besides, were selected, disinfected, and subjected to pre-germination. A quantitative descriptive analysis was carried out, linear regression models were used. The variables evaluated in CP and CS were total height (cm), stem height (cm), main leaf length (cm), leaf/stem relation and quantity of leaf/seedling. The constant growth of the seedlings was observed until day 26 post-sowing; then, it was found that the growth in height was minimum. Regarding CS, regrowth was found in some scattered areas of the root mat, reaching a height lower than that recorded in the CP, where premature death of seedlings was evidenced. Could be concluded, finally, that in the environmental conditions of the experiment biomass and height yield is low; nevertheless, the nutritional composition of *O. sativa* indicates that the implementation of hydroponics allows proposing the production of FVH from this grass as a promising alternative in animal feed.

Keywords

Nutritional composition, seed development, *Oryza sativa*, agronomic technology, Hydroponic System.

1. INTRODUCCIÓN

La alimentación animal representa más de la mitad de los costos de producción, situación que implica seguir abordando estudios para optimizar los sistemas pecuarios [1]. El funcionamiento de un sistema de producción animal implica disponer durante todo el año de forrajes, siendo pertinente mejorar la productividad por m² y enriquecer la calidad nutricional de la biomasa obtenida [2].

Disponer de biomasa a partir de cultivos convencionales presenta algunas limitantes como la existencia de suelos infértiles, el requerimiento de grandes extensiones de tierra, la acelerada tasa de urbanización y el cambio climático [3]. Una alternativa es la obtención de forraje verde hidropónico (FVH) [4]. Este método surge como una alternativa ante las limitantes del recurso suelo y agua en cultivos tradicionales, conservando altos índices de productividad y rentabilidad [5], además de mantener una producción constante de biomasa sin hacer uso del suelo [6].

A medida que el FVH se ha venido usando en la alimentación de diferentes especies de animales se han diversificado los forrajes utilizados con esta técnica [4]. Un estudio realizado en la Universidad Nacional de La Plata Argentina suministro avena (*Avena sativa*) en cabras, indicando un incremento en el consumo de materia seca, además de mejorar la degradabilidad ruminal y digestibilidad aparente total [7]. Una investigación con cuyes a nivel de granja familiar en Perú reportó ganancia de peso y conversión alimenticia homogénea al incluir en la dieta 60 % de FVH de tres variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) [8]. En el Instituto Tecnológico de Pinotepa en México alimentaron cerdos con FVH de maíz indicando que una inclusión de hasta 45 % del forraje permite mejorar la ganancia de peso y la conversión alimenticia de los cerdos [9]. En el piedemonte amazónico del departamento de Putumayo Colombia concluyeron que dietas con un 30 % de FVH de maíz permite mejorar los parámetros productivos en ovinos [10]. En Santiago La Paz Bolivia concluyeron que se puede incluir hasta un 40 % de FVH de maíz en la alimentación de pollos de engorde línea Cobb, sin afectar la respuesta productiva [11].

En otros estudios, se reporta la composición nutricional del FVH y/o los parámetros productivos del cultivo. Al comparar el FVH de maíz, arroz (*Oryza sativa*) y sorgo (*Sorghum almun*) se encontró que la mayor biomasa fresca y contenido de proteína se obtuvo en el sorgo, la mayor cantidad de materia seca y cenizas en el arroz y el mejor nivel de fibra en el maíz [12]. En otra investigación se determinó que en condiciones hidropónicas el cultivo de maíz presentó mayor altura de la planta respecto al frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el arroz. El frijol registró el mayor contenido de proteína. En las tres especies, el contenido de N, Ca, P, Mg y K se encontró en rangos cercanos a los requerimientos planteados por la National Research Council (1989) [13]. Al comparar la producción de avena y trigo (*Triticum vulgare L.*) en condición hidropónica y convencional se registró la mayor producción de biomasa (Kg/m²) y altura de las plantas (cm) con el FVH de trigo. El contenido de proteína fue mejor en el cultivo convencional de trigo. La relación beneficio/costo fue superior en los cultivos hidropónicos [14].

La búsqueda de antecedentes de interés para el desarrollo del presente estudio indicó que, en Norte de Santander Colombia las investigaciones referentes al uso de arroz como FVH para alimentación animal son limitadas. Considerando que Norte de Santander es un departamento arrocero [15] y teniendo en cuenta la literatura disponible relacionada con la metodología para la obtención de FVH, el objetivo de la investigación fue evaluar la producción de FVH de arroz.

Otro aspecto que generó interés en la presente investigación es la necesidad de disponer de “nueva” semilla al momento de la siembra de un cultivo hidropónico. Al respecto, se exploró

el aprovechamiento de una segunda cosecha obtenida a partir de la siembra inicial, denominada soca, entendido este proceso fisiológico como la capacidad de algunas plantas como el arroz para regenerar nuevas macollas fértiles después de cortar los tallos en la cosecha principal [16]. De esta manera, en la cosecha principal se evaluó la biomasa fresca y seca del tallo y las hojas de las plántulas de arroz, la altura del tallo, longitud de la hoja principal y se realizó el análisis bromatológico del forraje cosechado. En la soca se logró registrar altura del tallo, longitud de la hoja principal. En ambos casos se calculó la relación hoja tallo.

2. METODOLOGÍA

La investigación se realizó de forma experimental con enfoque cuantitativo, implementando estadística descriptiva y modelos lineales generalizados. El experimento presenta un enfoque descriptivo y exploratorio. El estudio se llevó a cabo en la finca la Fortuna San Miguel, vereda la Garza municipio de Gramalote, Norte de Santander, Colombia; con coordenadas de Latitud 7°91'42"N y Longitud de 72°82'64" W a 1700 m.s.n.m.

Se registró con un termo higrómetro digital HTC-2 en tres horarios del día (6:00, 12:00, 18:00) la temperatura ambiental (°C) y la humedad relativa (%), calculando un dato promedio de 20,3 °C y 74,17 %, respectivamente. Utilizando un pluviómetro WalMur, se calculó una precipitación promedio de 1148 mm (Figura 1).

Durante el experimento la temperatura ambiente disminuyó de 24 °C hasta 17 °C. Los primeros diez días post siembra la humedad relativa estuvo cerca al 60 %. Del día 11 al 19 la humedad se incrementó alcanzando cifras del 80%; posteriormente la humedad estuvo entre 70 % y 90 %. La precipitación estuvo entre 5 mm y 15 mm, registrándose en algunas ocasiones niveles máximos de 30 mm. En los periodos sin presencia de lluvias, la humedad relativa se mantuvo constante, caso contrario, en presencia de lluvias la tendencia fue al incremento de la humedad relativa. En general a menor temperatura ambiente mayor fue el nivel de humedad relativa, por ejemplo, en los días 32 y 60 se registró la temperatura más baja y el máximo valor para la humedad (Figura 1).

El experimento se ejecutó bajo condiciones de una única muestra con cinco repeticiones (cinco bandejas de 0,58 m x 0,30 m equivalentes a 0,174 m²), en una estructura usada para el secado de café comúnmente denominada marquesina (Techo o cubierta plástico), utilizando semilla no certificada de la variedad Fedearroz 2000.

En total se utilizaron 3000 g de semilla (peso seco), sometida a desinfección sumergiéndose durante dos minutos en solución de hipoclorito de sodio al 1,25 % (1200 mL de cloro comercial al 5,25 % diluidos en 5000 mL de agua), seguido de un enjuague con abundante agua potable para eliminar residuos del producto [14]. [17].

La fase de pregerminación se realizó sumergiendo la semilla en agua (1200 mL de agua/3000 g de semilla) durante 30 horas, retirando impurezas y granos vanos "vacíos" [12], [17]. En este paso se agregó 10 cm³ de fungicida comercial a base de Azoxystrobin y Difenconazole. Las impurezas y los granos vanos fueron pesados una vez se retiraron del recipiente (92 g) y 12 horas después de secado bajo sombra (87 g). Este último dato, permitió estimar en base seca la pérdida de semilla por concepto de impurezas y granos vanos en 5,4 %.

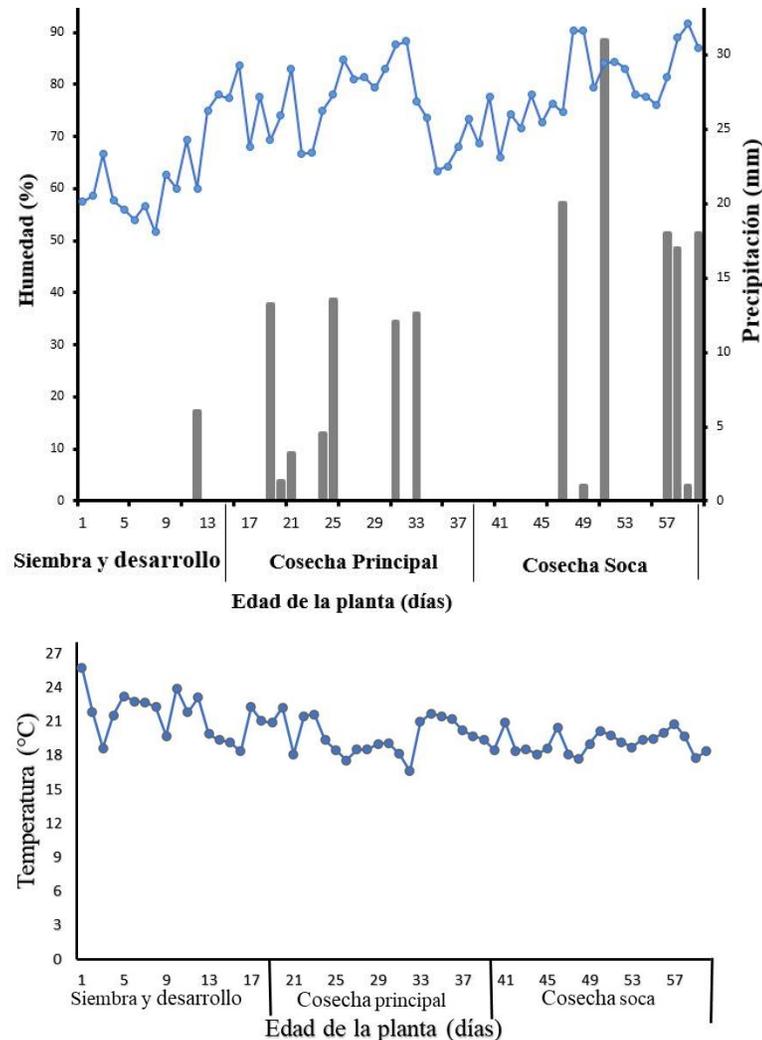


Figura 1. Registro de variables ambientales durante el desarrollo del experimento

Fuente: elaboración propia.

Transcurridas las 30 horas se realizó una nueva desinfección de la semilla clasificada como viable para siembra, se dejó escurrir usando un colador de uso doméstico y se registró el peso húmedo (3900 g). El contenido de humedad que adquiere la semilla durante el proceso de desinfección y la fase de pregerminación se estimó en 30 %.

Después de escurrir las semillas, se extendieron 780 g por bandeja. Para proporcionar oscuridad y lograr una adecuada germinación, las bandejas fueron cubiertas con una polisombra negra en un periodo de tres días [14]. El riego se realizó por medio de una fumigadora tipo aspersor pulverizador manual marca sprayer con capacidad de 2000 mL y se ajustó según las condiciones climáticas desde 5 riegos/día a un riego diario, aplicando 3000 mL/bandeja. El fertilizante utilizado (5 g/10000 mL agua) estaba compuesto por nitrógeno (28 %), fósforo (4 %) y azufre (6 %) más excipientes. Este se aplicó desde el día 21 post siembra, en siete ocasiones, día por medio.

El FVH presentó hongo a partir del día 11 después de la siembra. Para el control se aplicó 2 cc/L de agua de Azoxystrobin -Difenoconazole los días 11, 13 y 16 post siembra; finalmente el día 18 después de la siembra, el tapete radicular se sumergió en agua con hipoclorito de sodio al 1,25 %. La siembra y cosecha del FVH de arroz se desarrolló en 60 días divididos en

los primeros 38 días para la cosecha principal (CP) y 22 días siguientes para la segunda cosecha o soca (CS).

Las variables evaluadas a partir de la CP fueron: A partir de los 18 días post siembra, cada dos días se registró en milímetros la altura total de la planta (desde la base hasta la punta de la hoja principal); la altura del tallo (desde la base hasta la inserción tallo hoja) [17]; por diferencia se calculó la longitud de la hoja principal. Se calculó la relación hoja tallo (longitud de la hoja principal dividida en altura del tallo). También se registró la cantidad de hojas por planta (#) [18]. Al obtener la CP se registró la biomasa de la hoja y el tallo en fresco y en seco (g) [17]; finalmente se realizó el análisis bromatológico para la CP [13]. En la CS se logró registrar altura, longitud de hoja principal y relación hoja tallo.

Para el análisis bromatológico de la CP se tomó una submuestra de hojas y de tallos de cada una de las cinco bandejas, mezclando y homogenizando una única muestra. A partir de la muestra homogenizada se envió un total de 100 g de hojas y 100 g de tallos al laboratorio de AGROSAVIA para el respectivo análisis a través de espectroscopia de reflectancia en el infrarrojo cercano con el método de NIRS [19]. Se obtuvo el valor de materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, materia mineral, calcio, fósforo, magnesio, fibra detergente neutra, fibra detergente ácida, lignina, hemicelulosa, carbohidratos no estructurales, energía bruta y energía metabolizable.

El análisis estadístico consistió en explorar modelos de regresión lineal utilizando el software R versión 4.1.2. Se realizaron correlaciones entre algunas variables. A partir de las variables existentes (posibles predictores registrados) se logró ajustar un modelo de predicción para la variable $Y = \text{Longitud de la hoja en mm}$. El modelo se construyó agregando posibles predictores. Se consideró la significancia del coeficiente beta (p-valor) de manera individual y al plantear el modelo múltiple. Se tomó el criterio Akaike AIC para definir el mejor modelo; se consideró el cumplimiento de linealidad (Test Ramsey) explorando la inclusión de variables cuadráticas. Para cada modelo se revisó el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Test Kolmogorov Smirnov y Shapiro Wilk), homocedasticidad de varianzas (Test Breusch Pagan), la no existencia de auto correlación en los datos (Test Durbin-Watson) y la correcta selección e inclusión de variables explicativas (Test Breusch-Godfrey). Se verificó la no existencia de datos atípicos e influyentes (Test de Bonferroni, residuos estudentizados, distancia CookD y distancia Hat) [20] [21]. Las variables de biomasa fresca, seca, bromatológico y relación hoja/tallo se analizó con estadística descriptiva usando Microsoft Excel y el software InfoStat versión libre [22].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cultivo de FVH de arroz evidenció a partir del día 11 post siembra presencia de hongo (no identificado) en el tapete radicular, el cual se controló durante el experimento, sin embargo, no se logró eliminar, esto a pesar del uso de 10 cc de Azoxystrobin/12L de agua durante el período de inmersión, la desinfección de la semilla con hipoclorito de sodio al 1,25 % antes de la siembra y haber sumergido el tapete radicular durante 1 minuto en hipoclorito de sodio al 1,25 %. Este caso es similar al reporte de [6] a los 25 días post siembra de FVH de avena, quienes aplicaron un fungicida por el tiempo restante del experimento.

Al respecto algunos autores lograron prevenir la presencia de hongos sumergiendo la semilla en hipoclorito de sodio al 1 % durante 10 minutos (condiciones del experimento de 25,5 °C y 1,390 mm de precipitación media anual) [17] e implementando cal (50 g/8 L agua) al día 7 en el riego (el autor no reporta condiciones de humedad y temperatura del experimento) [23].

En la presente investigación se atribuye la presencia del hongo al elevado nivel de humedad ambiental (74,17 %), la presencia de lluvias en la zona durante el experimento (hasta 30 mm en un día), además del uso de una marquesina cerrada (limita circulación de aire y restringe el paso directo de luz solar) como estrategia de protección a las fuertes y constantes lluvias, esto debido a que el rendimiento del cultivo es directamente afectado por las condiciones climáticas [24]. Otro aspecto para considerar fue la densidad de siembra, la cual una vez se inició y desarrolló el experimento, se consideró alta. Al respecto el Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria en San Salvador [25] sugiere como estrategia de control biológico, evitar altas densidades de siembra en los cultivos de arroz, ya que los hongos se diseminan fácilmente por el viento, las herramientas y salpicadura del agua de lluvia; y en este caso, el manejo hidropónico implica estos riegos de manera constante.

3.1 Altura, biomasa y cantidad de hojas en las plantas del FVH de arroz

Hasta el día 26 se obtuvo un comportamiento ascendente en las variables de altura total de la planta, altura del tallo y longitud de la hoja principal, posteriormente el crecimiento es mínimo y la altura se observa con tendencia a ser constante. En general, la altura alcanzada durante la CS fue menor respecto a la altura registrada en la CP (Figura 2).

Hasta el día 28 de edad del FVH, las plántulas presentaron una a dos hojas; en los días siguientes algunas plántulas tenían hasta tres hojas. Referente a la CS, visualmente rebrotó aproximadamente el 15 % del área del tapete radicular, esto de manera dispersa por la bandeja. La tendencia fue al marchitamiento y muerte de las plántulas.

En el rango de 18 a 22 días de edad del FVH, la longitud de la hoja se evidencia aproximadamente de 1,5 a 2,5 veces la altura del tallo de la plántula, posteriormente esta relación disminuye a casi 2,0 veces la altura del tallo, esto debido a que el tallo creció más respecto al periodo del día 18 a 22 de vida.

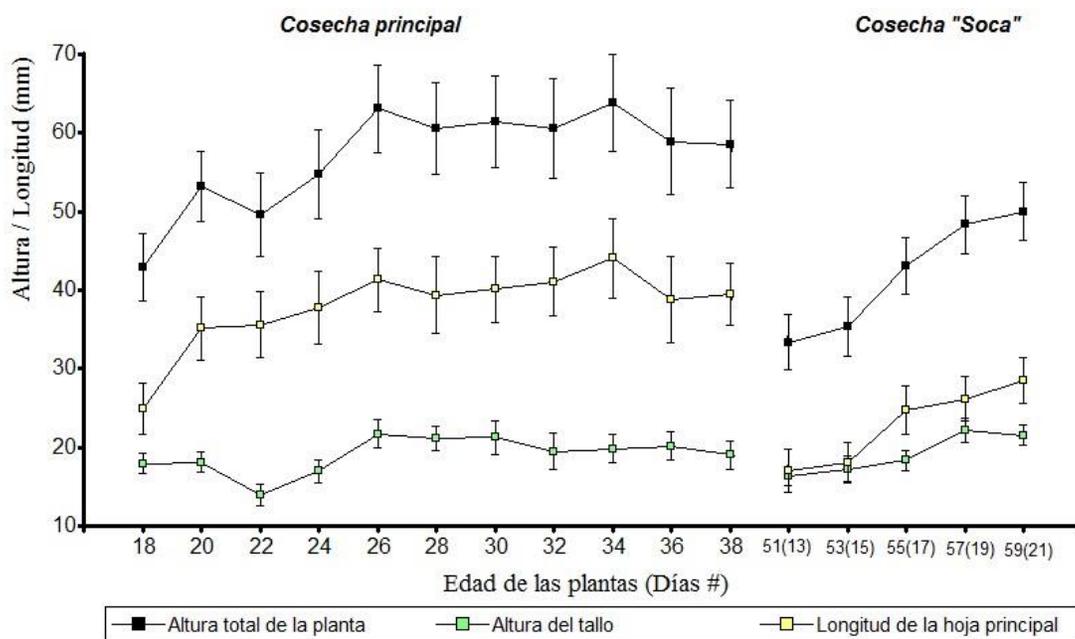


Figura 2. Altura total de la planta, el tallo y longitud de la hoja principal (mm) según edad (días) de la planta en la cosecha principal y la soca. Valores en el eje X dentro de “()” indican la edad en días posterior a la CS

Fuente: elaboración propia.

En los siguientes días (hasta el día 38) la variación fue mínima, esto se explica por la tendencia al bajo crecimiento después del día 26 post siembra. En la CS la relación fue menor oscilando entre 1 y menos de 1,5 veces, es decir, la altura del tallo fue casi proporcional a la longitud de la hoja (Figura 3). Este comportamiento es coherente con otras investigaciones en las cuales se indicó que la relación hoja tallo disminuye con la edad de la planta [6], [26].

De manera coherente se identificó correlación media positiva (0,61) entre altura del tallo y longitud de la hoja, determinándose que a mayor altura del tallo mayor longitud de la hoja; asimismo, a mayor edad en días de las plantas mayor cantidad de hojas (0,71). La longitud de la hoja principal mantiene correlación baja con el número de hojas (0,28). Un estudio con arroz (líneas avanzadas *Oryza rufipogon* G. x *Oryza sativa* L. ssp. *Japonica*) cultivado convencionalmente reportó una correlación de 0,90 entre altura de planta y la longitud de hoja principal [27]. La correlación más alta reportada por este autor puede obedecer a que en el estudio [27] la altura se registró desde la base hasta la punta de la panícula y en la presente investigación la altura corresponde solo al tallo. En otra investigación con pasto Janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth) la correlación entre estas dos variables (a los 30 días post siembra convencional) fue un poco más similar registrándose en 0,71 [28].

La Tabla 1 indica los descriptivos para las variables de interés en el planteamiento del modelo de regresión lineal Y: Longitud de la hoja principal (mm) en función de altura del tallo (mm) y cantidad de hojas (#). En la investigación realizada con líneas avanzadas de arroz [27] el autor logró plantear una ecuación de predicción para altura de la planta en función de la longitud y ancho de la hoja principal.

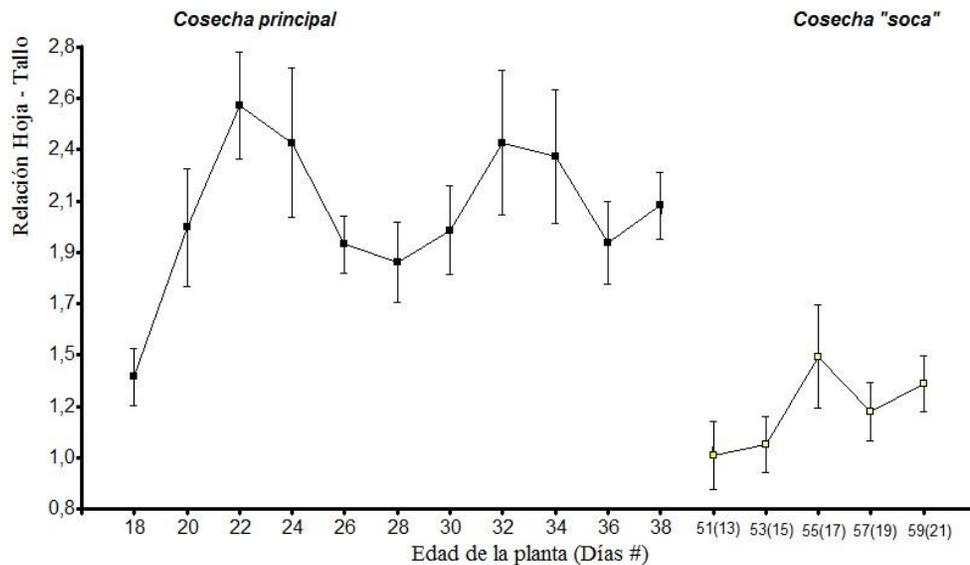


Figura 3. Relación de la longitud de la hoja principal y la altura del tallo del FVH de arroz. Valores en el eje X dentro de “()” indican la edad en días posterior a la CS. Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Descriptivos para las variables de interés en el planteamiento del modelo lineal
Fuente: elaboración propia.

	Media ± Desviación	Mediana	Mínimo	Máximo
At	18,98 ± 7,05	18	5	50
LHP	37,02 ± 15,99	34	10	77
H	2,16 ± 0,60	2	1	3

At: Altura del tallo (mm). LHP: Longitud de hoja principal (mm) H: Cantidad de hojas (#)

El modelo ajustó con un coeficiente de determinación (R^2) del 0,4192, esto indica que el modelo explica el 41,92 % de la variación en longitud de hoja principal (mm), considerándose un ajuste medio [21]. El modelo cumplió con los supuestos de normalidad (Kolmogorov Smirnov p-valor = 0,1394) y homocedasticidad de varianzas (Breusch Pagan p valor = 0,1943), linealidad (Test Ramsey p-valor = 0,4072) y los datos no presentaron auto correlación (Durbin-Watson p-valor = 0,6569). No se identificaron datos atípicos en influyentes. Remplazando los valores promedio de cada variable en la ecuación de predicción se obtiene que una plántula con un tallo de 18,98 mm y dos hojas tendrá una longitud de hoja de 36,75 mm:

$$Y: \text{Longitud de la hoja (mm)} = -5,067 + 1,486 (\text{Altura del tallo en mm}) + 6,806 (\# \text{ de hojas})$$

$$Y: \text{Longitud de la hoja (mm)} = -5,067 + 1,486 (18,98 \text{ mm}) + 6,806 (2 \text{ hojas})$$

$$Y: \text{Longitud de la hoja (mm)} = 36,75 \text{ mm}$$

La Tabla 2 presenta los valores de biomasa (forraje verde fresco y materia seca) obtenidos en el cultivo de FVH de arroz con un promedio por bandeja de 199,6 g distribuidos en 117 g para la hoja y 82,4 g para el tallo, equivalentes a un estimado de 1147 g/m², de los cuales el 58,71 % (673,56 g) corresponde a hojas y 41,29 % al tallo (473,56 g). Se registró un 18,40 % y 22,00 % de materia seca para tallo y hoja respectivamente. En general, los datos presentaron un coeficiente de variación cercano al rango del 20 % indicando poca variabilidad y dispersión. Respecto a la CS no se produjo forraje representativo para el registro de biomasa y análisis bromatológico.

Los valores registrados para altura y biomasa se consideran un rendimiento bajo respecto a otras investigaciones. Estos resultados se atribuyen inicialmente a las condiciones climáticas (templado a frío, baja radiación solar), el uso de un fertilizante no balanceado en macro y micronutrientes y el uso de hipoclorito de sodio como estrategia para controlar la presencia del hongo en el tapete radicular.

En un cultivo de arroz en condiciones hidropónicas autores como [12] reporta un valor de biomasa de 1993,00 g/m² a los 20 días, sin embargo, estos datos fueron tomados con base al tapete completo de FVH (tapete radicular, tallo y hojas), a diferencia de la presente investigación en donde el valor de biomasa corresponde únicamente a tallo y hojas, y solo la semilla inicialmente sembrada estaría representando 780 g/bandeja de 0,58 m x 0,30 m equivalente a 4 482,75 g/m², esto sin considerar el desarrollo radicular, cifras que no permitirían estimar un dato de biomasa fresca exacta, pero si es una premisa de haber registrado valores para biomasa completa más altos (tapete radicular, tallo y hojas).

La variable altura se comparó con algunos autores como [12] quien registró condiciones climáticas de 19,5°C y rendimientos de 25 cm a los 20 días de cosecha. Por otra parte, [13] realizó su investigación con arroz en clima cálido y reportó una altura de 13,28 cm en 12 días.

Asumiendo un crecimiento lineal, el cultivo de [12] a los 12 días presentaría una altura de 15,00 cm, dato superior al reporte de [13] en clima cálido; esta situación restringe la posibilidad de asociar el bajo rendimiento del cultivo con las condiciones climáticas de la presente investigación.

Tabla 2. Biomasa de las plantas de FVH de arroz durante la CP. Fuente: elaboración propia.

Ítem	Total	Hoja	Tallo
Fresco (g/bandeja)	199,60±6,37 [7,14%]	117,20±8,68 [16,56%]	82,40±8,93 [24,23%]
Fresco (g/m ²)	1147,12	673,56	473,56
MS (%)	20,20	22,00 ± 0,89 [9,09 %]	18,40 ± 0,98 [11,91 %]

Promedio ± Error estándar [Coeficiente de variación].

Metodológicamente se encuentra diferencia en la aplicación de la solución nutritiva concentrada en elementos mayores y menores, respecto a la fertilización utilizada en la presente investigación con una composición de solo nitrógeno, fósforo y azufre, situación ante la cual, se puede plantear que el cultivo posiblemente presentó deficiencia nutricional, ya que el cultivo de arroz requiere de un balance de macro y microelementos irremplazables para completar el desarrollo fenológico. Por ejemplo, la ausencia de elementos como el potasio genera que las plantas se atrofién, evidenciándose menor altura y una limitada formación de macollas [24].

Otro posible factor incidente en el menor desarrollo de las plantas obedece a los efectos secundarios del uso de hipoclorito de sodio para controlar el hongo en el tapete radicular. Al respecto, se encontró que el hipoclorito de sodio promueve la acumulación de metabolitos inhibidores de la germinación de semillas y del crecimiento de las plantas de arroz [29], lo que podría haber limitado la correcta absorción de nutrientes y óptimo desarrollo de las plántulas tanto en la CP como en la CS.

Las dos últimas situaciones expuestas (fertilización desbalanceada y uso de hipoclorito de sodio) se atribuyen como las causas por las cuales en la presente investigación el desarrollo de la CS o segunda cosecha no fue viable. Por otra parte [30] reporta que el cultivo de arroz cumple su fase vegetativa (germinación, emergencia y macollamiento) después de los 60 días y la fase reproductiva es en algunos casos, después de los 44 días, tiempo que posiblemente superó los 38 días a los cuales se realizó la CP en la presente investigación. Adicional es importante recalcar que para obtener buenos rendimientos en la CS se debe presentar una excelente calidad sanitaria de la raíz del cultivo [25], y en este caso, el hongo en el tapete radicular fue controlado, más no eliminado.

3.2 Composición nutricional del FVH de arroz

La Tabla 3 indica la composición bromatológica del FVH de arroz. El nivel de proteína fue mayor en las hojas respecto al tallo. El mayor nivel de FDN se presentó en el tallo, resultado coherente con el mayor contenido de hemicelulosa y lignina. El restante de parámetros evaluados fue similar entre la muestra de hojas y tallos.

Con relación a la composición nutricional registrada en la CP, el nivel de materia seca del 20,19 % (Tabla 4) es mayor con lo mencionado por [12] quien indica 15,82 % para FVH de arroz. El nivel de proteína (22,74 %) se observa como un valor relativamente alto en comparación con otros hidropónicos de arroz, encontrando diferencias promedio de un 13 % respecto a [13], esto a pesar de haber cortado el FVH de arroz a los 38 días respecto a los 12 días reportados por el autor indicado; y estuvo similar al reporte en el frijol (*Vigna unguiculata*) con 25,63 % [13], aun siendo este cultivo una leguminosa considerada “rica” en contenido de proteína [31] (Tabla 4).

El dato de extracto etéreo (2,7 %) evidencia ser el registro más bajo en comparación al maíz hidropónico con 4,62 % [32]; el contenido de materia mineral (11,39 %) fue ligeramente mayor que los datos reportados por [12] a diferencia con el 8 % reportado por [32] para el maíz (Tabla 4).

En la Tabla 5 se presenta una comparación entre diferentes forrajes establecidos convencionalmente en suelo, tomando como referencia los parámetros suministrados por el laboratorio de AGROSAVIA en el año 2021 [33]. El valor de proteína reportado en la presente investigación es superior al contenido de proteína referenciado para las gramíneas *Brachiaria* (9,95 %) y al dato en Kikuyo (19,46 %), esto posiblemente al corto tiempo en que se cosechan los hidropónicos respecto a los cultivos convencionales y a la aplicación del fertilizante rico

en nitrógeno usado en el desarrollo del cultivo de FVH de arroz. Asimismo, el porcentaje de proteína indicado en la presente investigación para hoja, tallo y mezcla detalla valores similares a los obtenidos por las principales leguminosas (maní forrajero 21,84 % y trébol blanco 21,85 %), plantas sobresalientes por su alto nivel proteico en alimentación animal (Tabla 5) [33].

Los valores más bajos para el extracto etéreo los presentan las leguminosas; seguido de los pastos. Con relación a la materia mineral, la Brachiaria reporta los valores más bajos; los demás forrajes presentan valores similares, aun perteneciendo a clasificaciones taxonómicas diferentes. Relacionando el tema de CNE, el reporte para hoja y tallo de FVH de arroz es similar al contenido en los forrajes proteicos y superior al reporte para las dos gramíneas. La composición energética fue similar a los pastos y leguminosas indicadas (Tabla 5) [33].

Tabla 3. Composición bromatológica del FVH de arroz obtenido en la cosecha principal
Fuente: elaboración propia.

Parámetro evaluado	Hoja (58,71 %)	Tallo (41,29 %)	Promedio
Humedad (%)	79,94	79,62	79,81
Materia seca total (%)	20,06	20,38	20,19
Proteína cruda (%)	23,89	21,12	22,74
Extracto etéreo (%)	2,82	2,63	2,76
Materia mineral (%)	12,13	10,36	11,39
Calcio	0,34	0,39	0,36
Fosforo	0,48	0,32	0,41
Magnesio	0,28	0,23	0,25
FDN %	49,58	54,21	51,49
FDA %	24,36	25,12	24,67
Lignina %	5,16	5,96	5,49
Hemicelulosa %	25,22	29,09	26,81
Carbohidratos no estructurales	10,23	9,69	10,00
Energía bruta (Kcal/ kg)	4,170	4,210	4,186
Energía metabolizable (Kcal/kg)	2,410	2,310	2,368

La muestra de FVH de arroz utilizada para el análisis bromatológico se conformó de 58,71 % de hojas y 41,29 % de tallo.

Tabla 4. Comparación del manejo y desarrollo de Forrajes Hidropónicos. Fuente: elaboración propia.

Cultivo	DC	BF	A	Condiciones climatológicas			Composición nutricional			
				T	H	P	MS	PB	EE	MM
Arroz*	38	1147,1	5,7	20,3	74,7	1148	20,1	22,7	2,7	11,39
Arroz [13]	12	-	13,2	27,0	80,0	2630	-	9,9	-	-
Arroz [12]	20	1993,0	25,0	19,5	-	2050	15,8	7,9	-	9,17
Frijol [13]	12	18000,0	21,2	27,0	80,00	2630	-	25,6	-	-
Maíz [32]	12	-	32,5	26,9	-	2400	9,3	17,7	4,6	3,38

* Elaboración propia. DC: Días de cosecha, BF: Biomasa fresca (g/m^2), A: Altura (cm), T: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), H: humedad (%), P: precipitación (mm), MS: materia seca (%), PB: proteína (%), EE: extracto etéreo (%), MM: materia mineral (%).

Tabla 5. Composición nutricional del FVH de *O. sativa* y algunos forrajes convencionales. Fuente: [33]

Forraje	MS	PB	EE	MM	CNE	EB
<i>Brachiaria</i>	23,83	9,95	2,12	9,51	8,50	4,060
Kikuyo	17,34	19,46	1,90	10,65	7,66	4,140
Maní forrajero	19,28	21,84	1,57	10,61	10,50	4,110
Trébol blanco	17,59	21,85	1,75	11,91	9,98	4,120
FVH arroz (Hoja)	20,0	23,8	2,82	12,13	10,23	4,170
FVH arroz (Tallo)	20,3	21,1	2,63	10,36	9,69	4,210
FVH arroz (mezcla)	20,19	22,74	2,76	11,39	10,00	4,186

MS: materia seca (%), PB: proteína bruta (%), EE: extracto etéreo (%), MM: materia mineral (%), CNE: carbohidratos no estructurales (%), EB: energía bruta (Kcal/kg). Mezcla: 58,71 % de hoja y 41,29 % de tallo. *Brachiaria* (*Brachiaria decumbens*), Kikuyo (*Cenchrus clandestinius*), Maní forrajero (*Arachis pintoi*), Trébol blanco (*Trifolium repens*).

Los requerimientos nutricionales de algunos rumiantes se relacionan en la Tabla 6. A continuación se presenta un comparativo de la composición nutricional del FVH del arroz con dichos requerimientos, esto con el propósito de proponer este FVH como parte de la dieta. Con relación a la materia seca un cultivo hidrópico tiene un bajo porcentaje en comparación con los cultivos convencionales, pero es compensado con un alto contenido proteico (Tabla 5).

Tomando como referencia el requerimiento de proteína de un bovino, una cabra lechera y ovino de engorde (Desde 14 % a 18 %) reportado por National Academies of Sciences (32), [34] y las casas productoras de concentrado comercial [35], [36], [37], se puede plantear que dicho requerimiento sería cubierto por el FVH de arroz.

Para el extracto etéreo se obtuvo un valor de 2,7 % por debajo del requerimiento en vaca lechera y ovinos de engorde, sin embargo, se cumple con el porcentaje necesario en cabra lechera de 2,5 %. La materia mineral reportada para el FVH de arroz es superior a los requerimientos de vacas lecheras y novillos, en consecuencia, es necesario considerar esta composición durante el balanceo de una dieta, ya que se puede provocar un desequilibrio y alterar diferentes funciones en el animal [38] (Tabla 5 y 6).

Desglosando la materia mineral se presentan los registros de Ca 0,36 %, P 0,41 % y Mg 0,25 % de los cuales el FVH de arroz cumple con el valor respecto al fósforo y magnesio, minerales indispensables para producción y mantenimiento de vacas lecheras y novillos de engorde [38], respecto a la cabra lechera los porcentajes en estos minerales son muy bajos, lo cual hace necesario integrar otro alimento en la dieta para suplir su insuficiencia (Tabla 6).

En la investigación se registró un FDN de 51,49 % y FDA de 24,67 %. Este resultado se relaciona a la edad de corte (38 días), aumentándose la lignina para darle rigidez y sostén a la planta [39]. Al respecto se debe tener en cuenta que un corte o cosecha a los 38 días es superior al tiempo de cosecha común en hidropónicos [4] (Tabla 4).

Los valores energéticos requeridos se están presentando en energía metabolizable. El FVH de arroz reportó un valor de 2,368 Kcal/kg. Este dato indica que no satisface las exigencias energéticas de los rumiantes indicados en la tabla 6, por lo tanto, es necesario suplementar con otros productos (Tabla 6).

Tabla 6. Requerimiento nutricional de algunos rumiantes comparado con la composición del FVH de arroz
Fuente: elaboración propia, [32], [33], [34], [35].

Especie animal	MS	PB	EE	MM	Ca	P	Mg	FDN	EM
Vaca Jersey [32]	89,2	18,0	3,4	9,3	0,6	0,35	0,17	19-25	2,880
Novillos Jersey [32]	85,2	14,4	--	5,5	0,5	0,26	--	19 -25	2,920
Ovinos [33]	87,0	17,0	6,0	12,0	--	--	--	--	--
Cabras [34]	88,0	16,0	2,5	--	0,8	0,60	--	--	--
Vaca lechera [35]	87,0	18,0	4,0	10,0	--	--	--	--	--
FVH arroz	*	*	*	*	0,36	0,41	0,25	51,49	2,368

C: Calcio (%), P: fosforo (%), Mg: magnesio (%), FDN: fibra detergente neutra (%), FDA: fibra detergente acida (%), EM: Energía Metabolizable (Kcal/kg). Vacas lecheras jersey de 100 días de lactancia. Novillos de 225 días. Ovinos de engorde. * Valores disponibles en Tabla 5.

Autores como [40] afirman que una cabra lechera requiere el 4 % de su peso corporal en forraje, por lo cual, el FVH arroz podría ser una alternativa para la alimentación en cabras, ya que son animales de bajo tamaño y por lo tanto requieren menor cantidad de alimento respecto a otros rumiantes como las vacas lecheras que, aunque el requerimiento está cercano al 2,5 % del peso corporal [34], el peso vivo de una vaca adulta promedio es casi siete veces el peso de una cabra.

4. CONCLUSIONES

El rendimiento de biomasa y la altura del FVH del arroz (*O. sativa*) en la cosecha principal fue menor respecto a los datos reportados en otras investigaciones; el análisis de la composición nutricional evidencia en la cosecha principal parámetros similares respecto a otros cultivos hidropónicos, algunas gramíneas y leguminosas cosechadas convencionalmente, asimismo se ajustan a los requerimientos de algunas especies rumiantes de interés productivo, aspectos que permiten plantear el uso de esta gramínea en hidroponía como una posible alternativa con potencial para la alimentación de pequeños rumiantes.

Bajo las condiciones ambientales del presente experimento la segunda cosecha denominada soca se consideró no viable ya que se presentó marchitamiento y muerte del forraje, esto posiblemente por deficiencia nutricional ocasionada por el desbalance del fertilizante y los efectos secundarios del uso de hipoclorito de sodio como alternativa para controlar el hongo. Se sugiere continuar explorando la respuesta de la soca como alternativa para disminuir la necesidad de disponer de nueva semilla al momento de la siembra.

5. AGRADECIMIENTOS Y FINANCIACIÓN

Este trabajo no cuenta con apoyo económico de ninguna entidad. Se agradece a la Universidad Francico de Paula Santander por el apoyo logístico e Institucional.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores no declaran algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Alix Amanda Eslava Pedraza: Adquisición de recursos, metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura, borrador original.

Rubén Darío Carreño Correa: administrador del proyecto, investigación, conceptualización, análisis de datos, escritura, revisión y edición.

Seir Antonio Salazar Mercado: conceptualización, logística, revisión y edición.

6. REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), “El estado mundial de la agricultura y la alimentación”. Progresos en la lucha contra la pérdida y el desperdicio de alimentos,” Roma, Italia, 2019. Accessed: Feb. 15, 2022. [Online]. Available: <https://www.fao.org/3/ca6030es/ca6030es.pdf>
- [2] J. A. Elizondo Salazar, “Producción de biomasa y calidad nutricional de tres forrajes cosechados a dos alturas,” *Agronomía Mesoamericana*, vol. 28, no. 2, p.329-340, May, 2017, https://www.mag.go.cr/rev_meso/v28n02_329.pdf
- [3] A. J. Ibarra-Rondón, P. J. Fragoso-Castilla, F. R. Villero-Wolf, and D. M. Rodríguez-Jiménez, “Efecto del uso de aguas residuales urbanas sobre el rendimiento y la calidad microbiológica del pimentón (*Capsicum annun L.*) cultivado en hidroponía,” *Información tecnológica*, vol. 32, no. 6, pp. 93-100, Dec. 2021. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000600093>
- [4] O. P. Núñez-Torres and J. R. Guerrero-López, “Forrajes hidropónicos: una alternativa para la alimentación de animales domésticos,” *Journal of the Selva Andina Animal Science*, vol. 8 no. 1, pp. 44-52, Apr. 2021. <https://doi.org/10.36610/j.jsaas.2021.080100044>
- [5] R. Pertierra Lazo and J. Quispe Gonzabay, “Análisis económico de lechugas hidropónicas bajo sistema raíz flotante en clima semiárido,” *La Granja*, vol. 31, no. 1, pp. 118–130, Feb. 2020, <https://doi.org/10.17163/lgr.n31.2020.09>
- [6] J. M. Salvador Castillo, M. A. Bolaños-González, A. K. Cedillo-Aviles, Y. Vázquez-Chena, S. A. Varela de Gante, and J. L. Meza-Discua, “Efecto de la aplicación de soluciones nutritivas en la calidad bromatológica del forraje verde hidropónico de *Avena sativa* y *Hordeum vulgare*,” *Terra Latinoamericana*, vol. 40, pp. 1-16, Feb. 2022, <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.996>
- [7] R. O. Arias, M. G. Muro, M. Bocanera, M. S. Trigo, D. A. Boyezuk, and C. Á. Cordiviola, “Aporte nutricional del forraje verde hidropónico en la alimentación de cabras cruza criollas x Nubian,” *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 118, no. 1, pp. 127-134, Jun. 2019. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/77221>
- [8] D. M. Saavedra, J. W. Gómez, G. S. Loa, and N. C. Gómez-Urviola, “Forraje verde hidropónico de tres variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) en la dieta de cuyes (*Cavia porcellus*) en recría, Abancay, Perú,” *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA*, vol. 16, pp. 67-71, 2021. [Online]. Available: https://aicarevista.jimdo.com/app/download/19268701125/AICA_Vol16_Trabajo012.pdf?t=1656701212
- [9] P. Cisneros Saguilán, H. Aniano Aguirre, and R. Martínez-Martínez, “Forraje verde hidropónico en dietas de cerdos en crecimiento en Pinotepa Nacional, Oaxaca,” *Mex de Cienc Agric*, no. 24, pp. 247-253, Apr. 2020. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2375>
- [10] J. P. Narvaez Herrera and E. M. Guerrero Guerrero, “Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del Piedemonte Amazónico,” *Investigación Agraria y Ambiental*, vol. 13, no. 1, pp. 253–266, Dec. 2021, <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>
- [11] M. H. Bedolla *et al.*, “Efecto del forraje verde hidropónico suplementado con un probiótico sobre el comportamiento productivo y la calidad nutricional del pollo de engorda,” *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 25, no. 1, Nov. 2021, <https://doi.org/10.56369/tsaes.3905>
- [12] C. F. Vargas-Rodríguez, “Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero,” *Agronomía mesoamericana*, vol. 19, no. 2, pp. 233-240, Aug. 2007. <https://doi.org/10.15517/am.v19i2.5005>
- [13] W. Espinosa, “Evaluación de densidades de siembra en maíz, arroz y frijol vigna en la producción de forraje verde hidropónico,” *Investigaciones agropecuarias*, vol. 1, pp. 15-27, Jun. 2019, [Online]. Available: https://revistas.up.ac.pa/index.php/investigaciones_agropecuarias/article/view/493

- [14] D. B. Morales Sinchire, L. S. Jiménez Álvarez, J. I. Burneo Valdivieso, and E. D. Capa Mora, "Producción de forrajes de avena y trigo bajo sistemas hidropónico y convencional," *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, vol. 21, no. 3, pp. 1-16, Jul. 2020, https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1386
- [15] M. G. Albarracín García and I. Mendoza Miranda, "Modelo para la diversificación y sofisticación del sector arrocero en el área metropolitana de Cúcuta," *Repositorio Universal Libre*, pp. 1-23, 2019, [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/10901/15807>
- [16] A. B. dos Santos, P. P. Torga, O. P. de Moraes, T. P. Baêta Santos, F. de Oliveira Cruz and Y. S. Oliveira "Desempenho de linhagens de arroz irrigado no cultivo principal e na soca em várzea tropical," *Ciência e tecnologia para otimização da orizicultura: anais. Brasília*, 2015, [Online]. Available: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128786/1/Santos-Desempenho-Linhagens.pdf>
- [17] H. J. Mejía-Castillo and F. S. Orellana Núñez, "Forraje verde hidropónico: una alternativa de producción ante el cambio climático," *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, vol. 5, no. 9, pp. 1103–1120, Jun. 2019, <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7947>
- [18] V. Barquero, A. Nieuwenhuys and R. García-Arguedas, "Efecto de diferentes concentraciones de sales fertilizantes sobre la producción primaria de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.), San Carlos, Costa Rica," *Revista AgroInnovación en el Trópico Húmedo*, vol. 2, no. 1, pp. 12–17, Sep. 2019, [Online]. Available: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/agroinn/article/view/4688>
- [19] C. Ariza-Nieto, O. L. Mayorga, B. Mojica, D. Parra, and G. Afanador-Tellez, "Use of LOCAL algorithm with near infrared spectroscopy in forage resources for grazing systems in Colombia," *J Near Infrared Spectrosc*, vol. 26, no. 1, pp. 44–52, Feb. 2018, <http://opg.optica.org/jnirs/abstract.cfm?URI=jnirs-26-1-44>
- [20] L. F. Naranjo Guerrero, A. L. Herrera, J. C. Rincon Florez, and L. G. González Herrera, "Identificación de un modelo lineal adecuado para evaluar características pre-destete en ganado criollo colombiano Blanco Orejinegro," *Scientia et Technica*, vol. 26, no. 1, pp. 49–56, Mar. 2021, <https://doi.org/10.22517/23447214.24301>
- [21] A. J. Dobson, and A. G. Barnett, *An introduction to generalized linear models*, Fourth Edition. Chapman and Hall/CRC, 2018. <https://doi.org/10.1201/9781315182780>
- [22] J. A. Di Rienzo, M. Balzarini, L. González, F. Casanoves and M. Tablada, "Software estadístico InfoStat," 2020. Accessed: Apr. 29, 2022. [Online]. Available: <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>
- [23] K. Burgos and C. Contreras S., "Establecimiento de avena bajo el sistema de forraje verde hidropónico FVH", La Serena, Chile, 2018. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/4814>
- [24] L. Castilla and Y. C. Tirado, "Fundamentos técnicos para la nutrición del cultivo de arroz", Bogotá, DC, Colombia, Nov, 2019. Accessed: May. 13, 2022. [Online]. Available: https://fedearroz.s3.amazonaws.com/media/documents/cartilla_fundamentos_nutricion.pdf
- [25] Organismo Internacional Regional de Sanidad Agropecuaria OIRSA, "Manejo Integrado del ácaro del arroz (*Steneotarsonemus pinki* Smiley) y las enfermedades asociadas," San Salvador, El Salvador, 2017. Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: https://www.oirsa.org/contenido/2018/Sanidad_Vegetal/Manuales%20OIRSA%202015-2018/Manual%20de%20Manejo%20Integrado%20de%20S%20%20spinki%20versi%C3%B3n%20%203%20de%20mayo%20Final.pdf
- [26] F. J. Montes Cruz, R. Castro Rivera, G. Aguilar Benítez, S. Sandoval Torres and M. M. Solís Oba, "Acumulación estacional de biomasa aérea de alfalfa Var. Oaxaca criolla (*Medicago sativa* L.)," *Rev Mex Cienc Pecu*, vol. 7, no. 4, pp. 539–552, 2016, [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000400539&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [27] C. E. Maldonado Camposano, W. O. Reyes Borja, L. A. Duicela Guambi and L. P. Arana Vera, "Estabilidad morfoagronómica de líneas avanzadas F5 de arroz, derivadas de cruces interespecíficos (*Oryza rufipogon* G. x *Oryza sativa* L. ssp. japonica)," *Journal of Science and Research*, vol. 5, no. 1, pp. 222–253, Oct. 2020, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4428912>
- [28] E. S. Hasang Moran, J. C. Gómez Villalva, E. L. Moreira Icaza and F. J. Cobos Mora, "Variabilidad fenotípica, y desarrollo de estolones de pasto Janeiro (*Eriochloa polystachya* Kunth), irradiados a 52 gy de rayos gamma (60Co)," *Journal of Science and Research*, vol. 5, no. 5, pp. 96–109, Dec. 2020, <https://doi.org/10.5281/zenodo.4422018>
- [29] L. I. Trejo Téllez, R. Vilchis Zimuta, F. C. Gómez Merino and S. M. Ramírez Olvera, "Las nanopartículas de plata afectan germinación y acumulación de biomasa en arroz", *Sustentabilidad Socioeconómica y Ambiental*, vol. 1, México, Dec. 2019, pp. 65 - 80. Accessed: Feb. 13, 2022. [Online]. Available: <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/2019/12/Sust-Socioeconomica-Ambiental-Mexico.pdf>
- [30] L. A. Maqueira, O. Roján, K. Torres, D. Duque and W. Torres, "Duración de las fases fenológicas, su influencia en el rendimiento del arroz (*Oryza sativa* L.)," *Cultivos Tropicales*, Vol. 39 nro. 1, pp. 68-73, Jan,

- 2018, [Online]. Available: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362018000100008&lng=en&nrm=i&tlng=es
- [31] A. E. Morales Morales *et al.*, “Caracterización morfológica de semillas de frijol caupí (*Vigna unguiculata L. Walp*) de la Península de Yucatán,” *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, vol. 6, no. 18, pp. 463–475, Sep. 2019, <https://doi.org/10.19136/era.a6n18.2171>
- [32] D. F. Quirós Badilla and V. Villalobos Ramos, “Costo y efecto de la suplementación con Forraje Verde Hidropónico: estudio de caso,” *e-Agronegocios*, vol. 8, no. 1, pp. 7–24, Jan. 2022, [Online]. Available: <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/5596>
- [33] AGROSAVIA, “Composición química y valor nutricional. AlimenTro, Antioquia. *Brachiaria decumbens*, Kikuyo, Trébol y Maní forrajero,” Accessed: Jul. 03, 2021. [Online]. Available: <https://alimentro.agrosavia.co/Estadisticas/ReporteAnalisis>
- [34] Engineering and M. N. A. of Sciences, *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. Washington, D.C.: National Academies Press, 2021. <https://doi.org/10.17226/25806>
- [35] Itacol, “Línea pequeñas especies, Italovinos Lactancia,”. Accessed: Apr. 23, 2022. [Online]. Available: <https://italcol.com/tus-lineas-de-productos/pequenas-especies-ovinos/>
- [36] Purina Animal Center, “Purina Goat Chow Goat Feed,”. Accessed: Sep. 14, 2021. [Online]. Available: <https://www.purinamills.com/goat-feed/products/detail/purina-goat-chow-goat-feed>
- [37] Solla, “Ganadería, Lechería Especializada - MASLECHE,”. Accessed: Sep. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.solla.com/product/masleche-18/>
- [38] Contexto ganadero, “Estas son las consecuencias de un desequilibrio mineral en bovinos,”. Accessed: Jul. 14, 2019. [Online]. Available: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/estas-son-las-consecuencias-de-un-desequilibrio-mineral-en-bovinos>
- [39] A. Maceda, M. Soto-Hernández, C. B. Peña-Valdivia, C. Trejo, and T. Terrazas, “Lignina: composición, síntesis y evolución,” *Madera y bosques*, vol. 27, no. 2, p. e2722137, Dec. 2021, <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2722137>
- [40] C. Maass Olate, “Manual de manejo para producción de leche de cabra bajo un modelo de bienestar animal”, Santiago de Chile, Chile, 2021. Accessed: Feb. 15, 2022. [Online]. Available: https://redfactive.cl/Manual_Caprino.pdf