

EN

Morphological components and nutritional and anthocyanin content in hydroponic green fodder based on native corn and purple corn

ES

Componentes morfológicos, contenido nutricional y de antocianinas en forraje verde hidropónico de maíces criollos de color

Emmanuel Domínguez Escorcia²; Roberto Bernal Muñoz¹; Rocío Hernández Díaz^{1*}; Ofelia Araceli López-Mejía¹; José Luis Macias-García¹; Elsa Lysbet Rodríguez Castañeda³; Fleider Leiser Peña Escalona⁴

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala, Ixtacuixtla, Tlaxcala, México.

²Brigada de Educación para el Desarrollo Rural núm. 34, DGETAyCM, San Martín Texmelucan, Puebla, México.

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Tecamachalco, Puebla. México.

⁴Universidad Politécnica de Texcoco. Texcoco, Estado de México, México.

Abstract

***Corresponding author:**
rous07050@gmail.com
ORCID: 0009-0001-2777-9662
Received: September 10, 2024
Accepted: November 10, 2024
DOI:
10.5154/r.rchsat.2024.04.10

Hydroponic green fodder (HGF) technology is an alternative for livestock feeding during periods of drought, since it is produced under controlled conditions in a short period of time. Under rainfed conditions, HGF is produced with colored corn varieties and fertilization is used to improve its nutritional quality and its anthocyanin content. This research aimed to evaluate two factors and their interaction. Factor A: four varieties and factor B: two fertilization doses in the production of hydroponic green fodder. Productive, bromatological and anthocyanin content variables were evaluated. It was found that fertilization of purple corn HGF had an effect on stalk length, but not on leaf length ($P \geq 0.05$). Grain accounted for the highest biomass weight, and the HGF of light purple and purple corns had greater weight in the stalk with leaves and root components. The ratio of stalk with leaves, grain and root was 2:7:1. The HGF based on purple corn with fertilization outperformed the rest of the treatments ($P \leq 0.05$) in biomass yield per kilogram of corn. The effect of fertilization application on the quality of the HGF was reflected in almost all bromatological variables and anthocyanins were present in the HGF of light purple and purple corns in quantities of 118.5 and 305.0 mg·kg⁻¹.

Keywords: Biomass, harvesting, chemical analysis, animal feed.

Resumen

La tecnología de forraje verde hidropónico (FVH) es una alternativa para la alimentación del ganado en periodos de sequía, ya que se produce en condiciones controladas en un periodo corto de tiempo. En condiciones de seco, el FVH se produce con variedades de maíces de color y se emplea fertilización, con esto se puede mejorar su calidad nutritiva además de apreciar su contenido de antocianinas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar dos factores y su interacción. El factor A: cuatro variedades y el factor B: dos dosis de fertilización en la producción de forraje verde hidropónico. Se evaluaron variables productivas, bromatológicas y contenido de antocianinas. Se encontró que la fertilización del FVH de maíz púrpura, tuvo efecto en la longitud del tallo, pero no en la longitud de la hoja ($P \geq 0.05$). El grano conformó el mayor peso de la biomasa, y los FVH de los maíces moradillo y púrpura, presentaron mayor peso en el componente tallo con hojas y en raíz. La proporción tallo con hojas, grano y raíz fue 2:7:1. El FVH basado en maíz púrpura con fertilización superó al resto de los tratamientos ($P \leq 0.05$) en rendimiento de biomasa por kilogramo de maíz. El efecto de la aplicación de fertilización en la calidad de los FVH se reflejó en casi todas las variables bromatológicas y existió presencia de antocianinas en los FVH de maíces moradillo y púrpura en cantidades de 118.5 y 305.0 mg·kg⁻¹.

Palabras clave: Biomasa, cosecha, análisis químico, alimentación animal.



Please cite this article as follows (APA 7): Domínguez Escorcia, E., Bernal Muñoz, R., Hernández Díaz, R., López-Mejía, O. A., Macias-García, J. L., Rodríguez Castañeda, E. L., Peña Escalona, F. L. (2024). Morphological components and nutritional and anthocyanin content in hydroponic green fodder based on native corn and purple corn. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(2). doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchsat.2024.04.10>

Introduction

The hydroponic green fodder (HGF) production system is carried out in a short time and at any time of the year, regardless of climatic conditions; this technique is environmentally sustainable (Calderón & Leal, 2024). Animals fed with HGF consume roots, stems, leaves and seed remains, obtaining protein, energy, vitamins and minerals (Herrera-Torres et al., 2010). HGF is produced in the absence of soil and in protected conditions, where some environmental variables such as light, temperature and humidity are controlled. Corn, oat, barley, wheat and sorghum seeds are usually used (Juárez-López et al., 2013). Corn production in Mexico in 2016 totaled 27.6 million tons, of which 89 % was white corn, 10.4 % yellow corn and 0.06 % other types of corn (ASERCA, 2016). Currently, there are no official statistics on the national and global production of colored corn; only at the state level are there data reported in 2010, 2011 and 2012 in Chiapas (Salinas et al., 2012), State of Mexico (Salinas et al., 2010), Sinaloa and Tlaxcala (Agama-Acevedo et al., 2011). The color of corn is due to the content of anthocyanins found in the endosperm and aleurone layer (Abdel-Aal et al., 2006). In addition to giving plants their color, anthocyanins also have several health benefits, as they can protect against a variety of oxidants through several mechanisms (Kong et al., 2003). In addition to providing feed for livestock production systems, HGF based on colored corn contributes to animal welfare by providing antioxidants such as anthocyanins. Due to the above, and although HGF is intended for livestock feed, this research aimed to evaluate the effect of the colored native corn variety and fertilization on the morphological and productive behavior, as well as the chemical composition of HGF.

Methodological approach

Location

HGF production was carried out in the Tlatenco Group Agricultural Production Unit, made up of agricultural producers from the town of San Antonio Tlatenco, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, with North latitude 19° 10' 27" and West longitude 98° 29' 46". The measurement of the productive variables, chemical analysis and anthocyanin content was carried out in the Seed and Fodder laboratories of the *Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala* (ITAT; Technological Institute of the Altiplano of Tlaxcala), located in the town of San Diego Xocoyucan, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala, with North latitude 19° 18' 26" and West longitude 98° 22' 22".

Experimental materials. The native varieties of yellow, white and light purple corn were acquired from

Introducción

El sistema de producción de forraje verde hidropónico (FVH), se realiza en poco tiempo y en cualquier época del año, independientemente de las condiciones climáticas; esta técnica es sostenible ambientalmente (Calderón & Leal, 2024). Los animales alimentados con FVH consumen raíces, tallos, hojas y restos de semillas, obteniendo proteína, energía, vitaminas y minerales (Herrera-Torres et al., 2010). El FVH se produce en ausencia de suelo y en condiciones protegidas, donde se controlan algunas variables ambientales como luz, temperatura y humedad. Usualmente se utilizan semillas de maíz, avena, cebada, trigo y sorgo (Juárez-López et al., 2013). La producción de maíz en México, en el año 2016, fue de 27.6 millones de toneladas de las cuales 89 % fue blanco, 10.4 % maíz amarillo y 0.06 % de otros tipos de maíz (ASERCA, 2016). Actualmente no se cuenta con estadísticas oficiales acerca de la producción nacional y mundial de los maíces de color; solamente a nivel estatal existen datos reportados en 2010, 2011 y 2012, en Chiapas (Salinas et al., 2012), Estado de México (Salinas et al., 2010), Sinaloa y Tlaxcala (Agama-Acevedo et al., 2011). El color del maíz se debe al contenido de antocianinas que se encuentran en el endospermo y en la capa de aleurona (Abdel-Aal et al., 2006). Además de dar el color a las plantas, las antocianinas también tienen una serie de beneficios para la salud, ya que pueden proteger contra una variedad de oxidantes a través de un grupo de mecanismos (Kong et al., 2003). Además de proveer alimento a los sistemas de producción pecuaria, el FVH a base de maíces de color contribuye al bienestar animal al proporcionar antioxidantes como son las antocianinas. Debido a lo anterior y aunque el FVH se destina para alimentación del ganado, el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la variedad de maíz criollo de color y la fertilización sobre el comportamiento morfológico y productivo, así como la composición química del FVH.

Enfoque metodológico

Localización

La producción de FVH se llevó a cabo en la Unidad de Producción Agrícola Grupo Tlatenco conformado por productores agrícolas de la Localidad de San Antonio Tlatenco, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla, con latitud norte 19° 10' 27" y longitud oeste 98° 29' 46". La medición de las variables productivas, análisis químico y contenido de antocianinas se realizó en los laboratorios de Semillas y Forrajes del Instituto Tecnológico del Altiplano de Tlaxcala (ITAT), ubicado en la localidad de San Diego Xocoyucan, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala, con latitud norte 19° 18' 26" y longitud oeste 98° 22' 22".

producers in San Antonio Tlaltenco, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. The improved purple variety was obtained from the ITAT seed laboratory. The seeds used during the study did not receive prior chemical treatment for their conservation.

Culture of HGF

HGF production was based on the FAO methodology (2001). A 50 cm wide by 1.5 m long metal structure, with a distance between shelves of 55 cm and a drop gradient of 5 cm, was placed in a space conditioned as a greenhouse, covered with anti-aphid mesh and positioned in such a way as to avoid wind currents and face sunlight to maintain the temperature between 23-25 °C and ventilation. Care was taken to avoid the presence of insects and contamination of the HGF with pathogens.

The seeding density used was 4.5 kg·m⁻² for the four corn varieties. Any material that did not guarantee germination quality was manually removed from the corn seeds. Running potable water was added to one kilogram of seeds, flooding them and any seeds that floated were removed. The seeds were then disinfected with a 1 % sodium hypochlorite solution for three minutes. They were rinsed repeatedly and each kilogram of seeds was placed in an 80 cm x 1.20 cm plastic mesh to drain and remove impurities. Each kilogram of seed was placed in two liters of water for 12 hours. Once pre-germinated, they were placed on the plastic mesh for one hour for oxygenation.

Sowing

The pre-germinated seeds were placed in trays and covered with damp bond paper and black plastic for 48 hours. Irrigation was carried out with a backpack sprinkler from sowing to 48 hours after sowing. NPK-based fertilizer (18-18-18) was added to the water at a dose of 3 g·L⁻¹ of water. Starting with 750 mL per tray, the volume of irrigation water was increased until applying 1.5 L per tray. Irrigations were carried out every four hours four times a day, until one day before harvest. The HGF of the four varieties was harvested 14 days after sowing in a green matter state.

Treatments

The treatments (Table 1) were generated by combining two factors: factor A, which consisted of three native corn varieties (yellow, white and light purple) and one improved variety (purple), and factor B, which consisted of two levels of NPK fertilization (00-00-00 and 18-18-18).

Materiales experimentales. Las variedades criollas de maíces amarillo, blanco y moradillo fueron adquiridas con productores de San Antonio Tlaltenco, San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. La variedad púrpura mejorada, se obtuvo del laboratorio de semillas del ITAT. Las semillas empleadas durante el estudio no recibieron tratamiento químico previo para su conservación.

Cultivo del FVH.

La producción del FVH se basó en la metodología de la FAO (2001). En un espacio acondicionado como invernadero, se colocó una estructura metálica de 50 cm de ancho por 1.5 m de largo, con distancia entre anaquel de 55 cm y gradiente de caída de 5 cm, se cubrió con malla anti-áfida y su ubicación fue evitando corrientes de viento y con posición a la luz solar, para mantener la temperatura entre 23-25 °C y ventilación. Se cuidó minuciosamente para evitar la presencia de insectos y contaminación de los FVH con algún patógeno.

La densidad de siembra empleada fue de 4.5 kg·m⁻², para las cuatro variedades de maíz. A las semillas de maíz se les retiró de manera manual el material que no garantizara calidad para la germinación. A un kilogramo de semillas, se le agregó agua potable corriente inundando el contenido y retirando las semillas que flotaron. Posteriormente, se desinfectó con una solución de hipoclorito de sodio al 1 %, durante tres minutos. Se enjuagaron repetidas veces y cada kilogramo de semillas se colocó en una malla de plástico de 80 cm x 1.20 cm, para escurrir y retirar impurezas. Se continuó colocando cada kilogramo de semilla en dos litros de agua durante 12 horas, ya pre-germinadas se colocaron sobre las mallas de plástico durante una hora para su oxigenación.

Siembra

Las semillas pre-germinadas, se colocaron en charolas, se cubrieron con papel bond húmedo y plástico negro por 48 horas. El riego se realizó con mochila de aspersor, desde la siembra y 48 horas posterior a la siembra, al agua se le adicionó fertilizante a base de NPK (18-18-18), a una dosis de 3 g·L⁻¹ de agua. Iniciando con 750 mL por charola; se fue aumentando el volumen de agua de riego hasta aplicar 1.5 L por charola, los riegos fueron distribuidos cada cuatro horas cuatro veces al día, hasta un día antes de la cosecha. El FVH de las cuatro variedades, se cosechó a los 14 días posteriores a la siembra en estado de materia verde.

Tratamientos

Los tratamientos (Cuadro 1) se generaron con la combinación de dos factores, el factor A que fueron las tres variedades criollas de maíz (amarillo, blanco

Table 1. Treatment design using four corn varieties and two fertilization doses.**Cuadro1. Diseño de tratamientos utilizando cuatro variedades de maíz y dos dosis de fertilización.**

Treatments (T) / Tratamientos (T)	Factor A: Varieties / Factor A: Variedades	Factor B: Fertilization* (mg·L ⁻¹) / Factor B: Fertilización* (mg·L ⁻¹)		
		N	P	K
T1 (White-0) / T1 (Blanco-0)	White / Blanco	0.00	0.00	0.00
T2 (White-180) / T2 (Blanco-180)	White / Blanco	180	180	180
T3 (Yellow-0) / T3 (Amarillo-0)	Yellow / Amarillo	0.00	0.00	0.00
T4 (Yellow-180) / T4 (Amarillo-180)	Yellow / Amarillo	180	180	180
T5 (Light purple-0) / T5 (Moradillo-0)	Light purple / Moradillo	0.00	0.00	0.00
T6 (Light purple-180) / T6 (Moradillo-180)	Light purple / Moradillo	180	180	180
T7 (Purple-0) / T7 (Púrpura-0)	Purple / Púrpura	0.00	0.00	0.00
T8 (Purple-180) / T8 (Púrpura-180)	Purple / Púrpura	180	180	180

* 3 g·L⁻¹ of water of commercial soluble fertilizer %: nitrogen 18.0, nitrate nitrogen 9.80, ammoniacal nitrogen 8.20, phosphorus 18.0, potassium 18.0, magnesium 1.10, sulfur 0.70, boron 0.01, copper 0.019, iron 0.05, manganese 0.05, molybdenum 0.001, zinc 0.019.

* 3 g·L⁻¹ de agua de fertilizante soluble comercial %: nitrógeno 18.0, nitrógeno nítrico 9.80, nitrógeno amoniacal 8.20, fósforo 18.0, potasio 18.0, magnesio 1.10, azufre 0.70, boro 0.01, cobre 0.019, hierro 0.05, manganeso 0.05, molibdeno 0.001, zinc 0.019.

The study variables were evaluated at the time of harvest and were: length and growth rate of the morphological components. The length was measured using a tape measure graduated in centimeters extended on a table. For the root and leaf, the point of greatest length was taken; for the stalk, it was considered from the base of the grain from where the stalk emerged to the point where the leaves were differentiated. The growth rate was calculated using the formula:

$$\text{Growth rate (cm} \cdot \text{d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Component length at harvest}}{\text{Days elapsed to harvest}}$$

Weight of the entire plant and its morphological components

Twenty plants were taken at random from each tray and weighed on a Shimadzu ATY224 model analytical balance. Two groups of 10 plants were formed, one to determine dry matter (DM) in the entire plant and the other for morphological components (root, grain and stalk with leaves); both were subjected to drying according to the AOAC methodology (2010).

The proportion of morphological components was calculated with the data of the weight per plant and per morphological components.

The HGF biomass was weighed with a precision balance (5 200 g x 0.01 g, Ohaus®). With this information and the DM content data, the HGF biomass yield per

y moradillo) y una variedad mejorada (púrpura) y el factor B que fueron los dos niveles de fertilización con NPK (00-00-00 y 18-18-18).

Las variables de estudio se evaluaron al momento de la cosecha y fueron: longitud e índice de crecimiento de los componentes morfológicos. La longitud se midió con ayuda de una cintra métrica graduada en centímetros extendida sobre una mesa. Para raíz y hoja, se tomó el punto de mayor longitud, para el caso del tallo, se consideró desde la base del grano de donde emergía el tallo hasta el punto donde se diferenciaban las hojas. El índice de crecimiento se calculó mediante la fórmula:

$$\text{Índice de crecimiento (cm} \cdot \text{d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Longitud del componente a la cosecha}}{\text{Días transcurridos a la cosecha}}$$

Peso de la planta completa y de sus componentes morfológicos

Se tomaron 20 plantas al azar de cada charola y se pesaron en una balanza analítica marca Shimadzu modelo ATY224. Se formaron dos grupos de 10 plantas, uno para determinar materia seca en la planta completa y otro para componentes morfológicos (raíz, grano y tallo con hojas); ambos se sometieron a secado de acuerdo con la metodología de la AOAC (2010).

La proporción de componentes morfológicos se calculó con los datos del peso por planta y por componentes morfológicos.

kilogram of corn was calculated. The biomass yield per square meter was also obtained using a rule of three, based on the biomass yield and the area (2 220 cm²) of the trays.

Bromatological analysis

At harvest time, samples were taken and kept refrigerated. Subsequently, analyses were carried out for the content of moisture, ash, crude protein (CP), ether extract (EE), crude fiber (CF) and nitrogen-free extract (NFE) using the corresponding methods according to the AOAC (2010). The NFE was calculated by subtracting, with respect to 100 %, the fractions of ash, crude protein, ether extract, and crude fiber.

Anthocyanin content

Using the total monomeric anthocyanin pigment content technique (Lee et al., 2005) and the differential pH method, two buffers were used: potassium chloride (KCl); pH 1.0 (0.025 M), and sodium acetate (CH₃COONa); pH 4.5 (0.4 M). Using a Jenway 7305 UV-visible spectrophotometer, measurements were taken at 520 and 700 nm. For anthocyanin extraction, 0.5 g of ground sample (0.85 mm) was mixed with 9.0 mL of distilled water in a 40-mL beaker. To obtain the supernatant, the beaker was placed on an electric grill with stirring for 20 min; after the time had elapsed, the supernatant was kept at rest for three hours in refrigeration on 40-micron filter paper in a 40-mL beaker. Buffers were prepared at pH 1.0 and 4.5; once the content was filtered, it was placed in a kimax culture tube. For the reading, a sample of 0.5 mL of the supernatant was taken and 4.5 mL of buffer solution at pH 1 was added and in another tube containing 0.5 mL of the supernatant 4.5 mL of buffer solution at pH 4.5 was added. The monomeric anthocyanin content was calculated as cyanidin-3-glucoside, using the formula:

$$\text{Anthocyanin concentration (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

Where:

A = Change in absorbance read at wavelength (520nm-700nm) pH 1.0 (520nm-700nm) pH 4.5

MW = Molecular weight for cyanidin-3-glucoside 449.2 g·mol⁻¹

DF = Dilution factor

10³ = Conversion factor from g to mg

ε = Molar extinction coefficient for cyanidin-3-glucoside 26900 L·mol⁻¹·cm⁻¹

L = Optical cell path 1 cm

La biomasa del FVH se pesó con una balanza de precisión (5 200 g x 0.01 g, Ohaus®), con esta información y con los datos del contenido de MS, se procedió a realizar el cálculo del rendimiento de biomasa de FVH por kilogramo de maíz. También se obtuvo el rendimiento de biomasa por metro cuadrado, mediante una regla de tres, partiendo del rendimiento de biomasa y del área (2 220 cm²) de las charolas.

Análisis bromatológico

Al momento de la cosecha se tomaron muestras y se mantuvieron en refrigeración. Posteriormente se realizaron los análisis del contenido de humedad, cenizas, proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC) y extracto libre de nitrógeno (ELN) empleando los métodos correspondientes según la AOAC (2010). El ELN fue calculado mediante la sustracción, con respecto al 100 % de las fracciones de ceniza, proteína cruda, extracto etéreo, y fibra cruda.

Contenido de antocianinas

Con la técnica del contenido total de pigmentos de antocianinas monoméricas (Lee et al., 2005) y el método de pH diferencial, se utilizaron dos buffers: cloruro de potasio (KCl); pH 1.0 (0.025 M), y acetato de sodio (CH₃COONa), pH 4.5 (0.4 M). Con un espectrofotómetro UV- visible Jenway 7305, se realizaron las mediciones a 520 y a 700 nm. Para la extracción de antocianinas, se mezclaron 0.5 g de muestra molida (0.85 mm) con 9.0 mL de agua destilada, en un vaso de precipitado de 40 mL. Para la obtención del sobrenadante, se colocó el vaso de precipitado en la parrilla eléctrica con agitador durante 20 min, una vez transcurrido el tiempo, el sobrenadante se mantuvo en reposo por tres horas en refrigeración en papel filtro de 40 micras dentro de un vaso de precipitado de 40 mL, se prepararon los buffers a pH de 1.0 y 4.5; una vez filtrado el contenido se depositó en un tubo de cultivo kimbox. Para la lectura, se tomó una muestra de 0.5 mL del sobrenadante y se agregaron 4.5 mL de solución buffer a pH 1 y en otro tubo que contenía 0.5 mL del sobrenadante se agregaron 4.5 mL de solución buffer a pH 4.5. El contenido de antocianinas monoméricas fue calculado como cianidina-3-glucósido, mediante la fórmula:

$$\text{Concentración de antocianinas (mg} \cdot \text{L}^{-1}\text{)} = \frac{A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 10^3}{\epsilon \times l}$$

Donde:

A = Cambio de la absorbancia leída a longitud de onda (520nm-700nm) pH 1.0 (520nm-700nm) pH 4.5

Experimental design and data analysis

The two factors (varieties and fertilization) and their interaction were evaluated, forming eight treatments. A randomized complete block design with a factorial arrangement (4 x 2) was used and Tukey's range test was applied with a significance level of 5 %. The statistical analysis of the data was performed with InfoStat® version 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Statistical model

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Where:

Y_{ijk} = Response variable. μ = Overall mean.

α_i = Effect of the i -th corn variety.

β_j = Effect of the j -th fertilization level.

$\alpha\beta_{ij}$ = Effect of the interaction of variety and fertilization level.

ε_{ijk} = Experimental error

Three replicates were considered for: biomass production per kilogram of corn, HGF yield per square meter, and bromatological and anthocyanin analysis; there was a total of 30 experimental units (plants) for length and growth rate, yield per plant and by morphological components.

Results and discussion

Length and growth rate of the main components

Root length, in the HGF from the yellow, light purple and purple varieties, ranged from 14.91 to 17.56 cm, while the HGF from white corn only reached 11.76 cm; as for root growth rate (GR), the HGF from light purple and purple corns were different from those from yellow and white corns. In stalk length, the white corn HGF had the lowest values in length and GR ($P \leq 0.05$), while in leaf length there was no significant difference ($P \geq 0.05$) for any of the HGFs. In general, the values for root and stalk length were the same in the HGF from the light purple and purple corns, but different with respect to the white corn HGF, and all corn varieties showed no difference in leaf length and GR. On the other hand, with respect to fertilization, the mean values of root and leaf length did not show significant differences ($P \geq 0.05$), but there were differences for stalk length when fertilization was applied (Table 2).

MW = Peso molecular para cianidina-3-glucósido 449.2 g·mol⁻¹

DF = Factor de dilución.

103 = Factor de conversión de g a mg.

ε = Coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido 26900 L·mol⁻¹·cm⁻¹

L = camino óptico de celda 1 cm

Diseño experimental y análisis de los datos

Se evaluaron los dos factores (variedades y fertilización) y también su interacción, conformando ocho tratamientos. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con arreglo factorial (4 x 2) y se aplicó la prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 %. El análisis estadístico de los datos se realizó con InfoStat® versión 2020 (Di Rienzo et al., 2020).

Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta. μ = Media general.

α_i = Efecto de la i -ésima variedad de maíz.

β_j = Efecto del j -ésimo nivel de fertilización.

$\alpha\beta_{ij}$ = Efecto de la interacción de la variedad y nivel de fertilización.

ε_{ijk} = Error experimental

Se consideraron tres repeticiones para: producción de biomasa por kilogramo de maíz, rendimiento de FVH por metro cuadrado, análisis bromatológicos y antocianinas; y un total de 30 unidades experimentales (plantas) para longitud e índice de crecimiento, rendimiento por planta y por componentes morfológicos.

Resultados y discusión

Longitud e índice de crecimiento de los componentes principales

La longitud de la raíz, en el FVH proveniente de las variedades amarillo, moradillo y púrpura, presentaron valores de 14.91 a 17.56 cm, mientras que el FVH de maíz blanco solo alcanzó 11.76 cm; en el índice de crecimiento (IC) de la raíz los FVH de maíces moradillo y púrpura fueron diferentes de los maíces amarillo y blanco. En la longitud del tallo, el FVH de maíz blanco presentó los menores valores en longitud e IC ($P \leq 0.05$), mientras que en longitud de hoja no hubo

Table 2. Length (cm) and growth rate (GR, cm-d⁻¹) of the morphological components of hydroponic green fodders according to variety and fertilization dose (NPK).**Cuadro 2. Longitud (cm) e índice de crecimiento (IC, cm-d⁻¹) de los componentes morfológicos de los forrajes verdes hidropónicos de acuerdo con la variedad y la dosis de fertilización (NPK).**

Factor	Root / Raíz		Stalk / Tallo		Leaf / Hoja	
	Length / Longitud	GR / IC	Length / Longitud	GR / IC	Length / Longitud	GR / IC
Variety / Variedad						
White / Blanco	11.76 ^b	0.98 ^b	4.65 ^b	0.33 ^b	9.65 ^a	0.69 ^a
Yellow / Amarillo	14.91 ^a	0.96 ^b	5.75 ^a	0.41 ^a	8.55 ^a	0.61 ^a
Light purple / Moradillo	15.34 ^a	1.19 ^a	6.50 ^a	0.46 ^a	11.05 ^a	0.79 ^a
Purple / Púrpura	17.56 ^a	1.13 ^{ab}	6.25 ^a	0.44 ^a	10.49 ^a	0.75 ^a
Standard error / Error Estándar	0.78	0.06	0.23	0.02	0.78	0.06
Fertilization / Fertilización						
00-00-00	15.18 ^a	0.95 ^b	5.55 ^b	0.40 ^a	09.50 ^a	0.68 ^a
18-18-18	14.61 ^a	1.18 ^a	6.03 ^a	0.43 ^a	10.37 ^a	0.74 ^a
Standard error / Error Estándar	0.55	0.32	0.16	0.01	0.57	0.04

^{ab}Different letters in the same column and for each factor indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

^{ab}Letras distintas en una misma columna y por cada factor indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

Length and growth rate of morphological components interactions

Table 3 shows the length and growth rate of the morphological components of the colored native corn plant. The treatment corresponding to the purple corn HGF had the longest root length ($P \leq 0.05$); the yellow and light purple varieties were similar in all treatments, while the treatments with the shortest length were the white corn HGFs. Regarding stalk length, it was found that purple corn without and with fertilization presented 4.9 and 7.6 cm, with the other treatments being in this range. This indicates that fertilization in the purple corn HGF influenced stalk length, but not leaf length, where there was no significant difference ($P \geq 0.05$) among the eight treatments.

HGFs represent a productive alternative since the growth rate in the early stages of crop development is very fast, to the point that, at 14 days, when harvesting took place, the sum of root, stalk and leaf in the eight treatments exceeded 25 cm. This result was similar to that indicated by Ramírez & Soto (2017), who reported an average height of 28.13 cm in corn HGF, with two levels of mineral fertilization in 11 days of the process. It was also greater than that found by Vargas-Rodríguez (2008), since at 12 days of harvest the reported height was 22 cm. Likewise, the results of this work exceeded the 25 cm reported by Chavarría-Torrez & Castillo-Castro (2018) who recorded the height at 14 days of the process.

diferencia significativa ($P \geq 0.05$) para ninguno de los FVH. En general los valores en longitud de raíz y tallo fueron iguales en los FVH de los maíces moradillo y púrpura, pero diferentes con respecto al FVH de maíz blanco; y todas las variedades de maíces no presentaron diferencia en longitud e IC de hoja. Por otra parte, con respecto a la fertilización, los valores medios de longitud en raíz y hoja no manifestaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$), pero sí hubo diferencias para longitud del tallo, esto cuando se aplicó fertilización (Cuadro 2).

Longitud e índice de crecimiento de componentes morfológicos interacciones

En el Cuadro 3 se presenta la longitud e índice de crecimiento de los componentes morfológicos de la planta de maíz criollo de color, y se observa que el tratamiento correspondiente al FVH de maíz púrpura tuvo la mayor longitud de raíz ($P \leq 0.05$), las variedades amarilla y moradilla fueron similares en todos los tratamientos, mientras que los tratamientos con menor longitud fueron los FVH de maíz blanco. En cuanto a la longitud de tallo, se encontró que el maíz púrpura sin y con fertilización presentaron 4.9 y 7.6 cm, en dicho rango se encontraron los demás tratamientos. Esto indica que la fertilización en el FVH de maíz púrpura se tuvo efecto en la longitud del tallo, pero no así para longitud de hoja, en donde no hubo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) entre los ocho tratamientos.

Table 3. Length (cm) and growth rate (cm-d⁻¹) by morphological component of hydroponic green fodders.
Cuadro 3. Longitud (cm) e índice de crecimiento (cm-d⁻¹) por componente morfológico de los forrajes verdes hidropónicos.

Variety-fertilization / Variedad-fertilización	Root / Raíz		Stalk / Tallo		Leaf / Hoja	
	Length / Longitud	GR / IC	Length / Longitud	GR / IC	Length / Longitud	GR / IC
White-0 / Blanco-0	10.90 ^c	0.78 ^c	4.70 ^d	0.34 ^d	9.4 ^a	0.67 ^a
White-180 / Blanco-180	12.63 ^{bc}	1.17 ^{ab}	4.60 ^d	0.33 ^d	9.9 ^a	0.71 ^a
Yellow-0 / Amarillo-0	15.19 ^{abc}	0.90 ^{bc}	5.90 ^{bcd}	0.42 ^{abcd}	7.5 ^a	0.54 ^a
Yellow-180 / Amarillo-180	14.63 ^{abc}	1.02 ^{abc}	5.60 ^{bcd}	0.40 ^{bcd}	9.6 ^a	0.69 ^a
Light purple-0 / Moradillo-0	16.44 ^{ab}	1.08 ^{abc}	6.70 ^{ab}	0.48 ^{ab}	11.0 ^a	0.79 ^a
Light purple-180 / Moradillo-180	14.25 ^{abc}	1.30 ^a	6.30 ^{abc}	0.45 ^{abc}	11.1 ^a	0.79 ^a
Purple-0 / Púrpura-0	18.19 ^a	1.04 ^{abc}	4.90 ^{cd}	0.35 ^{cd}	10.1 ^a	0.72 ^a
Purple-180 / Púrpura-180	16.94 ^{ab}	1.21 ^{ab}	7.60 ^a	0.53 ^a	10.8 ^a	0.78 ^a
Standard error / Error estándar	0.55	0.08	0.33	0.02	1.10	0.08

^{abcd}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). 0 doses of 0-0-0 in N-P-K and 180: 180-180-180 in N-P-K.

^{abcd}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). 0 dosis de 0-0-0 en N-P-K y 180: 180-180-180 en N-P-K.

Total weight per plant and by morphological component

Regarding total plant weight in green matter (GM), the treatments of white corn without fertilization, light purple corn with and without fertilization, and purple corn without fertilization were equal, although not in DM ($P \leq 0.05$). The HGF treatments of the light purple and purple corns in their two fertilization conditions (without and with) had a greater weight. The lack of coincidence of the treatments in both GM and DM is attributed to the fact that biomass on a DM basis is influenced by the moisture content. Therefore, in terms of the morphological components on a DM basis, the grain made up the greatest weight of the HGF biomass, followed by the stalk with leaves and finally the root (Table 4). However, it was also observed that the HGF of the light purple and purple corns had a greater weight in the stalk with leaves and root components.

Ratio of morphological components

Regarding DM yield by component, the ratio of stalk with leaves, grain and root was generally 2:7:1. The HGFs of light purple and purple corns without fertilization had 24 % of their weight in stalk with leaves, while the HGFs of white and yellow corns had a greater weight in the grain component, but lower in root together with the purple treatment with fertilization (Figure 1). Cuesta & Machado (2009) highlight the fact that the

Los FVH representan una alternativa productiva ya que la velocidad de crecimiento en las primeras etapas de desarrollo del cultivo es muy rápida, al grado que, a los 14 días, momento en que se llevó a cabo la cosecha, la suma de raíz, tallo y hoja en los ocho tratamientos superó los 25 cm, este resultado fue similar al indicado por Ramírez & Soto (2017), quienes reportaron una altura promedio de 28.13 cm en FVH de maíz, con dos niveles de fertilización mineral en 11 días de proceso. Y fue mayor a lo encontrado por Vargas-Rodríguez (2008), ya que a los 12 días de cosecha la altura reportada fue de 22 cm. De igual manera, los resultados de este trabajo superaron los 25 cm reportados por Chavarría-Torrez & Castillo-Castro (2018) quienes registraron la altura a los 14 días del proceso.

Peso total por planta y por componente morfológico

En cuanto al peso total de la planta en materia verde (MV), los tratamientos de maíz blanco sin fertilización, moradillo con y sin fertilización, y púrpura sin fertilización fueron iguales, aunque no en MS ($P \leq 0.05$), los tratamientos de FVH de maíces moradillo y púrpura en sus dos condiciones de fertilización (sin y con) presentaron mayor peso. La falta de coincidencia de los tratamientos tanto en MV como en MS, se atribuye a que la biomasa en base MV, está influenciada por el contenido de humedad. Por lo que, en cuanto a los componentes morfológicos en base MS, el grano conformó el mayor peso de la biomasa del FVH, seguido de tallo con hojas

Table 4. Weight (g) of the plant and morphological components of the HGFs of the treatments.
Cuadro 4. Peso (g) de la planta y de los componentes morfológicos de los FVH de los tratamientos.

Treatment / Tratamiento	Plant / Planta		Stalk with leaves / Tallo con hojas		Grain / Grano		Root / Raíz	
	GM / MV	DM / MS	GM / MV	DM / MS	GM / MV	DM / MS	GM / MV	DM / MS
White-0 / Blanco-0	1.85 ^a	0.35 ^{bc}	0.69 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.65 ^{ab}	0.27 ^a	0.35 ^a	0.02 ^e
White-180 / Blanco-180	1.46 ^c	0.28 ^d	0.63 ^b	0.07 ^{ab}	0.62 ^{ab}	0.23 ^{ab}	0.28 ^b	0.03 ^d
Yellow-0 / Amarillo-0	1.71 ^b	0.33 ^c	0.77 ^{ab}	0.07 ^{ab}	0.76 ^a	0.23 ^{ab}	0.33 ^{ab}	0.04 ^c
Yellow-180 / Amarillo-180	1.48 ^c	0.29 ^d	0.72 ^{ab}	0.06 ^b	0.53 ^b	0.25 ^{ab}	0.36 ^a	0.04 ^{bc}
Light purple-0 / Moradillo-0	1.84 ^a	0.37 ^{ab}	0.93 ^a	0.08 ^{ab}	0.51 ^b	0.21 ^b	0.32 ^{ab}	0.05 ^b
Light purple-180 / Moradillo-180	1.96 ^a	0.39 ^a	0.90 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.59 ^b	0.22 ^{ab}	0.36 ^a	0.06 ^a
Purple-0 / Púrpura-0	1.85 ^a	0.37 ^{ab}	0.82 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.65 ^{ab}	0.20 ^b	0.31 ^{ab}	0.05 ^b
Purple-180 / Púrpura-180	1.68 ^b	0.36 ^b	0.72 ^{ab}	0.08 ^{ab}	0.62 ^{ab}	0.25 ^{ab}	0.33 ^{ab}	0.05 ^a
Standard error / Error estándar	0.03	0.01	0.06	0.0003	0.03	0.01	0.01	0.0001

^{abcde}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). 0 doses of 0-0-0 in N-P-K and 180: 180-180-180 in N-P-K.
^{abcde}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). 0 dosis de 0-0-0 en N-P-K y 180: 180-180-180 en N-P-K.

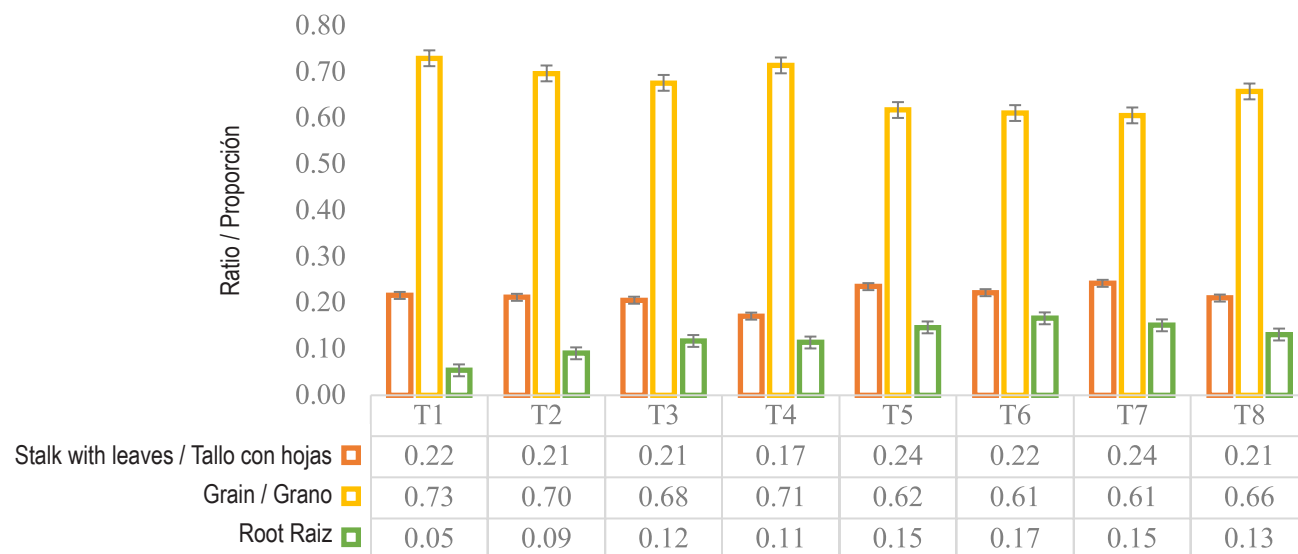


Figure 1. Proportion of morphological components in dry matter of the hydroponic green fodders of the eight treatments.
T1-White-0, T2-White-180, T3-Yellow-0, T4-Yellow-180, T5-Light purple-0, T6-Light purple-180, T7-Purple-0, T8-Purple-180.

Figura 1. Proporción de componentes morfológicos en materia seca de los forrajes verdes hidropónicos de los ocho tratamientos.
T1-Blanco-0, T2-Blanco-180, T3-Amarillo-0, T4-Amarillo-180, T5-Moradillo-0, T6-Moradillo-180, T7-Púrpura-0, T8-Púrpura-180.

section of the corn seedling with the best nutritional conditions for broilers is the aerial part, which in all aspects presents higher nutritional levels. However, in this study the highest proportion was obtained in the grain of the HGFs of the eight treatments, in which percentages of 61 to 73 % of the total plant components were recorded.

Biomass yield

The purple corn-based HGF with fertilization (T8) outperformed the rest of the treatments ($P \leq 0.05$) in terms of biomass yield per kilogram of corn, both in GM and DM, recording 4 855.0 and 1 044.2 g, respectively, within which the white corn-based HGF presented the lowest DM yields with 696.02 and 747.36 g, respectively. Cuesta & Machado (2009), in their study using native corn with small grains, point out that if they had used improved corn and large grains, it would have allowed them to produce more vigorous plants and, therefore, with greater weight. This explains the behavior of the improved purple corn HGF, with respect to the HGF of the rest of the corns. In the case of the biomass yield variable ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), with respect to GM, no significant differences were found among treatments; numerically, the highest results were found in the light purple and purple corn treatments under the two fertilization conditions (Table 5).

y finalmente la raíz (Cuadro 4). Sin embargo, también se observó que los FVH de los maíces de moradillo y púrpura presentaron mayor peso en el componente tallo con hojas y en raíz.

Proporción de los componentes morfológicos

Con respecto a rendimiento en MS por componente, de manera general la proporción tallo con hojas, grano y raíz fue 2:7:1. Los FVH de maíces moradillo y púrpura sin fertilización presentaron el 24 % de peso en tallo con hojas, mientras que, los FVH de maíces Blanco y Amarillo presentaron mayor peso en el componente grano, pero menor en raíz junto con el tratamiento púrpura con fertilización (Figura 1). Cuesta & Machado (2009) destacan el hecho de que la sección de la plántula de maíz con mejores condiciones nutricionales para los pollos de engorda es la parte aérea, que en todos los aspectos presenta mayores niveles nutricionales. Sin embargo, en este estudio la mayor proporción se obtuvo en el grano de los FVH de los ocho tratamientos, en los cuales se registraron porcentajes del 61 al 73 % del total de los componentes de la planta.

Rendimiento en biomasa

El FVH a base de maíz púrpura con fertilización (T8) superó al resto de los tratamientos ($P \leq 0.05$) en cuanto a

Table 5. Biomass yield in GM and DM per kilogram of corn and per square meter of the HGFs of the 8 treatments.

Cuadro 5. Rendimiento de biomasa en MV y MS por kilogramo de maíz y por metro cuadrado de los FVH de los 8 tratamientos.

Treatment / Tratamiento	Biomass yield ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) / Rendimiento de biomasa ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)		Biomass yield ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) / Rendimiento de biomasa ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$)	
	GM / MV	DM / MS	GM / MV	DM / MS
White-0 / Blanco-0	3874 ^{bc}	747.36 ^e	6022.17 ^a	1161.07 ^{abc}
White-180 / Blanco-180	3614 ^c	696.02 ^f	4694.38 ^a	907.89 ^c
Yellow-0 / Amarillo-0	4345 ^{abc}	825.21 ^d	5883.94 ^a	1112.06 ^{abc}
Yellow-180 / Amarillo-180	3784 ^{bc}	753.28 ^e	4638.11 ^a	917.42 ^c
Light purple-0 / Moradillo-0	4265 ^{abc}	873.78 ^c	5674.96 ^a	1155.99 ^{abc}
Light purple-180 / Moradillo-180	4444 ^{ab}	904.08 ^b	6240.89 ^a	1256.92 ^{ab}
Purple-0 / Púrpura-0	4413 ^{ab}	894.51 ^{bc}	5400.45 ^a	1076.31 ^{bc}
Purple-180 / Púrpura-180	4855 ^a	1044.21 ^a	6261.26 ^a	1348.05 ^a
Standard error / Error estándar	135.77	3.83	606.56	47.16

^{abc}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). 0 doses of 0-0-0 in N-P-K and 180: 180-180-180 in N-P-K.

^{abc}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). 0 dosis de 0-0-0 en N-P-K y 180: 180-180-180 en N-P-K.

The weight ratio of the HGF seed and biomass in both GM or DM is a very important measure in the production of this type of fodder, with which it is possible to estimate the number of seeds that must be produced according to the feeding needs of the determined species. The ratio indicated by Vargas-Rodríguez (2008) for the seed: biomass of corn-based HGF is 1:4.3. The above agrees with the results obtained in the yellow-0, light purple-180 and purple treatments in their two presentations, the purple one being fertilized with 1:4.85. Although the yield reported by Juárez-López et al. (2013) of one kg of seed per seven kg of fodder was not reached with any of the treatments, neither was the yield reported by Elizondo (2005) who reports that 9 kg of biomass can be obtained from 1 kg of seed. The results obtained by these authors can be attributed to the fact that green fodder production can vary depending on the quality of the seed and the nutrient solution used in the process (Narváez-Herrera et al., 2022). In the present study, the biomass yield in GM ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) did not show differences among the eight treatments ($P \geq 0.05$), but there was a difference in the biomass yield on a DM basis ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) where the HGF based on improved purple corn and with fertilization (T8) presented the highest yield, followed by the rest of the HGFs (Table 5).

Bromatological analysis

Light purple and purple corns had higher ash content, but lower crude protein content, while in the EE, CF and NFE components there were no significant differences between any of the HGFs. However, the effect of fertilization application on the increase in the quality of the HGFs was reflected in almost all bromatological variables, except for CP and CF, since their contents decreased, recording a difference of 1.7 and 1.18 %, respectively, between the two fertilization conditions (Table 6).

The eight treatments presented statistical differences ($P \leq 0.05$) for all bromatological variables; the DM content recorded was 18.90 to 21.53 %, indicating that the HGFs contained different amounts of moisture at the time of harvest. The ash content was between 1.94 and 2.51 %. The CP contents had values around 11 % for the light purple treatments without and with fertilization, 12 % for purple corn without fertilization, 13 % for white corn without fertilization, as well as yellow and purple corns with fertilization, and 14 % for the fertilized white corn and yellow corn without fertilization.

Regarding the EE content in the HGFs, a marked behavior was observed according to the variety without the influence of fertilization, showing statistical equality by pairs of treatments, and in CF the difference was

rendimiento de biomasa por kilogramo de maíz, tanto en MV como en MS, registrando 4 855.0 y 1 044.2 g respectivamente, dentro de los cuales el FVH a base de maíz blanco presentó los menores rendimientos en MS con 696.02 y 747.36 g, respectivamente. Cuesta & Machado (2009), en su estudio utilizando maíz criollo con granos pequeños mencionan que, de haber utilizado maíz mejorado y granos grandes, les habría permitido la producción de plantas más vigorosas y, por tanto, con mayor peso. Lo anterior explica el comportamiento del FVH del maíz púrpura mejorado, con respecto al FVH del resto de los maíces. En el caso de la variable rendimiento de biomasa ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), respecto a MV, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos; numéricamente los mayores resultados se encontraron en los tratamientos de los maíces morado y púrpura bajo las dos condiciones de fertilización (Cuadro 5).

La relación peso de la semilla y biomasa del FVH tanto en MV o MS es una medida muy importante en la producción de este tipo de forrajes, con lo cual es posible estimar la cantidad de semillas que se deben producir de acuerdo con las necesidades de alimentación en las especies determinadas. La relación indicada por Vargas-Rodríguez (2008), para la semilla: biomasa de FVH de maíz es de 1:4.3. Lo anterior concuerda con los resultados obtenidos en los tratamientos amarillo-0, Moradillo-180 y púrpura en sus dos presentaciones, siendo el púrpura con fertilización con 1:4.85. Aunque no se alcanzó con ninguno de los tratamientos el rendimiento que reportan Juárez-López et al. (2013) de un kg de semilla por siete kg de forraje; ni tampoco a lo reportado por Elizondo (2005) quien menciona que a partir de 1 kg de semilla se pueden obtener 9 kg de biomasa. Los resultados obtenidos por estos autores se pueden atribuir a que la producción de forraje verde puede variar dependiendo de la calidad de semilla y de la solución nutritiva empleada en el proceso (Narváez-Herrera et al., 2022). En el presente estudio, el rendimiento de biomasa en MV ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) no mostró diferencias entre los ocho tratamientos ($P \geq 0.05$), pero si en el rendimiento de biomasa en base MS ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$) donde el FVH a base de maíz púrpura mejorado y con fertilización (T8) presenta el mayor rendimiento, seguido por el resto de los FVH (Cuadro 5).

Análisis bromatológico

Los maíces morado y púrpura contaron con más contenido de cenizas, pero menor contenido de proteína cruda, mientras que en los componentes EE, FC y ELN no se tuvieron diferencias significativas entre ninguno de los FVH. Sin embargo, el efecto de la aplicación de fertilización en el aumento de la calidad de los FVH se reflejó en casi todas las variables bromatológicas,

Table 6. Bromatological composition of hydroponic green fodders by variety and fertilization (NPK). Cuadro 6. Composición bromatológica de los forrajes verdes hidropónicos por variedad y fertilización (NPK).

Factor / Factor	DM / MS	Ash / Ceniza	CP / PC	EE	CF / FC	NFE / ELN
Variety / Variedad						
White / Blanco	19.12 ^c	2.13 ^c	13.22 ^b	7.97 ^a	12.76 ^a	64.03 ^a
Yellow / Amarillo	19.53 ^{bc}	2.41 ^a	13.65 ^a	7.69 ^a	13.36 ^a	62.90 ^a
Light purple / Moradillo	20.26 ^{ab}	2.29 ^{ab}	12.04 ^d	7.86 ^a	13.36 ^a	64.35 ^a
Purple / Púrpura	20.73 ^a	2.23 ^{bc}	12.70 ^c	8.00 ^a	12.90 ^a	64.18 ^a
Standard error / Error Estándar	0.23	0.30	0.05	0.32	0.15	0.59
Fertilization / Fertilización						
00-00-00	19.62 ^b	2.18 ^b	13.75 ^a	7.29 ^b	14.10 ^a	62.67 ^b
18-18-18	20.20 ^a	2.35 ^a	12.05 ^b	8.47 ^a	12.08 ^b	65.07 ^a
Standard error / Error Estándar	0.16	0.02	0.04	0.23	0.11	0.42

^{abcd}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). DM Dry matter, CP crude protein, EE ether extract, CF crude fiber, NFE nitrogen free extract.

^{abcd}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). MS Materia seca, PC proteína cruda, EE extracto etéreo, FC fibra cruda, ELN extracto libre de nitrógeno.

noted ($P \leq 0.05$) by the color of the corn varieties, where white and yellow corns obtained from 13.62 to 14.64 % CF, and the treatments with lower values (11.87 to 12.01) were the light purple and purple corns (Table 7). The NFE results show that, in general, the content was over 60 %, with the purple corn-based FVH treatments standing out (Figure 2). Although the NFE is an indirect calculation of the soluble carbohydrates present in food, it can be said that the results are indicative of the composition of food and in this case of the HGFs.

The compositional results in the present study obtained lower values than the results of Soto-Bravo & Ramírez-Viquez (2018), who worked with corn variety Diamantes 8 843, with white-colored grain, for HGF without fertilization, with low nutrition and with high nutrition and reported values of 4.10, 4.07 and 5.32 % for ash, 19.27, 20.06 and 20.69 % for protein, 19.61, 18.75 and 18.50 for crude fiber and 7.95, 7.50 and 6.87 for EE, respectively. Although in another study, Narváez-Herrera & Guerrero-Guerrero (2022) reported that HGF and organoponic green fodder (OGF) based on yellow corn (hybrid, FNC 115) had ash contents of 6.54 and 5.41 % and protein contents of 16.65 and 15.75%. This may be due to the genetic material used, since they used improved corn seeds, which contrasts with those obtained in this work, since native corns were studied, although the improved purple corn stood out in some variables. The above agrees with the results of García et al. (2017), who determined protein in HGF of QPM

a excepción de PC y FC, ya que sus contenidos disminuyeron registrando una diferencia de 1.7 y 1.18 %, respectivamente, entre las dos condiciones de fertilización (Cuadro 6).

Los ocho tratamientos presentaron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) para todas las variables bromatológicas, el contenido de MS, registrado fue 18.90 a 21.53 %, lo que indica que los FVH contenían diferente cantidad de humedad en el momento de la cosecha. El contenido de cenizas fue de entre 1.94 y 2.51 %. Los contenidos de PC tuvieron valores alrededor del 11 % para los tratamientos moradillo sin y con fertilización, de 12 % para el maíz púrpura sin fertilización, de 13 % para el maíz blanco sin fertilización, amarillo y púrpura con fertilización y 14 % para los tratamientos blanco fertilizado y amarillo sin fertilización.

En cuanto al contenido de EE en los FVH, se observó un comportamiento marcado de acuerdo con la variedad sin que influyera la fertilización, al mostrar igualdad estadística por pares de tratamientos, y en FC se notó la diferencia ($P \leq 0.05$) por el color de las variedades de maíces, en donde los maíces blanco y amarillo obtuvieron de 13.62 a 14.64 % de FC, y los tratamientos con menores valores (11.87 a 12.01) fueron los maíces moradillo y púrpura (Cuadro 7). Los resultados de ELN mostraron que, en general un contenido sobre el 60 %, sobresaliendo los tratamientos del FVH a base de maíz púrpura (Figura 2). Aunque el ELN es un cálculo

corn and native corn, finding values of 19.86 and 14.45 %, respectively, at 17 days of cultivation.

The results of Rodríguez & Veloz (2022) differ from those of the present research in EE (3.22, 3.27 and 3.90) and CF (4.70, 3.80 and 5.20) and are similar in ash (2.68, 2.38 and 2.89) and CP (14.20, 15.22 and 13.42) contents of HFG from corn harvested at 15, 18 and 21 days. Thus, García-Carrillo et al. (2013) report, in HFG from the

indirecto de los carbohidratos solubles presentes en los alimentos, se puede decir que los resultados son un indicativo de la composición de los alimentos y en este caso de los FVH.

Los resultados de composición en el presente estudio obtuvieron menores valores que los resultados de Soto-Bravo & Ramírez-Viquez (2018), quienes trabajaron con maíz diamante 8 843, grano color blanco para FVH

Table 7. Bromatological composition of the hydroponic green fodders of the eight treatments.
Cuadro 7. Composición Bromatológica de los forrajes verdes hidropónicos de los ocho tratamientos.

Treatment / Tratamiento	DM / MS	Ash / Ceniza	Protein / Proteína	Ether extract / Extracto etéreo	Crude fiber / Fibra bruta	Nitrogen free extract / Extracto libre de nitrógeno
White-0 / Blanco-0	20.37 ^{ab}	2.37 ^{abc}	13.00 ^c	8.41 ^{ab}	14.29 ^a	63.89 ^{bc}
White-180 / Blanco-180	19.93 ^b	1.94 ^e	14.10 ^a	8.03 ^{ab}	13.78 ^a	62.80 ^c
Yellow-0 / Amarillo-0	18.90 ^b	2.01 ^{de}	14.07 ^a	6.41 ^b	13.62 ^a	61.85 ^c
Yellow-180 / Amarillo-180	19.28 ^b	2.38 ^{abc}	13.84 ^e	6.32 ^b	14.64 ^a	62.14 ^c
Light purple-0 / Moradillo-0	20.14 ^{ab}	2.20 ^{cd}	11.07 ^e	7.52 ^{ab}	12.36 ^b	64.18 ^{bc}
Light purple-180 / Moradillo-180	21.53 ^a	2.51 ^a	11.30 ^e	7.97 ^{ab}	12.01 ^b	62.99 ^c
Purple-0 / Púrpura-0	19.34 ^b	2.24 ^{bc}	12.37 ^d	9.32 ^a	11.87 ^b	66.84 ^a
Purple-180 / Púrpura-180	19.78 ^b	2.42 ^{ab}	13.47 ^b	9.05 ^a	12.06 ^b	66.21 ^{ab}
Standard error / Error Estándar	0.03	0.04	0.07	0.43	0.21	0.48

^{abc}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). 0 doses of 0-0-0 in N-P-K and 180: 180-180-180 in N-P-K.
^{abc}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). 0 dosis de 0-0-0 en N-P-K y 180: 180-180-180 en N-P-K.

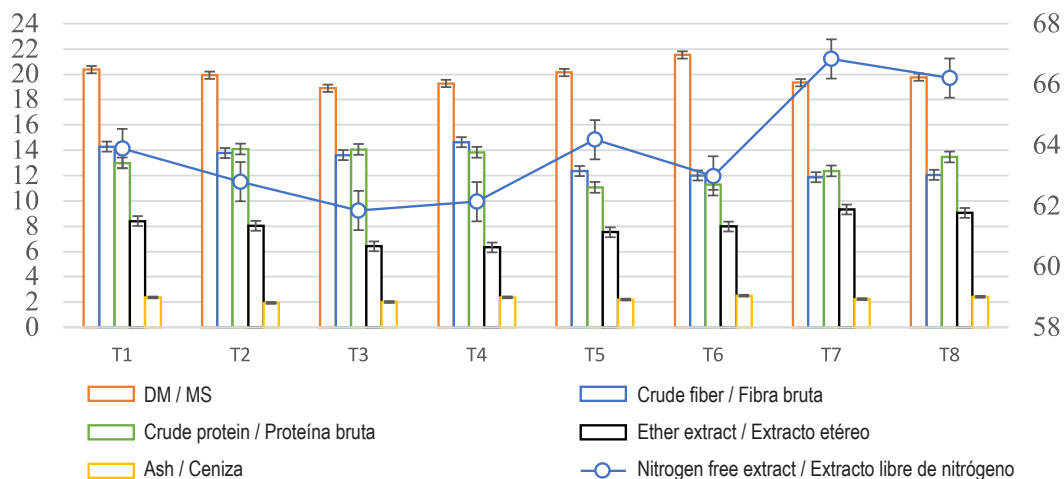


Figure 2. Bromatological composition (%) of the hydroponic green fodders of the eight treatments. T1-White-0, T2-White-180, T3-Yellow-0, T4-Yellow-180, T5-Light purple-0, T6-Light purple-180, T7-Purple-0, T8-Purple-180.
Figura 2. Composición bromatológica (%) de los forrajes verdes hidropónicos de los ocho tratamientos. T1-Blanco-0, T2-Blanco-180, T3-Amarillo-0, T4-Amarillo-180, T5-Moradillo-0, T6-Moradillo-180, T7-Púrpura-0, T8-Púrpura-180.

native corn variety "San Lorenzo," a protein content of 15.5 % and a fat content of 6.8 %. This last result agrees with the present study (Figure 2).

Anthocyanin content

Mendoza-Mendoza (2012) studied the dynamics of anthocyanin accumulation in corn plant organs at 33 and 138 days after sowing, finding that there is a well-defined anthocyanin accumulation pattern, both in the plant and in the organs that comprise it. With reference to the above, in the present study the number of days in which the HGF harvest was achieved did not reach 30 days, only 14 days. However, anthocyanins (Table 8) were found in purple and light purple corns. This indicates that the phenological stage of the HGF plant is not metabolically equal to a plant in grain production. However, in HGF the corn grain remains almost intact. Guillén-Sánchez et al. (2014) point out that anthocyanins are found in greater quantities in the ear rather than in the grain.

Apparently, there is no information regarding the anthocyanin content in HGF, since studies have so far focused on the storage capacity of anthocyanins in the pericarp and aleurone of the corn grain, such as Espinosa-Trujillo et al. (2009) who evaluated grains derived from crosses between six native populations, from purple to white, recording values of zero for white and yellow, while for red and blue 57, 154, 371 and up to 1 269. 4 mg·kg⁻¹ in grain. However, a similarity can only be seen in the anthocyanin content in the HGF of the light purple native variety and the improved purple variety with contents from 118.56 to 305.03 mg·kg⁻¹, which are influenced by fertilization, only for light purple.

sin fertilización, con nutrición baja y con nutrición alta y reportaron valores de 4.10, 4.07 y 5.32 %, para cenizas, 19.27, 20.06 y 20.69 % para proteína, 19.61, 18.75 y 18.50 para fibra bruta y para EE 7.95, 7.50 y 6.87 respectivamente. Aunque en otro estudio, Narváez-Herrera & Guerrero-Guerrero (2022) reportaron que el FVH forraje y el forraje verde organopónico (FVO) a base de maíz amarillo (hibrido, FNC 115) presentaron contenido de Ceniza de 6.54 y 5.41% y de proteína 16.65 y 15.75%. Lo anterior puede deberse al material genético empleado, ya que utilizaron semillas de maíz mejorado, lo que contrasta con los obtenidos en este trabajo, ya que se estudiaron maíces nativos, asimismo, aunque el maíz púrpura mejorado, sobresalió en algunas variables. Lo cual concuerda con los resultados de García et al. (2017), quienes determinaron proteína en FVH de maíz QPM y maíz criollo encontrando valores de 19.86 y 14.45 %, respectivamente a los 17 días del cultivo.

En tanto, los resultados de Rodríguez & Veloz (2022) difieren con los resultados de la presente investigación, en EE (3.22, 3.27 y 3.90) y FC (4.70, 3.80 y 5.20) y son similares en los contenidos de cenizas (2.68, 2.38 y 2.89) y PC (14.20, 15.22 y 13.42), de FVH de maíz cosechado a los 15, 18 y 21 días. Así García-Carrillo et al. (2013), reportan, en el FVH de maíz variedad criolla "San Lorenzo" un contenido de proteína de 15.5 % y de grasa de 6.8 %. Este último resultado concuerda con el presente estudio (Figura 2).

Contenido de antocianinas

Mendoza-Mendoza (2012) estudió la dinámica de acumulación de antocianinas en los órganos de la planta de maíz de los 33 y los 138 días después de la siembra;

Table 8. Anthocyanin content in the hydroponic green fodders of the eight treatments.

Cuadro 8. Contenido de antocianinas en los forrajes verdes hidropónicos de los ocho tratamientos.

Treatment / Tratamiento	mg·kg ⁻¹	mg·g ⁻¹
White-0 / Blanco-0	13.35 ^d	0.0134
White-180 / Blanco-180	8.34 ^d	0.0083
Yellow-0 / Amarillo-0	21.71 ^d	0.0217
Yellow-180 / Amarillo-180	23.78 ^d	0.0234
Light purple-0 / Moradillo-0	118.56 ^{cd}	0.1186
Light purple-180 / Moradillo-180	168.65 ^{bc}	0.1686
Purple-0 / Púrpura-0	305.03 ^a	0.3050
Purple-180 / Púrpura-180	277.20 ^{ab}	0.2772
Standard error / Error Estándar	20.85	0.0208

^{abcd}Different letters in the same column indicate significant differences ($P \leq 0.05$). 0 doses of 0-0-0 in N-P-K and 180: 180-180-180 in N-P-K.

^{abcd}Letras distintas en una misma columna indica diferencias significativas ($P \leq 0.05$). 0 dosis de 0-0-0 en N-P-K y 180: 180-180-180 en N-P-K.

Conclusion

The root and stalk growth rates are influenced by fertilizer use, unlike the leaf growth rate, which was similar for all treatments.

The biomass yields per kilogram of corn and per square meter of HGF varied without being generally attributable to the use or non-use of fertilizer. Therefore, the light purple and purple corns are susceptible to the use of HGF, without necessarily using fertilization.

The grain represents the largest proportion of the morphological components, which explains the results of the presence of anthocyanins and the acceptable bromatological content in most of the HGFs studied.

Purple corn, being an improved corn, had advantages in the production of hydroponic green fodder, due to the stability of its genetic material.

Acknowledgments

The authors thank TeCNM for the funding provided in the Call for “*Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2023*” (Scientific Research, Technological Development and Innovation Projects 2023).

End of English version

References / Referencias

- Abdel-Aal, M. P., Young, J. C., & Rabalski, I. (2006). Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple and red cereal grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 4696-4704. <https://doi.org/10.1021/jf0606609>
- Agama-Acevedo E., & Salinas-Moreno, G., Pacheco-Vargas, L., Bello Pérez, A. (2011). Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul: Morfología del almidón. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2:317-329.
- ASERCA (2016). Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. *Perspectivas agrícolas. 2015-2024. Cereales. Claridades Agropecuarias* 269:3:11
- AOAC (2010) *Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists*. 18th Edition, Washington, DC.
- Calderón Peñuela J. L., & Leal Cuellar, S. (2024). Estrategias para la comercialización internacional del ensilaje de forraje verde hidropónico colombiano en Estados Unidos. Trabajo de Grado. Universidad Piloto de Colombia. Facultad de Ciencias Sociales y Empresariales Programa de Negocios Internacionales Bogotá D. C. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/13971>

encontrando que existe un patrón de acumulación de antocianinas bien definido, tanto en la planta como en los órganos que la conforman. Con referencia a lo anterior, en el presente estudio el número de días en los que se logró la cosecha del FVH no alcanzó los 30 días, solo 14 días. Sin embargo, se encontraron antocianinas (Cuadro 8) en los maíces púrpura y moradillo. Lo que indica que la etapa fenológica de la planta del FVH, no es metabólicamente igual a una planta en producción de grano. Sin embargo, en el FVH, el grano de maíz permanece casi integro. Por su parte, Guillén-Sánchez et al. (2014) mencionan que las antocianinas se encuentran en mayor cantidad en el olote más que en el grano.

Al parecer no existe información referente al contenido de antocianinas en FVH, ya que hasta el momento los trabajos se han enfocado en la capacidad de almacenamiento de antocianinas en el pericarpio y la aleurona del grano de maíz, como Espinosa-Trujillo et al., (2009) quienes evaluaron granos derivados de las cruces entre seis poblaciones criollas, desde el púrpura hasta el blanco, registrando valores de cero para blanco y amarillo, mientras que para rojos y azules 57, 154, 371 y hasta 1 269. 4 mg·kg⁻¹ en grano. Sin embargo, solo se logra vislumbrar una semejanza en el contenido de antocianinas en el FVH de la variedad nativa moradillo y la variedad mejorada púrpura con contenidos desde 118.56 a 305.03 mg·kg⁻¹, en los que influye la fertilización, solo para moradillo.

Conclusión

El índice de crecimiento de raíz y tallo es influenciado por el uso de fertilizante, a diferencia del índice de crecimiento de hoja, el cual fue similar para todos los tratamientos.

Los rendimientos de biomasa por cada kilogramo de maíz y por metro cuadrado de FVH, tuvieron variaciones sin que puedan atribuirse de manera general al uso o no de fertilización. Por lo que los maíces moradillo y púrpura son susceptibles en el uso de FVH, sin que necesariamente se haga uso de fertilización.

El grano representa, la mayor proporción de los componentes morfológicos, esto explica los resultados de la presencia de antocianinas y el aceptable contenido bromatológico, en la mayoría de los FVH estudiados.

El maíz púrpura, al ser un maíz mejorado, tuvo ventajas en la producción de forraje verde hidropónico, debido a la estabilidad de su material genético.

- Cuesta, B. T., & Machado, P. R. (2009). Producción y evaluación de la calidad nutricional del forraje verde hidropónico (FVH) a base de maíz (*Zea mays*) como alternativa para la alimentación de pollos de engorde en la Estación Ambiental Tutunendo, Chocó, Colombia. Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico «John Von Neumann» Bioetnia. 2009; 6 (2): 127-34.
- Chavarría-Torrez, A., & Castillo-Castro, S. (2018). El forraje verde hidropónico (FVH), de maíz como alternativa alimenticia y nutricional para todos los animales de la granja. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático, 4(8), 1032-1039. <https://doi.org/10.5377/ribcc.v4i8.6716>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., González L., Tablada M., Robledo C. W., & InfoStat® versión 2020 (2020) Centro de Transferencia InfoStat®, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.
- Elizondo, J. (2005) Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. Revista ECAG informa. (32): 36-39.
- Espinosa-Trujillo, E., Mendoza-Castillo, M. del C., Castillo-González, F., Ortiz-Cereceres, J., Delgado-Alvarado, A., & Carrillo-Salazar, A. (2009). Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. Revista fitotecnia mexicana, 32(4), 303-309. <https://doi.org/10.35196/rfm.2009.4.303-309>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2001). Forraje verde hidropónico: manual técnico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile. 55 p.
- García-Carrillo, M., Salas-Pérez, L., Esparza-Rivera, J. R., Preciado-Rangel, P., & Romero Paredes, J. (2013). Producción y calidad fisicoquímica de leche de cabras suplementadas con forraje verde hidropónico de maíz Agronomía Mesoamericana, 24(1), 169-176. Retrieved January 20, 2023, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212013000100015&lng=en&tlng=es.
- García Rodríguez, J. G., Cervantes Ortiz, F., Ramírez Pimentel, J. G., Aguirre Mancilla, C., Rodríguez Pérez, G., Ochoa, F., & Mendoza Elos, M. (2017). Determinación de lisina, triptófano y proteína en germinados de maíz criollo y QPM. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(4), 877890. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.14>.
- Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S., & Paucar-Menacho, L. M. 2014. Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. Subnigroviolaceo. Sci. Agropec. 5:211-217.
- Herrera-Torres, E., Cerrillo Soto, M. A., & Juárez Reyes, A. S. (2010). Efecto de tiempo de cosecha sobre el valor proteico y energético del forraje verde hidropónico de trigo. 35(4), 284-289.
- Juárez-López, P. H., Morales-Rodríguez, J., Sandoval-Villa, M., Gómez Danés, A. A., Cruz-Crespo, E., Juárez-Rosete, C. R., Aguirre-Ortega, J., Alejo, S. G., & Ortiz-Catón, M. (2013). Producción de Forraje Verde Hidropónico. Revista Fuente nueva época. Año 4, No. 13, abril - junio 2013 ISSN 2007 - 0713 pp 16-26.
- Kong J. M., Chia L. S., Goh N. K., Chia T. F., & Brouillard R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins, Phytochemistry, Volume 64, Issue 5., Pages 923-933, ISSN 0031-9422. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(03\)00438-2](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(03)00438-2).
- Lee Jungmin, R., Durst, W., & Wrolstad, R. E. (2005). Collaborators: Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study, Journal of AOAC INTERNATIONAL, Volume 88, Issue 5, 1 September 2005, Pages 1269-1278, <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Mendoza-Mendoza C. G. 2012. Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo Texcoco Estado de México.
- Narváez-Herrera, J. P., & Guerrero-Guerrero, E. M. (2022). Forraje verde hidropónico y organopónico de maíz como suplemento nutricional para ovinos del piedemonte amazónico. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 13(1), 253 - 266. <https://doi.org/10.22490/21456453.4535>
- Ramírez, C., & Soto, F. (2017). Efecto de la nutrición mineral sobre la producción de forraje verde hidropónico de maíz. Agronomía Costarricense, 41(2), 79-91. <https://doi.org/10.15517/rac.v41i2.31301>
- Rodríguez V., J. P., & Veloz C., J. M. (2022). Realizar Análisis bromatológico del forraje verde hidropónico producido con tres soluciones nutritivas para la alimentación del ganado bovino. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agropecuaria. Universidad de las Fuerzas Armadas. Santo Domingo de las Tsáchilas, Ecuador. 53 p. <https://repositoriobe.espe.edu.ec/server/api/core/bitstreams/0e76da81-3baa-4f4d-9dbb-09f5b709e327/content>
- Salinas, M. Y., Soria, R. J., & Espinosa, T. E. (2010). Aprovechamiento y distribución de maíz azul en el Estado de México, 1ª ed. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Folleto Técnico Núm. 42.
- Salinas, M. Y., Cruz, C. F. J., Díaz, O. S. A., & Castillo, G. F. (2012) Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. Rev. Fototec. Mex. 35:33-41.
- Soto-Bravo, F., & Ramírez-Viquez, C. (2018) Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz. Pastos y Forrajes, vol. 41, núm. 2, 2018.
- Vargas-Rodríguez, C. F. (2008). Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. Agronomía Mesoamericana, 19(2), 233-240.

Agradecimientos

Al TeCNM por el financiamiento en la Convocatoria “Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2023”.

Fin de la versión en español