

Determinación de lisina, triptófano y proteína en germinados de maíz criollo y QPM*

Determination of lysine, tryptophan and protein in germinated of creole and QPM maize

J. Guadalupe García Rodríguez¹, Francisco Cervantes Ortiz¹, Juan Gabriel Ramírez Pimentel¹, Cesar Aguirre Mancilla¹, Gilberto Rodríguez Perez¹, Francisca Ochoa¹ y Mariano Mendoza Elos^{1§}

¹Instituto Tecnológico de Roque. Carretera Celaya-Juventino Rosas, km 8. Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110. (garcia.2956@hotmail.com; frcervantes@itroque.edu.mx; ceaguirre@itroque.edu.mx; drjgrp2004@yahoo.com.mx; grodriguez263@hotmail.com; francisca790201@hotmail.com. [§]Autor para correspondencia: mmendoza66@hotmail.com.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar la lisina, triptófano, proteína y rendimiento de forraje verde en maíz QPM y criollo. El trabajo se realizó en el CINVESTAV e Instituto Tecnológico de Roque, Celaya, México, en el año 2014. Se evaluaron dos genotipos de maíz, uno de alto contenido de proteína (QPM) y otro normal. La producción de forraje verde se realizó de acuerdo al método de la FAO (2001). Se realizaron muestreos a los 9, 11, 13, 15, y 17 días después de la siembra y se tomaron como variables la altura de plántula, peso fresco, materia seca, lisina, triptófano, proteína y rendimiento de forraje. El rendimiento de forraje verde alcanzó sus valores más altos a los 17 días, el criollo 25.4 kg m⁻² y QPM 27.14 kg m⁻². Para el contenido de lisina y triptófano el valor más alto se determinó a los 13 días en ambos genotipos, 0.55 y 1.17% y 1.18 y 0.56%, respectivamente. Asimismo, se concluye que la proteína del maíz QPM fue más alta a los 17 días con un valor de 19.86% y para el maíz criollo a los 15 días con 14.45%.

Palabras claves: forraje, genotipo, maíz de alto contenido de proteína, rendimiento.

Abstract

The objective of this research was to determine the lysine, tryptophan, protein and yield of green fodder in maize QPM and creole. The research was carried out at the CINVESTAV and Technological Institute of Roque, Celaya, México, in 2014. Two maize genotypes, one with high protein content (QPM) and a normal one, were evaluated. The production of green fodder was carried out according to the FAO method (2001). Samples were taken at 9, 11, 13, 15, and 17 days after sowing and seedling height, fresh weight, dry matter, lysine, tryptophan, protein and forage yield were taken as variables. The yield of green fodder reached its highest values at 17 days, creole 25.4 kg m⁻² and QPM 27.14 kg m⁻². For the lysine and tryptophan content the highest value was determined at 13 days in both genotypes, 0.55 and 1.17% and 1.18 and 0.56%, respectively. It was also concluded that the QPM maize protein was higher at 17 days with a value of 19.86% and for creole maize at 15 days with 14.45%.

Keywords: fodder, genotype, high protein content maize, yield.

* Recibido: enero de 2017
Aceptado: marzo de 2017

Introducción

A nivel mundial y nacional, el cultivo de maíz ocupa el primer lugar en superficie sembrada (FAO, 2015). El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en junio de 2015 estimó una producción mundial de 989.3 millones de toneladas. México se encuentra en el séptimo lugar con una producción de 2.3% (USDA, 2015). El estado de Guanajuato cuenta con una gran superficie para la producción de grano de maíz; sin embargo, el estado es considerado como una región semiárida con graves problemas de falta de agua; cabe mencionar que de las 370 742 ha que se han sembrado con anterioridad, 68.23% es de temporal y 31.77% de riego (SIAP, 2015).

La importancia del maíz es que el consumo *per capita* en el país es de 330 g día⁻¹, con una aportación a la nutrición de 32 a 55% de proteína. El maíz en el sector rural aporta a la nutrición 65% de las calorías, 53% de las proteínas, 69% de calcio, 51% de hierro, 15% de vitamina A, 62% de la tiamina, 36% de riboflavina y 54% de niacina (SAGARPA, 2014). La proteína del maíz, y en general la de los cereales, es de bajo valor nutricional cuando se compara con la proteína de origen animal. Esta deficiencia es el resultado de un desbalance de aminoácidos y de un bajo contenido proteico (Azevedo *et al.*, 2006). En el maíz la mayor cantidad de proteína (75 a 85%) se encuentra en el endospermo y es deficiente en dos aminoácidos esenciales lisina y triptófano (Huang *et al.*, 2004). Los maíces de alta calidad proteica (QPM) son cultivares portadores del gen *opaque-2*, que promueve una reducción del contenido de zeína e incremento de la glutelina. Llegan a duplicar las cantidades de lisina y triptófano, y lo convierte en maíz con valor nutritivo superior al maíz convencional (Ortega *et al.*, 1986).

En este sentido se plantea a la germinación de maíz como un método simple y de bajo costo para mejorar la calidad de la materia proteica y el valor nutrimental del grano, ya que en las primeras etapas de la germinación del maíz la concentración de lisina y triptófano aumentan considerablemente. En el maíz germinado existe 19% de aumento en la concentración de lisina y triptófano, y una modificación general de su composición química durante el proceso de germinación del grano (Arámbula, 2015).

En México, los forrajes constituyen aproximadamente 50% de la ración total de la alimentación del ganado. En este rubro existen mejores posibilidades de disminuir los costos de producción, mediante la utilización de forrajes

Introduction

At global and national levels, maize cultivation occupies the first place in planted area (FAO, 2015). The US Department of Agriculture (USDA) in June 2015 estimated global production of 989.3 million tonnes. México has the seventh place with a production of 2.3% (USDA, 2015). Guanajuato state has a large area for maize grain production; however, the state is considered as a semi-arid region with severe water shortage problems; it is worth mentioning that of the 370 742 ha planted previously, 68.23% is rainfed and 31.77% is irrigated (SIAP, 2015).

The importance of maize is that *per capita* consumption in the country is 330 g day⁻¹, with a contribution to nutrition of 32 to 55% protein. Corn in the rural sector contributes 65% of calories to nutrition, 53% of proteins, 69% of calcium, 51% of iron, 15% of vitamin A, 62% of thiamine, 36% of riboflavin and 54% of niacin (SAGARPA, 2014). The maize protein, and in general that of cereals, is of low nutritional value compared to animal origin protein. This deficiency is the result of an imbalance of amino acids and a low protein content (Azevedo *et al.*, 2006). In maize the highest amount of protein (75-85%) is found in the endosperm and has deficient two essential amino acids lysine and tryptophan (Huang *et al.*, 2004). High-quality protein maize (QPM) are cultivars carrying the *opaque-2* gene, which promotes a reduction of zein content and increase of glutelin. They duplicate the amounts of lysine and tryptophan, making it a maize with higher nutritional value than conventional maize (Ortega *et al.*, 1986).

In this sense, maize germination is considered as a simple and low cost method to improve the quality of protein matter and nutritional grain value, since in the early stages of maize germination the concentration of lysine and tryptophan increases considerably. In germinated maize, there is a 19% increase in lysine and tryptophan concentration, and an overall modification of their chemical composition during the grain germination process (Arámbula, 2015).

In México, forages account for approximately 50% of the total feed ration of cattle. In this area there are better possibilities of reducing production costs, through the use of more productive and higher quality forages. A good alternative for México is the cultivation of hydroponic green forages of maize. In terms of fodder, it is necessary that it has

más productivos y de mayor calidad. Una buena alternativa para México es el cultivo de forrajes verdes hidropónicos de maíz. En lo que se refiere al forraje se requiere que tenga buena calidad para ensilaje, aquí interviene el contenido de fibra detergente neutro (FDN), para ello es necesario conocer cuál es la etapa ideal para su corte (Herrera y Saldaña, 1999).

Por lo anterior, la identificación de la calidad nutricional del grano y del forraje en programas de mejoramiento, requieren del análisis integral de métodos rápidos y confiables que permitan comparar parámetros adecuados en el mayor número de muestras posibles. Entre los parámetros que pueden medir el valor nutricional del maíz, destacan la calidad de la proteína (Poey, 1978), razón por la cual la importancia del análisis bromatológico. Esta información permitiría contar con la máxima información, para establecer posibles criterios de selección. Con respecto al forraje es necesario realizar un análisis proximal, el cual auxiliará en el contenido nutricional que este contenga.

Por otra parte, Llanos (1984) señala que casi todas las plantas forrajeras se cultivan exclusivamente para aprovechar sus tallos y hojas, mientras que sus semillas suelen carecer de valor nutritivo que justifique su aprovechamiento. El maíz para forraje es una excepción, sobre todo los cultivares que alcanzan el máximo rendimiento en carbohidratos después que florecen. Además, cuando el grano está en estado lechoso, las hojas y tallos están todavía verdes y la planta completa tiene entonces un alto valor nutritivo para el ganado.

En respuesta a los altos costos de la alimentación de los animales, utilizados para la producción de carne y leche, se han evaluado nuevas técnicas de alimentación a bajo costo y con alto valor nutricional como es el uso de hidroponía. Es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida del crecimiento inicial de las plantas mediante la germinación a partir de semillas viables y por su lapso de tiempo no mayor a los 16 días. Además, el uso de hidroponía o la producción del forraje verde hidropónico (FVH) tienen la ventaja de poder obtenerse en cualquier época del año y en cualquier localidad geográfica, el FVH podría resolver el problema del alto costo de la alimentación, la cual representa el 70% de los costos en la producción animal (Less, 1983).

El maíz presenta la mayor tasa de conversión a carne, leche y huevos, debido a su alto contenido en almidón y baja concentración de fibra, constituye una excelente fuente de energía. En países tropicales, en promedio se destina el

a good quality for silage, where the neutral detergent fiber (NDF) is involved, for this, it is necessary to know the ideal stage for its cutting (Herrera and Saldaña, 1999).

Therefore, the identification of the nutritional quality of the grain and forage in breeding programs requires the integral analysis of fast and reliable methods that allow to compare adequate parameters in the largest possible number of samples. Among the parameters that can measure the nutritional value of maize, the quality of the protein (Poey, 1978) stands out, which is why the bromatological analysis is so important. This information would allow the maximum information, in order to establish possible selection criteria. Regarding to the forage is necessary to make a proximal analysis, which would help in the nutritional content.

On the other hand, Llanos (1984) indicates that almost all forage plants are cultivated exclusively to take advantage of their stems and leaves, whereas their seeds usually lack of nutritive value that justifies its use. Forage maize is an exception, especially the cultivars that reach the maximum carbohydrates yield after they bloom. In addition, when the grain is milky, the leaves and stems are still green and the whole plant then has a high nutritional value for livestock.

In response to the high costs of animal feeding, used for the production of meat and milk, new feeding techniques have been evaluated at low cost and with high nutritional value such as the use of hydroponics. Which is a production technology of vegetal biomass obtained from the initial plants growth by the germination from viable seeds and by its time no longer than 16 days. In addition, the use of hydroponics or the production of hydroponic green forage (FHV) has the advantage of being obtainable at any time of the year and in any geographic location, the FVH could solve the problem of the high feeding cost, which represents the 70% of the costs in animal production (Less, 1983).

Maize has the highest conversion rate to meat, milk and eggs, due to its high content of starch and low fiber concentration, it is an excellent source of energy. In tropical countries, on average, the same percentage (44%) is used for fodder than for human consumption. Generally, the whole or milled grain of yellow maize is preferred for cattle feeding (Paliwal, 2001).

Hydroponic green forage is a production technology of vegetal biomass obtained from the initial plants growth in the states of germination and early growth of seedlings from

mismo porcentaje (44%) para forraje que para consumo humano. Generalmente se prefiere el grano entero o molido de maíz amarillo para alimentar ganado (Paliwal, 2001).

El forraje verde hidropónico es una tecnología de producción de biomasa vegetal obtenida a partir del crecimiento inicial de las plantas en los estados de germinación y crecimiento temprano de plántulas a partir de semillas viables. El forraje obtenido es de alta digestibilidad, calidad nutricional y muy apto para la alimentación animal (Palomino, 2008).

El forraje verde hidropónico es el resultado del proceso de germinación de granos de cereales o leguminosas (cebada, maíz, sorgo, soya, etc) el cual se desarrolla en un periodo de 9 a 15 días, captando energía del sol y asimilando los minerales disueltos en una solución nutritiva. El forraje hidropónico está comprendido dentro de un concepto nuevo de producción, ya que no requiere grandes extensiones de tierra, periodos largos de producción ni formas de conservación y almacenamiento. Este forraje es destinado para la alimentación de vacas lecheras, caballos de paso y de carrera, cuyos, ovinos, etc (Tarrillo, 2007).

Una alternativa es la producción de FVH que permitan prevenir pérdidas productivas (abortos, pérdida de peso, escaso volumen de leche, problemas de fertilidad) especialmente a nivel de los pequeños productores (FAO, 2001). Se ha demostrado que es posible sustituir parcialmente la materia seca que aporta el forraje obtenido mediante métodos convencionales, así como también aquél proveniente de granos secos o alimentos concentrados, por su equivalente en FVH. Se ha reportado que los establos lecheros que suministran alrededor de 18 a 20 kilos de FVH por cabeza, han incrementado su producción de leche de 10 a 12.5 %, la fertilidad, han disminuido la incidencia de mastitis y reducido el índice de abortos, han disminuido también el costo de alimentación por cabeza (Rodríguez, 2003).

En el sistema de producción de FVH las pérdidas de agua por evapotranspiración, escurrimiento superficial e infiltración son mínimas al compararse con las condiciones de producción convencional en especies forrajeras, cuyas eficiencias varían entre 270 a 635 litros de agua por kg de materia seca. Para la producción de 1 kilo de FVH se requiere de 2 a 3 litros de agua con un porcentaje de materia seca que oscila, dependiendo de la especie forrajera y la variedad, entre un 12 a 18% (Lomeli, 2000). Esto se traduce en un consumo total de 15 a 20 litros de agua por kilogramo de materia seca obtenida en 14 días.

viable seeds. The forage obtained has high digestibility, nutritional quality and is very suitable for animal feed (Palomino, 2008).

Hydroponic green forage is the result of the germination process of cereals grains or legumes (barley, maize, sorghum, soybeans, etc) which takes place in a period of 9 to 15 days, capturing energy from the sun and assimilating minerals dissolved in a nutrient solution. Hydroponic forage is included in a new production concept, since it does not require large land extensions, long production periods or conservation and storage forms. This fodder is destined for the feeding of dairy cows, passage and race horses, whose, sheep, etc (Tarrillo, 2007).

An alternative is the production of FVH to prevent productive losses (abortions, weight loss, low milk volume, fertility problems) especially at the small producers level (FAO, 2001). It has been shown that it is possible to partially substitute the dry matter provided by the forage obtained by conventional methods, as well as that from dry grains or concentrated feed, by its equivalent in FVH. Milk stables that supply about 18 to 20 kilos of FVH per head have been reported to have increased their milk production from 10 to 12.5%, fertility, reduced incidence of mastitis and reduced abortion rate, also the cost of feeding per head has decreased (Rodríguez, 2003).

In the FVH production system, water losses due to evapotranspiration, surface runoff and infiltration are minimal compared to conventional production conditions in forage species, whose efficiencies range from 270 to 635 liters of water per kg of dry matter. For the production of 1 kilo of FVH, 2 to 3 liters of water are required with a percentage of dry matter that varies, depending on the forage species and the variety, between 12 and 18% (Lomeli, 2000). This translates into a total consumption of 15 to 20 liters of water per kilogram of dry matter obtained in 14 days.

In this sense, Mendoza *et al.* (2007) mention that in México there is a great genetic diversity of maize, and the various national and international breeding programs constantly release materials. However, the added value of protein has not been considered until today as important to nutrition. Therefore, studies on fodder quality are required because lysine and tryptophan are the limiting amino acids in protein quality. In addition, high-cost soy protein is considered in the diets of cattle and other animals, with QPM maize part of the protein and economic situation is solved, since the cost of maize with high protein content is the same than common grain.

En este sentido, Mendoza *et al.* (2007) mencionan que en México existe una gran diversidad genética de maíz, y los diversos programas de mejoramiento nacional e internacional constantemente liberan materiales. No obstante, el valor agregado de la proteína no se ha considerado hasta hoy como de impacto a la nutrición. Por lo tanto, es necesario realizar estudios con respecto a la calidad de forraje debido a que la lisina y el triptófano son los aminoácidos limitantes en la calidad de proteína. Además sí consideramos, que en las dietas de los bovinos y otros animales se considera la proteína de soya que tiene alto costo, con el maíz QPM se resuelve parte de la situación proteica y económica, ya que el costo del maíz con alto contenido de proteína tiene el mismo valor comercial que el grano común.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar a través de muestreos en el germinado-plántula, los cambios importantes que existen de lisina, triptófano, proteína y rendimiento en maíz normal y maíz QPM.

Materiales y métodos

El presente trabajo experimental se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV) Unidad Querétaro, ubicado en Juriquilla, Querétaro y en el laboratorio de biotecnología del Instituto Tecnológico de Roque, ubicado en Celaya, Guanajuato. Se utilizaron dos genotipos de maíz: como normal, a) criollo tipo occidental (grano rojo), altura de planta 3.6 m, madurez fisiológica 132 días, con 12 hileras por mazorca del Instituto Tecnológico de Roque (ITR) y b) híbrido QPM (maíz de alto contenido de proteína, grano blanco) del programa de maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo Experimental Bajío ubicado en Celaya, Guanajuato.

La producción de forraje verde se realizó de acuerdo al método reportado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO (2001), con algunas modificaciones (se regaron las plántulas de 4 a 6 veces por día dependiendo del clima, el primer riego fue a las 8:00 am y el último riego a las 4:00 pm. Si el clima era muy caluroso, se aplicaron hasta 6 riegos).

Previamente se realizó una prueba de germinación obteniendo para el genotipo de maíz Criollo 96%, mientras que para el genotipo de maíz QPM fue de 94%.

Therefore, the objective of this research was to determine the significant changes in lysine, tryptophan, protein and yield in normal maize and QPM maize through germinate-seedling sampling.

Materials and methods

This research was carried out at the Centro de Investigación de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Querétaro Unit, located in Juriquilla, Querétaro and in the biotechnology laboratory of the Technological Institute of Roque, located in Celaya, Guanajuato. Two maize genotypes were used: as standard, a) western creole (red grain), plant height 3.6 m, physiological maturity 132 days, with 12 rows per cob of the Instituto Tecnológico de Roque (ITR) and b) QPM hybrid (of high protein, white grain) of the maize program of the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Bajío Experimental Field, located in Celaya, Guanajuato.

Green fodder production was done according to the method reported by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2001), with some modifications (seedlings were watered 4 to 6 times per day depending on the climate, first irrigation was at 8:00 am and the last irrigation at 4:00 pm. If the weather was very hot, up to 6 irrigations were applied).

Previously a germination test was performed obtaining for the genotype of Creole maize 96%, while for the QPM maize genotype was of 94%.

A density of 300 g of seed/tray (0.53 m*0.27 m) was distributed in plastic trays for both evaluated maize genotypes (QPM and normal or creole). Trays were placed on shelves and continuous irrigation with bottle water was applied during the first nine days of growth at the rate of 4.2 L m⁻². In order to measure the studied variables, different samples were taken, the first one was at 9, then at 11, 13, 15 and 17 days after sowing in both genotypes.

Some components of fresh weight were evaluated, such as, seedling height, that was evaluated measuring from the seedling base until the vegetative shoot apex. In each treatment six plants were identified, its height was expressed in mm, the reading was performed every other day until day 17 of growth. The stem diameter was measured randomly

Se trabajó con una densidad de población de 300 g de semilla/charola (0.53 m*0.27 m), se distribuyeron en bandejas de plástico para ambos genotipos de maíz evaluados maíz (QPM y normal o criollo). Las bandejas se colocaron en estantes y se aplicó riego continuo con agua de garrafón durante los primeros nueve días de crecimiento a razón de 4.2 L m⁻². Para medir las variables de estudio se realizaron diferentes muestreos, el primero fue a los 9, luego a los 11, 13, 15 y 17 días después de la siembra en ambos genotipos.

Se evaluaron algunos componentes del peso fresco, como, altura de plántula, esta se evaluó midiendo de la base de la plántula hasta el ápice del brote vegetativo. En cada tratamiento se identificaron seis plantas, su altura se expresó en mm, la lectura fue cada dos días hasta el día 17 de crecimiento. El diámetro del tallo se midió al azar con un vernier los diámetros de 6 plantas en mm. El número total de hojas se contabilizaron desde el inicio del tallo principal hasta el quinto muestreo (9, 11, 13, 15, y 17 días). También se registró el peso fresco total de las plántulas en gramos, a partir del día nueve hasta el día 17.

Para determinar el porcentaje de materia seca (MS) se tomó porciones de 250-350 g de forraje verde por bandeja y se introdujeron en una bolsa de papel previamente pesada. Luego, se colocaron las muestras en una estufa de aire forzado a 60 °C durante 72 horas. Transcurridos tres días, se pesaron las muestras y se les restó el peso de la bolsa para obtener el peso seco neto. Finalmente, la variable fue calculada mediante la siguiente fórmula: (%) MS= ((peso seco neto)/(peso fresco))*100. El rendimiento de biomasa, fue la relación kg de forraje producido/kg de semilla utilizada, se obtuvo al dividir el peso neto de FV por bandeja entre la cantidad de semilla utilizada por bandeja (0.3 kg), ambos datos expresados en kg.

La fórmula utilizada fue kg FV/kg semilla= kg FV fresco por charola /0.3 kg. El rendimiento de biomasa en fresco (kg peso fresco/m²), correspondió a la producción (kg) de FV fresco, obtenido en 1 m². Se calculó mediante la división del peso neto de material por bandeja entre el área del recipiente (0.53 m*0.27 m= 0.1431 m²); es decir; biomasa en fresco= kg FV por bandeja/0.1431 m² y la biomasa seca (kg peso seco m⁻²), se refirió al peso seco (kg) de FV producido en 1 m². Se obtuvo mediante la multiplicación de la biomasa en fresco por % de MS. Es decir: biomasa seca= biomasa fresca (kg peso fresco/m²)*(%) (MS/100).

with a vernier diameters of 6 plants in mm. The total number of leaves was counted from the beginning of the main stem to the fifth sample (9, 11, 13, 15, and 17 days). The total fresh weight of the seedlings in grams was also recorded, from day nine until day 17.

To determine the percentage of dry matter (DM), portions of 250-350 g of green forage were taken per tray and placed in a pre-weighed paper bag. Samples were then placed in a forced air oven at 60 °C for 72 hours. After three days, the samples were weighed and the weight of the bag was subtracted to obtain the net dry weight. Finally, the variable was calculated using the following formula: (%) MS= ((net dry weight)/(fresh weight))*100. The biomass yield was the ratio of kg of produced forage/kg of used seed, obtained by dividing the net weight of FV per tray between the amount of seed used per tray (0.3 kg), both data expressed in kg.

The formula used was kg FV/kg seed= kg fresh FV per tray /0.3 kg. The yield of fresh biomass (kg fresh weight/m²) corresponded to the production (kg) of fresh FV, obtained in 1 m². It was calculated by dividing the net weight of material per tray between the container area (0.53 m*0.27 m=0.1431 m²); that is; fresh biomass= kg FV per tray/0.1431 m² and dry biomass (kg dry weight m⁻²), referred to dry weight (kg) of FV produced in 1 m². It was obtained by multiplying the fresh biomass by MS %. That is: dry biomass= fresh biomass (kg fresh weight/m²)*(%) (MS/100).

Proximal chemical analyzes were performed on finished products using the following techniques: for protein it was used 46-16 (AACC, 1995), fat, 30-20 (AACC, 1995), moisture, 40-16 (AACC, 1995), ashes, 08-01 (AACC, 1995).

The tryptophan determination was by the Opienska-Blauth method modified by Hernández and Bates (1969); Hartcamp *et al.* (2000). The sample of defatted and pulverized 80 mesh was mixed with a papain solution, incubated for 16 h at 63 ±2 °C, cooled and centrifuged at 2500 rpm for 5 m, 1 mL of hydrolyzate was transferred into a solution of ferric chloride and sulfuric acid, then incubated at the above temperature, allowed to cool and the reading was taken at 560 nm to calculate on a standard curve the amount of tryptophan, relative to the protein.

Lysine was analyzed by the method of Tsai *et al.* (1975), and modified by Villegas (1984). The procedure consisted in preparing a hydrolysed sample of maize with papain

Los análisis químicos proximales se hicieron sobre los productos terminados con las siguientes técnicas: para proteína se utilizó la 46-16 (AACC, 1995), grasa, 30-20 (AACC, 1995), humedad, 40-16 (AACC, 1995), cenizas, la 08-01 (AACC, 1995).

La determinación de triptófano fue por el método Opienska-Blauth modificado por Hernández y Bates (1969); Hartcamp *et al.* (2000). La muestra de malla 80 desgrasada y pulverizada se mezcló con una solución de papaína, se incubó por 16 h a $63 \pm 2^\circ\text{C}$, se enfrió y centrifugó a 2 500 rpm por 5 m., se transfirió 1 mL de hidrolizado en una solución de cloruro férrico y ácido sulfúrico, posteriormente se incubó a la temperatura anterior, se dejó enfriar y se tomó lectura a 560 nm para calcular con base a una curva estándar la cantidad de triptófano, respecto a la proteína.

La lisina fue analizada por el método de Tsai *et al.* (1975), y modificado por Villegas (1984). El procedimiento consistió en preparar una muestra hidrolizada de maíz con papaína a $65 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 16 h, una vez fría la muestra, pipetear 1 mL en una solución de carbonato y fosfato de cobre, se agitó por 5 in y se centrifugó a 2 000 rpm por 5 min, se tomó 1 mL del sobrenadante para mezclar con 0.1 mL de solución de 2 cloro-3,5 dinitropiridina. Enseguida se agitó fuertemente, se dejó reposar por 2 h, agitando cada 30 min, se agregó ácido clorhídrico y se agitó nuevamente hasta homogenizar. Posteriormente se agregó solución extractora de acetato de etilo, se mezcló por inversión durante 10 veces y se extrajo la fase superior, repitiendo tres veces, se tomó lectura a 390 nm contra un blanco, enseguida se calculó el contenido de lisina con base a una curva estándar para reportarlo de acuerdo a la proteína estimada.

El análisis estadístico de los resultados se realizó con el paquete estadístico SAS versión 9.0, donde los datos se sometieron a un análisis de varianza con un diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial, siendo el factor A las variedades de maíz y el factor B, los muestreos de 9, 11, 13, 15, y 17 después de la siembra. La comparación de medias se realizó de acuerdo a la prueba de DMS ($p \leq 0.05$).

Resultados y discusión

El análisis de varianza mostró diferencias significativas al 1 y 5% de probabilidad en la fuente de variación variedades para las características altura de plántula, diámetro de tallo, peso

at $65 \pm 2^\circ\text{C}$ for 16 h, once the sample was cold, 1 mL was placed into a solution of carbonate and copper phosphate, shaken for 5 min and centrifuged at 2 000 rpm for 5 min, 1 mL of the supernatant was taken to mix it with 0.1 mL of 2-chloro-3,5-dinitropyridine solution. It was then stirred vigorously, and allowed to stand for 2 h, shaken every 30 min, hydrochloric acid was added and the mixture was stirred again until homogenized. Subsequently ethyl acetate extracting solution was added, inversion mixed for 10 times and the upper phase was extracted, repeating three times, reading at 390 nm against a blank, then the lysine content was calculated with base on a standard curve to report it according to the estimated protein.

Statistical analysis of the results was performed using the statistical package SAS version 9.0, where data were subjected to a variance analysis with a completely random statistical design with factorial arrangement, being factor A maize and factor B, the samplings of 9, 11, 13, 15, and 17 after sowing. The comparison of means was performed according to the DMS test ($p \leq 0.05$).

Results and discussion

The analysis of variance showed significant differences at 1 and 5% probability in the source of variation for seedling height, stem diameter, fresh seedling weight, dry matter, and biomass yield, except leaf number. For the samples source differences for all evaluated variables were found; however, for the interaction there was significance in the leaf width variable, the rest were not significant. These differences found in the different variables are mainly attributed to the genetic constitution or diversity that exists between QPM maize and creole maize, in addition of the influence on samples of the phenological crop stage.

The behavior of the two evaluated genotypes is shown in Table 1, where QPM maize was higher in all variables, except for seedling height. This response is due to the fact that the creole cultivar is more precocious, that is to say its growth and development speed is much faster, in order to an early development of its phenological stages.

Among the most important forage yield components are dry matter and biomass yield, where the QPM genotype was superior for both traits with values of 12.82% and 22.2 kg m^{-2} with respect to the creole cultivar that showed yields of

fresco de plántula, materia seca, y rendimiento de biomasa, excepto número de hoja. Para la fuente muestreos se encontraron diferencias para todas las variables evaluadas; sin embargo, para la interacción existió significancia en la variable ancho de hojas, el resto no fueron significativas. Estas diferencias encontradas en las diferentes variables se atribuyen principalmente a la constitución o diversidad genética que existe entre el maíz QPM y el maíz criollo, además de que los muestreos influyen por la etapa fenológica del cultivo.

El comportamiento de los dos genotipos evaluados se muestra en el Cuadro 1, donde el maíz QPM fue superior en todas las variables, a excepción de la altura de plántula. Esta repuesta se debe a que el cultivar criollo es más precoz; es decir, su velocidad de crecimiento y desarrollo es mucho más rápida, esto se da para definir pronto sus etapas fenológicas.

10.74% and 20.72 kg m⁻² and 10.65%, respectively. These results are superior to those reported by Vargas (2008) who report a production of 17.2 kg with 4 kg of seed in 720 cm² trays. Also, Tarrillo (2007) mentions that 1 kg of seed can produce a forage mass of 6 to 8 kg and Elizondo (2005) reports that from 1 kg of seed, up to 9 kg of biomass can be harvested.

Table 2 shows the average values of seedlings height at harvesting from 9 to 17 days of age. According to the DMS test, the T17 treatment reached the highest value with 21.76 cm and 27.96 cm in QPM and creole genotypes. For stem diameter are shown values of 24.73 mm for creole maize in the last sampling, while QPM genotype shows an average of 31.85 mm. For leaves number an average of 4.8 was recorded in the creole genotype, while for the QPM genotype its average was 5. According to Sheehy and Cooper (1973) the number of leaves and foliar architecture vary among plants, within the same species, as well as between varieties.

Cuadro 1. Comparación de medias del rendimiento de forraje verde y sus componentes en condiciones de invernadero en un maíz QPM y criollo en Celaya, Guanajuato, México, 2014.

Table 1. Means comparison of green forage yields and its components under greenhouse conditions in QPM and Creole maize in Celaya, Guanajuato, México, 2014.

| Genotipo | Altura plántula (cm) | Diámetro tallo (mm) | Número de hojas | PFP (g) | Materia seca (%) | Rendimiento (kg m ⁻²) |
|------------|----------------------|---------------------|-----------------|---------|------------------|-----------------------------------|
| Criollo | 20.43 a | 16.49 b | 3.4 a | 12.24 b | 10.74 b | 20.72 b |
| QPM | 15.72 b | 26.37 a | 3.64 a | 17.97 a | 12.82 a | 22.2 a |
| Media | 18.08 | 21.43 | 3.52 | 15.1 | 11.78 | 21.46 |
| DMS (0.05) | 2.02 | 2.44 | 0.26 | 2.02 | 0.8 | 1.39 |

DMS= diferencia mínima significativa. Valores que comparten la misma letra en la misma columna son estadísticamente iguales. PFP= peso fresco de plántula.

Cuadro 2. Promedio del rendimiento de forraje verde y sus componentes en dos tipos de maíces en condiciones de invernadero en Celaya, Guanajuato, México en 2014.

Table 2. Average yield of green forage and its components in two maize types under greenhouse conditions in Celaya, Guanajuato, México in 2014.

| Genotipo | Muestreo (días) | Altura plántula (cm) | Diámetro de tallo (mm) | Número de hojas (mm) | PFP (g) | Materia seca (%) | Rendimiento (kg m ⁻²) |
|----------|-----------------|----------------------|------------------------|----------------------|---------|------------------|-----------------------------------|
| Criollo* | 9 | 6.1 | 8.18 | 2.2 | 4.44 | 8.23 | 17.2 |
| Criollo | 11 | 19.94 | 12.26 | 2.6 | 11.46 | 10.38 | 18.28 |
| Criollo | 13 | 22.76 | 15.83 | 3.6 | 12.36 | 11.5 | 19.96 |
| Criollo | 15 | 25.4 | 21.44 | 3.8 | 12.96 | 11.64 | 22.76 |
| Criollo | 17 | 27.96 | 24.73 | 4.8 | 20 | 11.96 | 25.4 |
| QPM** | 9 | 5.66 | 20.66 | 2.6 | 15.6 | 11.87 | 16.2 |
| QPM | 11 | 15.76 | 22.92 | 3.4 | 15.7 | 12.44 | 20.46 |
| QPM | 13 | 17.36 | 27.83 | 3.6 | 16.44 | 12.52 | 22.66 |
| QPM | 15 | 18.1 | 28.59 | 3.6 | 17.74 | 12.78 | 24.58 |
| QPM | 17 | 21.76 | 31.85 | 5 | 24.36 | 14.47 | 27.14 |

*Criollo= maíz normal; **QPM= maíz de alto contenido de proteína; PFP= peso fresco de plántula.

Entre los componentes de rendimiento de forraje más importantes se puede destacar la materia seca y el rendimiento de biomasa, aquí se aprecia que el genotipo QPM fue superior para ambas características con valores de 12.82% y 22.2 kg m⁻² con respecto al cultivar criollo que arrojó rendimientos de 10.74% y 20.72 kg m⁻² y 10.65%, respectivamente. Estos resultados son superiores a los reportados por Vargas (2008) quienes reportan una producción de 17.2 kg con 4 kg de semilla en bandejas de 720 cm². También Tarrillo (2007) menciona que a partir de 1 kg de semilla se puede producir una masa de forraje de 6 a 8 kg y Elizondo (2005) reporta que de 1 kg de semilla se puede cosechar hasta 9 kg de biomasa.

En el Cuadro 2 se presentan los valores promedios de altura de plántula al corte efectuados a partir de los 9 hasta los 17 días de edad. De acuerdo a la prueba de DMS, el tratamiento T17 alcanzó el mayor valor con 21.76 cm y 27.96 cm en los genotipos QPM y criollo, respectivamente. Para diámetro de tallo, alcanzaron en el último muestreo valores para el maíz criollo de 24.73 mm, mientras que para el genotipo QPM arrojó un promedio de 31.85 mm. Para el número de hojas se registró un promedio de 4.8 en el genotipo criollo, mientras que para el genotipo QPM su promedio fue de 5. De acuerdo con Sheehy y Cooper (1973) el número de hojas y arquitectura foliar varían en las plantas, dentro de la misma especie, así como también entre variedades.

El número de hojas está directamente relacionado con la eficiencia de intercepción y absorción de radiación fotosintéticamente activa, así como también, con la organización espacial de las hojas y ángulo de inserción foliar (Moreira *et al.*, 2005), por lo que es una variable morfológica importante, ya que es utilizada frecuentemente para los arreglos topológicos en los cultivos, para determinar la densidad de población ideal, para interceptar la máxima radiación solar, y reducir la competencia por luz (Oliveira *et al.*, 2010). En peso fresco de plántula, el genotipo QPM alcanzó un promedio de 24.36 g y el cultivar criollo 20 g.

En materia seca, el genotipo criollo presentó un promedio de 10.74% con respecto al genotipo QPM que fue de 12.82%. El peso seco aumentó conforme avanzó el desarrollo de la plántula, obteniendo mayores valores a 17 días. Resultados que coinciden con Teixeira *et al.* (2009) quienes reportan que con la madurez de la planta, se incrementa el peso seco. Se encontró también un incremento significativo de peso seco al aumentar los días de cosecha en ambos genotipos.

The number of leaves is directly related to the efficiency of interception and absorption of photosynthetically active radiation, as well as to the spatial organization of leaves and angle of leaf insertion (Moreira *et al.*, 2005), making it an important morphological variable, as it is frequently used for topological arrangements in crops, to determine the ideal population density, to intercept the maximum solar radiation, and to reduce competition for light (Oliveira *et al.*, 2010). Regarding to fresh seedling weight, the QPM genotype reached an average of 24.36 g and the creole cultivar of 20 g.

In dry matter, the creole genotype showed an average of 10.74% with respect to the QPM genotype that showed 12.82%. Dry weight increased as seedling development progressed, obtaining the highest values at 17 days. Results that coincide with Teixeira *et al.* (2009) who report that with the plant maturity, the dry weight increased. A significant increase in dry weight was also found by increasing the harvest days in both genotypes.

In green forage yield, the creole genotype reported an average of 20.72 kg m⁻² while for QPM maize an average of 22.2 kg m⁻². These results were similar to those from Bayardo (2006), who points out that the yield of fresh forage depended to a greater extent on the harvest day and the genotype fertilization. Based on the normal development of any plant, as age increases, growth increases until reaching an asymptotic value. Therefore, if the seed quantity is uniform, this variable will be higher as plant gets older. The values of these results are superior to those reported by Rodríguez (2003); Castro (2006); Izquierdo (2003), who established relationships of 10, 6, and 9 kg of green forage/kg of seed, respectively, to the 14 and 15 days, although the last author reported it at 9 days.

Figure 1 shows the values of the genetically contrasting genotypes. For the lysine content in green forage, in the first treatments it was shown that in both cultivars of QPM and creole maize there is an increase in the lysine percentage, that is to say, at 9, 11 and 13 days after sowing, values of 0.73, 1.12 and 1.17% for QPM maize were found and for the creole genotype the data are 0.19, 0.3 and 0.55% of lysine, later in the samples of 15 and 17 days a decrease in the two maize types was observed. In this regard, Dale (1997); Arano (1998) report values of 0.29% of lysine in grain.

En rendimiento de forraje verde, el genotipo criollo reportó un promedio de 20.72 kg m⁻² mientras que para el maíz QPM un promedio 22.2 kg m⁻². Estos resultados fueron similares a Bayardo (2006), quien señala que el rendimiento de forraje fresco dependió, en mayor medida, del día de cosecha y la fertilización del genotipo. Con base al desarrollo normal de cualquier planta, conforme aumenta la edad, el crecimiento se va incrementando hasta alcanzar un valor asintótico. Por lo tanto, si la cantidad de semilla es uniforme, esta variable será superior a mayor edad de la planta. Los valores de estos resultados son superiores a los reportados por Rodríguez (2003); Castro (2006); Izquierdo (2003), los cuales establecieron relaciones de 10, 6, y 9 kg de forraje verde/kg de semilla, respectivamente, a los 14 y 15 días, aunque el último autor lo reportó a los 9 días.

En la Figura 1 se muestran los valores que presentan los genotipos genéticamente contrastantes. Para el contenido de lisina en forraje verde, en los primeros tratamientos se observó que en ambos cultivares de maíz QPM y criollo existe un incremento en el porcentaje de lisina; es decir, a los 9, 11 y 13 días después de la siembra, se encontró valores para el maíz QPM de 0.73, 1.12 y 1.17% y para el genotipo criollo los datos son 0.19, 0.3 y 0.55% de lisina, posteriormente en los muestreos 15 y 17 días se aprecia un descenso en los dos tipos de maíces. Al respecto, Dale (1997); Arano (1998) reportan valores de 0.29% de lisina en grano.

La media a través de los muestreos fue de 0.864 y 0.384 para QPM y Criollo; lo cual significa, una superioridad de 43.43% del maíz mejorado. Al respecto, Arámbula (2015) reporta un incremento de 16% de lisina en maíz pregerminado. En este sentido, Mendoza *et al.* (2006) en un estudio de biodisponibilidad de lisina y triptófano en maíz de alta calidad de proteína y normal reportan que la lisina en el grano QPM fue superior desde 45 hasta 66% con respecto a la variedad normal. También concluyen que para el genotipo Opaco-2 se encontró 58.74% de lisina, característica influenciada por el genotipo, la densidad de población y la fertilización nitrogenada. En este sentido, Pohlman y Allen (2003) reportan que la ventaja del maíz QPM sobre el maíz Criollo, es que contiene el doble de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para la nutrición humana y animal. Por otra parte, Fufa *et al.* (2003) reportan que los maíces QPM's contienen entre 30 y 82% más de lisina que el maíz normal; asimismo, valores más altos de arginina, triptófano, histidina, treonina, cisteína, valina, también lo reportan Dale (1997) con 0.29% de lisina en grano. Todos estos resultados son inferiores a los encontrados en este estudio.

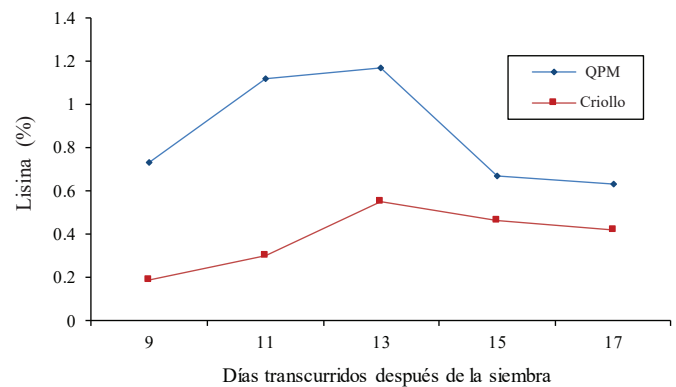


Figura 1. Contenido de lisina en forraje en maíz QPM y criollo a través de diferentes muestreos en 2014.

Figure 1. Lysine content in QPM and creole maize forage through differents sampling in 2014.

The mean through sampling was 0.864 and 0.384 for QPM and creole, respectively; which means a 43.43% superiority of the improved maize. In this regard, Arámbula (2015) reports a 16% increase in lysine in pregerminated maize. In this sense, Mendoza *et al.* (2006) in a lysine and tryptophan bioavailability study in high protein quality and normal maize report that lysine in QPM grain was superior from 45 to 66% with respect to the normal variety. They also concluded that for the genotype Opaco-2 58.74% of lysine was found, characteristic strongly influenced by genotype, population density and nitrogen fertilization. In this sense, Pohlman and Allen (2003) report that the main advantage of QPM maize over Creole maize is that it contains approximately twice as much lysine and tryptophan, essential amino acids for human and animal nutrition. On the other hand, Fufa *et al.* (2003) report that QPM maize contains between 30 and 82% more lysine than normal maize. Likewise, higher values of arginine, tryptophan, histidine, threonine, cysteine and valine are also reported by Dale (1997) with 0.29% of lysine in grain. All these results are inferior to those found in this research.

The results of tryptophan percentage through the five vegetative stages are shown in Figure 2. Such as in lysine, the tryptophan percentage is higher in all samples for QPM maize versus creole maize. The same behavior pattern was observed at 9, 11 and 13 days after sowing in both genotypes. There is an increase in this aminoacid content the growth and development vegetative days pass, however, at 15 and 17 days of sampling there is a decrease in the cultivars tryptophan content.

En la Figura 2 se presentan los resultados del porcentaje de triptófano a través de las cinco etapas vegetativas. Al igual que en el caso de lisina, el porcentaje de triptófano es superior en todos los muestreos para el maíz QPM versus maíz criollo. Se observa un mismo patrón de comportamiento de los 9, 11 y 13 días después de la siembra en ambos genotipos. Existe un incremento en el contenido de este aminoácido a medida que transcurren los días de crecimiento y desarrollo vegetativo de la plántula, sin embargo, a los 15 y 17 días del muestreo se registra una baja en el contenido de triptófano en los cultivares.

El promedio a través de los cinco muestreos, muestra una media de casi el doble de este aminoácido en el maíz QPM (0.862) con respecto al maíz normal (0.49) esto representa una superioridad del 56.84%. Estos resultados concuerdan con Ortega *et al.* (2001) quienes mencionan que la expresión del gen Opa2-2 llega a duplicar las cantidades de lisina y triptófano, y lo convierte en un maíz con valor nutritivo superior al maíz normal. Por su parte, Mendoza *et al.* (2006) reportan resultados de 0.41 y 0.44 g para grano y endospermo en maíz normal y además agregan que el maíz QPM para esta misma característica supera en 46 y 73%, respectivamente. También Poey (1978) encontró 0.85 g de triptófano en 100 g de proteína en maíz QPM y 0.45 en el testigo criollo. Por su parte, Bante y Prasanna (2004) reportan que los genotipos QPM, fueron mejor en el contenido de proteína y que existió alta significancia para lisina y triptófano entre ambos tipos de maíces. También se menciona, que en el maíz germinado existe 19% de aumento en la concentración de lisina y triptófano, y una modificación general de su composición química durante el proceso de germinación del grano (Arámbula, 2015).

Con respecto a la proteína total en todos los tratamientos se observa una superioridad del maíz QPM versus maíz común (Figura 3). Los valores para el genotipo de alto contenido de proteína oscilan de 7.49% en el primer muestreo a los 9 días hasta 19.86% de proteína a los 17 días después de la siembra; es decir, existe una respuesta lineal. En el maíz normal (criollo) los resultados fueron ascendentes hasta los 15 días, después existió una reducción de 3.24% con respecto al tratamiento anterior. También se muestra un promedio de proteína a través de los muestreos para el maíz QPM de 12.56% y para el maíz normal de 8.172%, esto indica, un incremento de 34.94% más para el genotipo QPM. Resultados similares reportan Cuevas-Rodríguez *et al.* (2004) quienes describen en su estudio que encontraron valores de proteína que oscilan de 9.1 a 9.13%. En otro

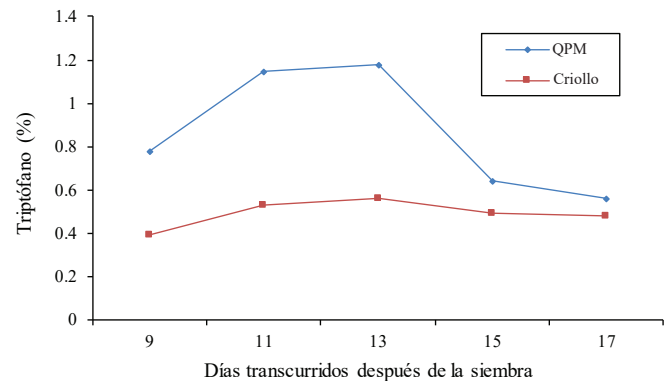


Figura 2. Contenido de triptófano en forraje de maíz QPM y criollo a través de diferentes muestreos en 2014.

Figure 2. Tryptophan content in QPM and creole maize forage through different samples in 2014.

The average of the five samples shows a mean of almost double of this amino acid in QPM (0.862) compared to normal maize (0.49), which represents a 56.84% superiority. These results agree with Ortega *et al.* (2001) who mention that the expression of the Opa2-2 gene doubles the amounts of lysine and tryptophan, making it a maize with higher nutritive value than normal maize. On the other hand, Mendoza *et al.* (2006) showed results of 0.41 and 0.44 g for grain and endosperm in normal maize and also add that the QPM maize for this characteristic surpasses in 46 and 73%, respectively. Poey (1978) also found 0.85 g of tryptophan in 100 g of protein in QPM maize and 0.45 in the creole control. Bante and Prasanna (2004) report that QPM genotypes showed higher protein content and that there was high significance for lysine and tryptophan between both maize types. It is also mentioned that in germinated maize there is a 19% increase in the concentration of lysine and tryptophan, and an overall modification of its chemical composition during the grain germination process (Arámbula, 2015).

Regarding the total protein in all treatments, a superiority of QPM maize versus common corn was observed (Figure 3). Values for the high protein genotype ranged from 7.49% in the first sampling at 9 days to 19.86% protein at 17 days after sowing, ie there is a linear response. In normal maize (creole) results elevated constantly 15 days, after which there was a reduction of 3.24% with respect to the previous treatment. An average protein is also shown through sampling for QPM maize of 12.56% and for normal maize of 8.172%, this indicates an increase of 34.94% for the QPM genotype. Similar results are reported by Cuevas-Rodríguez *et al.* (2004) who describe in their paper protein

estudio similar, Fufa *et al.* (2003) encontraron que la proteína oscila de 7 hasta 11.8% entre híbridos normales y QPMs, respectivamente. Mendoza *et al.* (2006) reportan de un estudio de triptófano un valor de 11% de proteína en maíz QPM, esta ventaja en el porcentaje de proteína del QPM se atribuye al gen Opaque-2 (Ortega *et al.*, 2001).

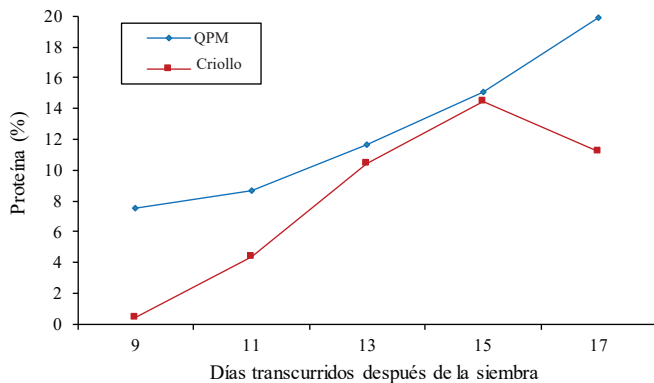


Figura 3. Porcentaje de proteína en forraje en maíz criollo y de alto contenido de proteína (QPM) en diferentes muestreos en 2014.

Figure 3. Protein percentage in creole and high protein (QPM) maize forage in different samples in 2014.

En la Figura 4 se presenta el rendimiento de forraje, se observa que en el muestreo a los 9 días después de la siembra el genotipo normal de elotes occidentales fue ligeramente superior al maíz QPM superando por 1 kg m^{-2} , esto se atribuye a la precocidad y velocidad de emergencia, posteriormente en los muestreos de 11, 13, 15, y 17 días, el cultivar QPM fue superior, alcanzó rendimientos desde 20.46 kg m^{-2} hasta 27.14 kg m^{-2} . Ambos genotipos alcanzan su máximo rendimiento a los 17 días después de la siembra; sin embargo, la recomendación por la superioridad en este estudio, es explotar el material mejorado genéticamente (QPM), aunado a esto también presenta un mayor contenido de lisina, triptófano y proteína. Al respecto, Castro (2006) y Rodríguez (2003) obtuvieron hasta 10 kg de forraje verde por kilogramo de semilla a los 14 y 15 días después de la siembra. Aunque el resultado de rendimiento de forraje fue más alto a los 17 días después de la siembra, la calidad en lisina y triptófano alcanza su máximo a los 13 días en ambos maíces.

En relación a la proteína el maíz QPM tiene un respuesta lineal, sin embargo, el maíz normal presenta su valor más alto a los 15 días, en este sentido Mendoza *et al.* (2006); Vivek *et al.* (2008) en un estudio relacionado mencionan

values ranging from 9.1 to 9.13%. In another similar study, Fufa *et al.* (2003) found that the protein oscillates from 7 to 11.8% among normal hybrids and QPMs, respectively. Mendoza *et al.* (2006) report from a tryptophan study a 11% of protein in QPM maize, this advantage in the percentage of QPM protein is attributed to the gene Opaque-2 (Ortega *et al.*, 2001).

Figure 4 shows the forage yield, it is shown that in the sampling at 9 days after sowing the normal genotype of western maize was slightly higher than the QPM maize surpassing by 1 kg m^{-2} , which is attributed to the precocity and emergence speed, later on samples of 11, 13, 15, and 17 days, cultivar QPM was superior, reaching yields from 20.46 kg m^{-2} to 27.14 kg m^{-2} . Both genotypes peak at 17 days after planting; however, the recommendation for superiority in this research is to exploit the genetically improved material (QPM), which also showed a higher content of lysine, tryptophan and protein. In this regard, Castro (2006) and Rodríguez (2003) obtained up to 10 kg of green fodder per kilogram of seed at 14 and 15 days after sowing. Although the forage yield was higher at 17 days after sowing, the quality of lysine and tryptophan reached their maximum at 13 days in both maize types.

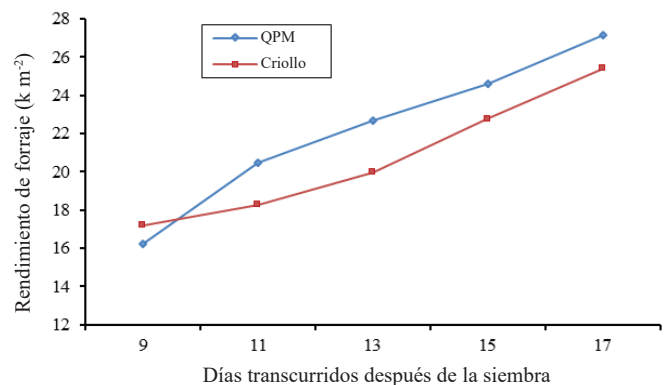


Figura 4. Promedio de rendimiento de forraje en maíz criollo y de alto contenido de proteína (QPM) en diferentes muestreos en 2014.

Figure 4. Average yield of forage in Creole and high protein (QPM) maize in different samples in 2014.

In relation to the protein QPM maize shows a linear response, however, normal maize presents its highest value at 15 days, in this sense Mendoza *et al.* (2006); Vivek *et al.* (2008) in a related research mention that the protein content shows a moderately strong, positive and highly significant

que el contenido de proteína muestra una correlación moderadamente fuerte, positiva y altamente significativa con el contenido de lisina y triptófano, de tal forma que un aumento en la proteína implica también un aumento en la lisina y el triptófano. La proteína cruda en maíz común apenas alcanzó 10% (Paliwal *et al.*, 2001).

En relación a la proteína cruda Taiz y Zeiger (2003); Muller *et al.* (2006) describen que la disminución de la calidad de la proteína cruda en la producción de forraje verde hidropónico, es debido a la maduración de la planta, ya que durante el desarrollo de órganos estructurales como tallos y peciolos el nitrógeno se desplaza hacia las partes más jóvenes, esto disminuye la fracción de biomasa activa y promueve una dilución del nitrógeno, es particular de cada especie, es un elemento de elevada movilidad en la planta y en los primeros estadios de desarrollo se concentra en las partes de crecimiento y está en función del cultivo y es dependiente del estado de desarrollo fisiológico de la planta. Carbadillo (2005) reporta 19.41% de proteína cruda en forraje verde hidropónico, valor muy similar al maíz QPM a los 17 días después de la siembra.

Conclusiones

El rendimiento de forraje verde alcanza sus valores más altos a los 17 días después de la siembra, sin embargo, el más alto contenido de lisina y triptófano se determinó a los 13 días en ambos genotipos. Asimismo, se concluye que la proteína del maíz QPM fue más alta a los 17 días con un valor de 19.86% y para el maíz criollo a los 15 días con 14.45%. Cabe señalar, que con la técnica de pregerminados o hidroforraje en los dos genotipos se mejora la cantidad de lisina, triptófano y proteína.

Literatura citada

- AACCA (Approved Methods of the Association of Cereal Chemists). 1995. 9th (Ed.). The Association, St. Paul, MN.
- Arámbula, V. G. 2015. Elaboración de tortillas de maíz de mejor calidad nutricional mediante el uso de grano germinado utilizando el método tradicional de nixtamalización. www.siac.org.mx. 5 p.
- Arano, C. 1998. Forraje verde hidropónico y otras técnicas de cultivo sin tierra. Buenos Aires. 52 p.
- Azevedo, R. A.; Lancien M. and Lea P. J. 2006. The aspartic acid metabolic pathway, an exciting and essential pathway in plants. *Amino Acids* 30: 143-162.

correlation with lysine and tryptophan content, so an increase in protein would also imply an increase in lysine and tryptophan. The crude protein in common maize barely reached 10% (Paliwal *et al.*, 2001).

In relation to the crude protein Taiz and Zeiger (2003) and Muller *et al.* (2006) describe that the quality decrease of crude protein in the hydroponic green forage production is due to the plant maturation, because during the development of structural organs such as stems and petioles the nitrogen moves towards the youngest parts, decreasing the active biomass fraction and promotes a nitrogen dilution, but is particular to each species and is an element of high mobility in the plant and in the early stages of development is concentrated in the growth parts, it is a function of cultivation and depends on the physiological development state of the plant. Carbadillo (2005) reported 19.41% of crude protein in hydroponic green forage, a very similar value to QPM maize at 17 days after sowing.

Conclusions

The yield of green forage reached its highest values at 17 days after sowing, however, the highest lysine and tryptophan content was determined at 13 days in both genotypes. It was also concluded that the QPM maize protein was higher at 17 days with a value of 19.86% and for creole maize at 15 days with 14.45%. It should be noted that with the pregerminates or hydroforraje technique in both genotypes the amount of lysine, tryptophan and protein was improved.

End of the English version



- Bantte, K. and Prasanna, B. M. 2004. Endosperm protein quality and kernel modification in the quality protein maize inbred lines. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 13(1):57-60.
- Bayardo, P. R.; Cigales, R. M. R.; Lorenzana, S. J. G. y Urquiaga, S. 2006. Caracterización de variedades de maíz mediante 15N como marcador en tres etapas fenológicas. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:13-17.
- Carballido, C. 2005. Forraje verde hidropónico. Artículos silvoagropecuarios: forraje verde hidropónico (en línea). Chile. <http://www.ofertasagricolas.cl/articulos/88>.
- Castro, A. 2006. Forraje hidropónico para alimentar cabras. MAG. Costa Rica. www.mag.go.cr/bibliotecavirtuaanimal/cabra_hidro.html.

- Cuevas, R. E. O.; Milan, C. J.; Mora, E. R.; Cardenas, V. O. G. and Reyes, M. C. 2004. Quality protein maize (*Zea mays* L.) tempeh flour through solid state fermentation process. *Lebensmittel-Wissenschaftund-Technologie*. 37(1):59-67.
- Dale, N. 1997. Ingredient analysis table: 1997 edition. *Feedstuffs Reference Issue*. 69(30):24-31.
- Elizondo, J. 2005. Forraje verde hidropónico. Una alternativa para la alimentación animal. *Revista ECAG Informa*. (32):36-39.
- FAO. 2001. Manual técnico forraje verde hidropónico. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. 70 p. <http://www.fao.org/a-ah472s.pdf>.
- FAO. 2016. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.
- Fufa, H.; Akalu, G.; Wondimu, A.; Taffesse, S.; Gebre, T.; Schlosser, K.; Noetzold, H. and Henle, T. 2003. Assessment of protein nutritional quality and effects of traditional processes: a comparison between Ethiopian quality protein maize and five Ethiopian adapted normal maize cultivars. *Ethiopian Health and Nutrition Research Institute*. 47(4):269-273.
- Hartcamp, A. D.; White, J. W.; Rodríguez, A. A.; Bänzinger, M.; Hernández, G. and Bates, H. 2000. Modified method for rapid tryptophan analysis in maize. *CIMMYT. Research Bulletin*. 13:3-6.
- Hernández, H. H. and Bates, L. S. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize *CIMMYT. Research Bulletin*. 13:3-7.
- Herrera, Y. y Saldaña, R. 1999. La importancia de los maíces y sorgos mejorados para producción de ensilaje. *In: Memorias de 2^{do} taller de especialidades de maíz*. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 135 pp.
- Huang, S.; Whitney, R. A.; Zhou, Q.; Kathleen, P. M.; Dale, A. V.; Jan, A.; Alan L. K. and Luethy M. H. 2004. Improving nutritional quality of maize proteins by expressing sense and antisense zein genes. *J. Agric. Food Chem*. 52(7):1958-1964.
- Izquierdo, J. 2003. El forraje verde hidropónico (FVH) como tecnología apta para pequeños productores agropecuarios. www.fao.org/3/a-ah472s.pdf.
- Less, P. 1983. Ganadería hidropónica. *Agricultura de las Américas*. 32(10):16-41.
- Llanos, C. M. 1984. El maíz: su cultivo y aprovechamiento. Ed. Mundiprensa. Madrid, España. 43-50 pp.
- Lomelí, Z. H. M. 2000. Forraje verde hidropónico. El forraje del futuro... *Hoy. Agricultura*. 63:15-18.
- Mendoza, E. M.; Andrio, E.; Juárez, E.; Mosqueda, C.; Latournerie, L.; Castañón, G.; López, A. y Martínez E. 2006. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia*. 22(2):153-161.
- Mendoza, E. M.; Morán, N.; Andrio, E.; López, A.; Rodríguez, S. A. y Castañón, G. 2007. Efecto de nitrógeno y la densidad de población en el contenido de lisina en la semilla de maíz en México. *Agron. Mesoam*. 18(2):177-183.
- Moreira P, A.; Marchetti M, E.; Vieira M, C.; Novelino J, O.; Gonçalves M, C. e Robaina, A. 2005. Desenvolvimento vegetativo e teor foliar de macronutrientes da calêndula (*Calêndula officinalis* L.) adubada com nitrogênio e fósforo *Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu*. 8(1):18-23.
- Muller, L. S.; Osmar S. M. and Augusto, P. 2006. Hydroponic millet forage: production and nourishing quality in different sowing densities and harvest ages. *Cienc. Rural*. 36:1094-1099.
- Oliveira, A. P.; Oliveira, F. J. V.; Silva, J. A.; Oliveira A. N. P.; Santos R. R. e Silva, D. F. 2010. Parcelamento e fontes de nitrogênio para produção de maxixe. *Hortic. Bras*. 28:218-221.
- Ortega, C. A.; Cota, A. O.; Vasal, S. K.; Villegas, M. E.; Córdoba, O. H.; Barreras, S. M. A.; Reyes, M. C. A.; Preciado, O. E. R.; Terrón, I. A. y Espinoza, C. A. 2001. H-441C, H-442C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteínica mejorada para el noroeste y subtropical de México. Ed. INIFAP. Folleto Técnico Núm. 41:4-15.
- Ortega, E.; Villega, E. and Vasal, S. K. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem*. 63:446-451.
- Paliwal, R. L. 2001. Maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción. FAO. *Producción y protección vegetal*. 56-78 pp.
- Palomino, K. 2008. Producción de forraje hidropónico. Primera edición. Empresa, editora Macro EIRL. Miraflores Perú. 5-59 pp.
- Poehlman, J. M. y Allen, S. D. 2003. Mejoramiento genético de las cosechas. Trad. Guzmán, O. M. 2^{da} edición. Ed. LIMUSA. México, D. F. 509 p.
- Poey, D. F. R. 1978. Mejoramiento integral del maíz: rendimiento y valor nutritivo, hipótesis y métodos. Tesis Doctoral, Colegio de Posgraduados, Chapingo, México. 206 p.
- Rodríguez, S. A. C. 2003. Como producir con facilidad, rapidez y óptimos resultados forraje verde hidropónico. Editorial Diana. México, D. F. 113 p.
- SAGARPA (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2014. Sistema producto, maíz, producción, costos. <http://www.campomexicano.gob.mx;www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/documents/ebespañol300909.pdf>.
- Sheehy, J. E. and Cooper, J. P. 1973. Light interception, photosynthetic activity, and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. *J. Appl. Ecol. Oxford*. 10(1):239-250.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp.
- Taiz, L. y Zerge, E. 2003. *Fisiología vegetal*. 3^{ra} (Ed.). Editorial Artemed, Porto Alegre, Brasil. 720 p.
- Tarrillo, H. 2007. Producción de forraje verde hidropónico. Arequipa, Perú. <http://www.forrajehidroponico.com/art001.htm>.
- Teixeira, V. C.; Miranda, D.; Coser, C.; Martins, E.; Nascimento, D. D. e Ribeiro, E. J. 2009. Producao do materia seca e valor nutritivo de pastagem de capim-elefante sob irrigacao e edubacao nitrogenada. *Rev. Bras. Zoot*. 38:435-442.
- Tsai, C. Y.; Dalby A. and Jones, R. A. 1975. Lysine and tryptophan increases during germination of maize seed. *Cereal Chem*. 52:356-360.
- USDA (United States Department of Agriculture-Foreign Agricultural Service). 2015. Producción mundial de granos y cereales. <http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome>.
- Vargas-Rodríguez, C. F. 2008. Comparación productiva de forraje verde hidropónico de maíz, arroz y sorgo negro forrajero. *Agron. Mesoam*. 19(2):233-240.
- Vivek, B. S.; Krivanek, A. F.; Palacios, R. N. y Twumasi, A. S. 2008. Breeding quality protein maize (QPM): protocols for developing QPM cultivars. *CIMMYT, Mexico, D. F., Mexico*. 50 p.
- Villegas, E.; Ortega, E. and Bauer, R. 1984. Chemical methods used at CIMMYT for determining protein quality in cereal grains. Folleto Técnico. CIMMYT. México 35 p.