

PRODUCCIÓN Y CONTENIDO NUTRIMENTAL DE VAINAS DE TRES VARIANTES DE MEZQUITE (*Prosopis laevigata*) EN EL ALTIPLANO POTOSINO, MÉXICO

YIELD AND NUTRIENT CONTENT OF PODS FROM THREE VARIANTS OF MEZQUITE (*Prosopis laevigata*) IN THE POTOSINO HIGHLANDS, MEXICO

Juan C. **García-López**¹, Héctor M. **Durán-García**^{1*}, José A. **de-Nova**¹, Gregorio **Álvarez-Fuentes**¹, Juan M. **Pinos-Rodríguez**², Héctor A. **Lee-Rangel**³, Samuel **López-Aguirre**³, David **Ruiz-Tavares**¹, Juan A. **Rendón-Huerta**⁴, Jorge G. **Vicente-Martínez**², Magdalena **Salinas-Rodríguez**¹

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 78377. San Luis Potosí. México. (hduran@uaslp.mx). ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Veracruzana, 91710, Veracruz, México. ³Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 78321. San Luis Potosí. México. ⁴Coordinación Académica Región Altiplano Oeste. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 78000. San Luis Potosí. México.

RESUMEN

El árbol de mezquite (*Prosopis laevigata*) es característico de la vegetación de las regiones áridas de México y otras partes del mundo. Este árbol tiene valor socioeconómico por sus semillas que se usan para producir harina y para alimentar ganado en condiciones de traspatio (solares), además es apreciado por sus flores y madera. El objetivo del estudio fue cuantificar la producción de vaina de mezquite (kg MS ha⁻¹), caracterizar su morfología y analizar su composición química en seis municipios del Altiplano Potosino de México. El diseño experimental fue completamente al azar, con tamaño de muestra de tres árboles por municipio, en seis municipios del estado de San Luis Potosí. La caracterización morfológica y la evaluación de la composición química permitieron identificar tres variantes (A, B, C) de vainas de mezquite. La producción estimada de vaina de mezquite fue 3.7 Mg ha⁻¹ en una densidad promedio de 194 árboles por hectárea. El diámetro normal (DN) fue la variable que determinó la respuesta en la producción de vaina (R²=0.927; p≤0.05). La producción promedio de vaina de mezquite se consideró buena, dadas las condiciones climáticas imperantes en la región (precipitación 400 mm y temperatura 18 °C). Con independencia de la variante, los mejores atributos de la vaina de mezquite fueron: contenido alto de carbohidratos no estructurales (48.7%), nivel medio de proteína (9.1%), y nivel bajo (26.7%) de fibra detergente neutra (FDN). Los valores son equiparables a los de otros ingredientes

ABSTRACT

The mesquite tree (*Prosopis laevigata*) is characteristic of the vegetation in the arid regions of Mexico and other parts of the world. This tree has socioeconomic value for its seeds are used to produce flour and to feed small species livestock in rural homes backyards (named *solares* in Mexico). Mesquite is also valued for its flowers and wood. The objective of the study was to quantify the pod yield of mesquite (kg MS ha⁻¹), characterizing its morphology and analyze its chemical composition in six municipalities of the Potosino highlands of México. The experimental design was completely random, with a sample size of three trees per municipality, in six municipalities of the state of San Luis Potosí. The morphological characterization and the evaluation of the chemical composition allowed to identify three variants (A, B, C) of mesquite pods. The estimated mesquite pod yield was 3.7 Mg ha⁻¹ at an average density of 194 trees per hectare. The normal diameter (DN) was the variable that determined the response in the pod yield (R²=0.927; p≤0.05). The average mesquite pod yield was considered appropriate, given the prevailing climatic conditions in the region (400 mm precipitation and 18 °C mean temperature). Regardless of the variant, the best attributes of the mesquite pod were high content of non-structural carbohydrates (48.7%), medium level of protein (9.1%), and low level (26.7%) of neutral detergent fiber (FDN). The values are comparable to those of other conventional ingredients used for feeding cattle, therefore, they can be recommended to complement the diet of minor livestock in the Potosino highlands. The model developed to estimate pod

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2018. Aprobado: febrero, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 821-831. 2019.

convencionales utilizados para la alimentación del ganado, por lo cual se pueden recomendar para complementar la dieta del ganado doméstico en el Altiplano Potosino. El modelo desarrollado para estimar la producción de vaina del árbol de mezquite (*P. laevisgata*) a partir del diámetro normal y la altura del árbol resultó confiable (>90%) en estos municipios y condiciones del estado de San Luis Potosí, México.

INTRODUCCIÓN

El mezquite (*Prosopis laevisgata* Humb. et Bonpl. ex Willd) es una especie arbórea, multiuso, que forma parte de los ecosistemas árido y semiárido de México, crece silvestre en regiones con condiciones adversas para la agricultura, y es uno de los recursos del país con valor socioeconómico. En el estado de San Luis Potosí, México, existen *P. laevisgata*, *P. glandulosa* var. *Torreyana* y *P. juliflora*, y el Altiplano Potosino presenta la mayor distribución y aprovechamiento de este recurso (López et al., 2006). El mezquite tiene gran importancia en esta región, porque los productores pecuarios de bajos recursos lo utilizan como forraje durante la época de estiaje, ello permite a este sector alimentar a su ganado y reducir los costos de mantenimiento (Gómez et al., 2009). Evidencias arqueo-botánicas y documentos históricos establecen que varias especies de mezquite constituyeron una importante fuente de alimento, combustible y forraje en diversos países de América (Sauceda et al., 2014; Toledo et al., 2014). El mezquite de la especie *P. laevisgata* es de las más abundantes en los ecosistemas árido y semiárido de México. Presenta buen contenido de proteína, azúcares y fibra dietética (Peña-Avelino et al., 2014) por lo cual es un recurso natural renovable de gran valor en la dieta de animales domésticos.

Las vainas de *P. laevisgata* presentan variaciones morfológicas en tamaño y color (Cedillo y Mayoral, 1997), aunque todas son muy nutritivas (Carrillo et al., 2014; Peña-Avelino et al., 2016; Negrete-Sánchez et al., 2017), pero se desconoce hasta ahora, si hay diferencias de contenido nutrimental entre ellas. Al respecto de la composición nutrimental del mezquite y de acuerdo con Galán et al. (2008), en países de América Latina, se encontró que este árbol aporta buen contenido de energía, a través de su contenido de proteína, carbohidratos, grasas y fibra cruda, a la dieta de ganado doméstico que se destina para la producción de carne, leche y huevo. López et al. (2006)

yield of the mesquite tree (*P. laevisgata*) from its normal diameter and height was reliable (>90%) in these municipalities and conditions of the state of San Luis Potosí, Mexico.

INTRODUCTION

The mesquite (*Prosopis laevisgata* Humb. et Bonpl. ex Willd) is a multi-purpose tree species that is part of Mexico's arid and semi-arid ecosystems, grows wild in regions with adverse conditions for agriculture, and it is a resource with socioeconomic value for the country. In the state of San Luis Potosí, Mexico, present species and varieties are *P. laevisgata*, *P. glandulosa* var. *Torreyana* and *P. juliflora*, and the Potosino highlands has the greatest distribution and use of this resource (López et al., 2006). The mesquite is of great importance in this region, because low-income livestock producers use it as fodder during dry season, allowing this sector to feed their livestock and reduce maintenance costs (Gómez et al., 2009). Archaeological-botanical evidence and historical documents establish that several species of mesquite constituted an important source of food, fuel and fodder in various countries of America (Sauceda et al., 2014; Toledo et al., 2014). The mesquite of the *P. laevisgata* species is one of the most abundant in the arid and semi-arid ecosystems of Mexico. It has a good content of protein, sugars and dietary fiber (Peña-Avelino et al., 2014), which is why it is a renewable natural resource of great value in the diet of domestic animals.

P. laevisgata pods show morphological variations in size and color (Cedillo and Mayoral, 1997), and although they all are highly nutritious (Carrillo et al., 2014; Peña-Avelino et al., 2016; Negrete-Sánchez et al., 2017), it is unknown until now if there are differences in nutritional content among them. Regarding the nutritional composition of mesquite and according to Galán et al. (2008), it was found that this tree provides good energy content through its protein, carbohydrate, fat and raw fiber content to the diet of domestic livestock which is destined for meat, milk and egg production, in Latin American countries. López et al. (2006) indicated that one hectare of land in the Potosino highlands can sustain an approximate density of 200 trees and produce up to 2.2 Mg of MS (dry matter) in pods. Therefore, to generate alternatives in the efficient use of renewable natural resources in the region, and because of *P.*

indicaron que una hectárea de terreno en el Altiplano Potosino puede albergar una densidad aproximada de 200 árboles y producir hasta 2.2 Mg de MS de vainas. Por lo anterior, para generar alternativas en el uso eficiente de los recursos naturales renovables de la región, y porque *P. laevigata* es opción atractiva por su abundancia; el objetivo de este estudio fue cuantificar la producción de vaina de mezquite (kg MS ha⁻¹), caracterizar su morfología y analizar su composición química en seis municipios del Altiplano Potosino de México. La hipótesis fue que la cantidad de vaina puede estimarse a partir de variables morfológicas y que, al menos una de las variantes de forma de vaina, aporta contenido nutrimental suficiente para recomendar al mezquite (*P. laevigata*) como un forraje apropiado, a la disposición de los productores de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Altiplano Potosino al norte de México, en los municipios de Cedral, Charcas, Venado, Villa de Guadalupe, Matehuala y Moctezuma (Figura 1); el municipio de San Luis Potosí se indica solo como referente, pues en él se ubica la capital del estado. La selección de los municipios se hizo de acuerdo con dos criterios: 1) evidencia histórica y arqueobotánica de una cultura de uso del mezquite, 2) abundancia del recurso. El área de estudio tiene como climas predominantes el seco templado (Bsk) y el seco semicálido (BS h), presenta una temperatura media anual de 16 a 18 °C, con precipitación pluvial media anual de 400 mm, y vegetación predominante de matorral rosetófilo y micrófilo (García, 1988).

Caracterización química y morfológica

Los análisis morfológicos y químicos se realizaron en el laboratorio de ciencia animal del Instituto de Investigaciones de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, en muestras recolectadas de tres árboles de mezquite seleccionados al azar, en cada uno de los municipios ya señalados. De cada árbol se obtuvieron 2 kg de vainas de julio a agosto de 2016. Las vainas se secaron a temperatura ambiente durante tres semanas en bandejas de cartón y papel absorbente, en un lugar fresco, ventilado y protegido de los rayos solares directos; una vez secas, se realizó la descripción fenotípica de las vainas. Después, se molieron en un molino Thomas-Willey, con criba de 1 mm y se almacenaron hasta realizar los análisis químicos proximales en

laevigata is an attractive option due to its abundance; the objective of this study was to quantify the pod yield of mesquite (kg MS ha⁻¹), characterize its morphology and analyze its chemical composition in six municipalities of the Potosino highlands of México. The hypothesis was that the amount of pod yield can be estimated from morphological variables and that, at least one of the pod-shaped variants, provides sufficient nutritional content to recommend mesquite (*P. laevigata*) as an appropriate fodder, available to the producers in the region.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was carried out in the Potosino highlands, North of Mexico, in the municipalities of Cedral, Charcas, Venado, Villa de Guadalupe, Matehuala and Moctezuma (Figure 1); the municipality of San Luis Potosí is indicated only as a reference, since the state capital is located there. The selection of the municipalities was made according to two criteria: 1) historical and archaeobotanical evidence of a cultural use of mesquite, 2) abundance of the resource. The study area has mild dry (Bsk) and semi-warm dry (BS h) predominant climates, it has an average annual temperature of 16 to 18 °C, with annual average rainfall of 400 mm, and predominant vegetation of rosette- and microphyllae scrublands (García, 1988).

Chemical and morphological characterization

The morphological and chemical analyzes were carried out in the animal science laboratory of the Research Institute of Desert Zones under the Autonomous University of San Luis Potosí, in samples collected from three mesquite trees selected randomly, in each of the municipalities previously indicated. Pods (2 kg) were obtained from each tree from July to August 2016. The pods were dried at room temperature for three weeks in cardboard trays and absorbent paper, in a cool and ventilated place protected from direct sunlight. Once dried, the phenotypic description of the pods was performed. Afterwards, they were crushed in a Thomas-Willey mill, with a 1 mm sieve and stored until proximal laboratory chemical analyzes were carried out: humidity, crude protein, crude fat, crude fiber and ashes (AOAC, 2016). The neutral detergent (FDN) and acid detergent (FDA) fiber content were determined through the Van Soest and Robertson (1985) method.

At each sampling site, 10 trees were collected, of which the normal diameter (DN) and total height were determined and

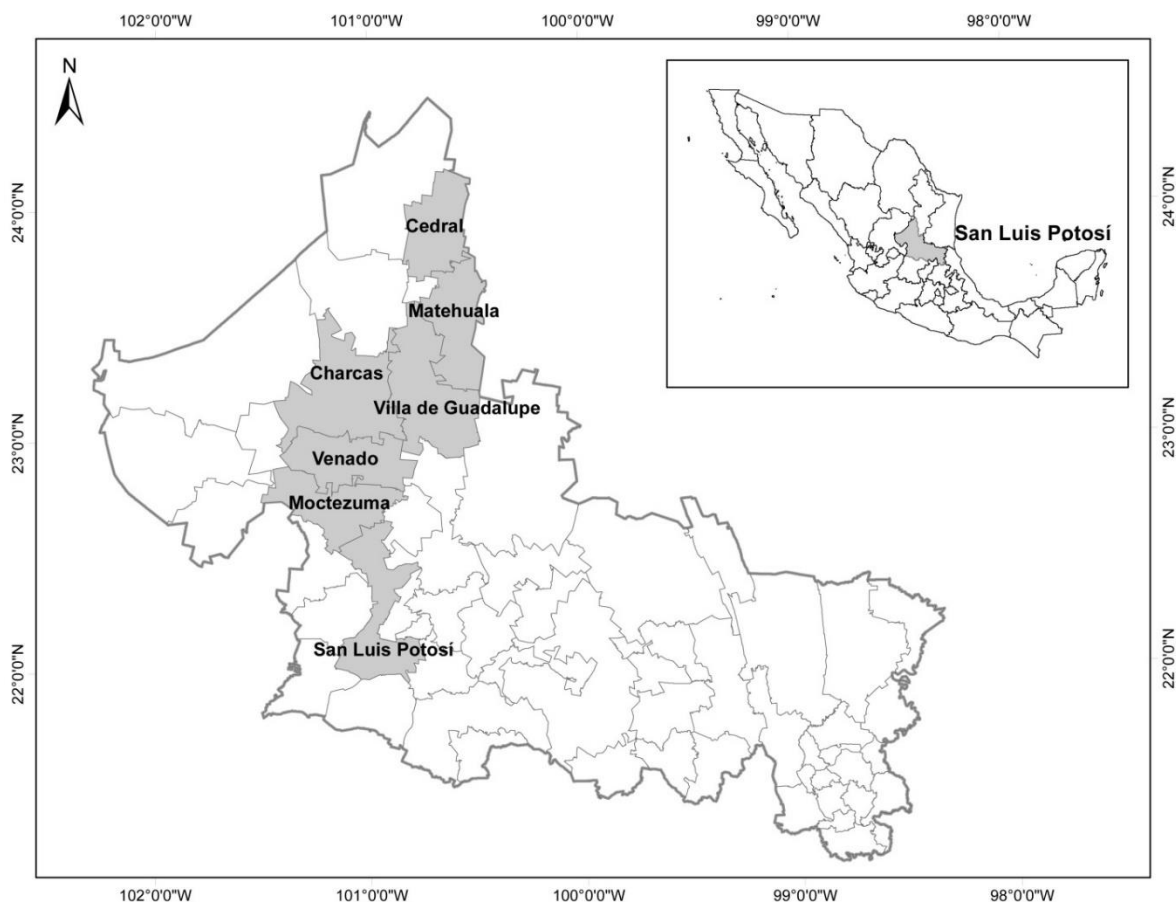


Figura 1. Localización del área de estudio (INEGI, 2016).

Figure 1. Location of study area (INEGI, 2016).

laboratorio: humedad, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y cenizas (AOAC, 2016). El contenido de fibra detergente neutra (FDN) y detergente ácida (FDA) se determinaron por el método de Van Soest y Robertson (1985).

En cada sitio de muestreo se hizo recolecta en 10 árboles, de los cuales se determinó el diámetro normal (DN) y la altura total, que se utilizaron para crear la ecuación de estimación de la producción de vainas. La caracterización morfológica de las vainas se hizo con base en las mediciones de peso, largo, ancho, número de segmentos, grosor, color y número de semillas. De cada variante hubo entonces 60 vainas, que se colocaron 48 h en una estufa de aire forzado (Marca ARSA) a 55 °C, y se colocaron en un desecador; una vez a temperatura ambiente, las vainas se evaluaron con un vernier y se abrieron para contar el número de semillas en cada una de ellas.

Las semillas se evaluaron en términos de peso, largo, ancho, grosor y color. Las semillas recolectadas se depuraron y secaron 24 h al aire libre. El color se evaluó comparando cada vaina y tres semillas de cada vaina con las cartas de colores del Manual

were used to create the estimating equation of pod yield. The morphological characterization of the pods was made based on measurements of weight, length, width, number of segments, thickness, color and number of seeds. Of each variant there were then 60 pods, which were placed in a forced air oven (ARSA brand) for 48 hours at 55 °C, and placed in a desiccator; once at room temperature, the pods were measured with a Vernier ruler and opened to count the number of seeds in each of them.

The seeds were evaluated in terms of weight, length, width, thickness and color. The collected seeds were purified and dried outdoors for 24 hours. The color was evaluated by comparing each pod and three seeds of each pod with the color charts of the Munsell Manual for identification of colors in plants (1997); once the most similar color to the sample was identified, its code was registered. In order to assess the density of trees of the *P. laevigata* species, their number was counted in 1 ha of each municipality and the pod yield (dry-matter based, kg MS ha⁻¹) was estimated using the prediction equation generated with the multiple regression analysis.

de identificación de colores en plantas de Munsell (1997), una vez identificado el color más semejante a la muestra se registró su código. Para evaluar la densidad de árboles de la especie *P. laevigata* se contó su número en 1 ha de cada municipio y se estimó la producción de vaina (kg MS ha⁻¹) utilizando la ecuación de predicción generada con el análisis de regresión múltiple.

Análisis estadístico

Para probar diferencias en la caracterización morfológica y en la composición química se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones (árboles) en cada uno de los seis municipios, un total de 18 árboles. La base de datos morfológicos y químicos se analizó con el PROC GLM de SAS[®] (SAS Institute Inc., 1991) para realizar un ANDEVA de dos vías y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) para determinar diferencia estadística. (Steel *et al.*, 1997). Para la variable color se utilizó la prueba de Ji cuadrada. Para estimar la producción de vaina de mezquite, una vez generada la ecuación con datos de la base general, se seleccionaron y muestrearon aleatoriamente seis árboles de mezquite de los municipios Matehuala, Cedral, Villa de Guadalupe, Charcas, Venado y Moctezuma, para verificar la validez de la ecuación generada por regresión lineal múltiple, a partir del DN y la altura total se utilizó el Proc STEPWISE (SAS Institute Inc., 1991); así como para identificar las variables morfológicas con valor de predicción mayor y estimar la producción de vaina de mezquite de manera confiable.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica y composición química de vainas y semillas

Tres variantes de vainas de mezquite se diferenciaron según color, tamaño y forma. La variante A es de tamaño mediano, con segmentación poco pronunciada, coloración amarillenta con tonalidades moradas o rojizas, es la variante más común y abundante dentro de la región de estudio; la variante B es de tamaño largo, con gran segmentación y coloración amarillenta, en ciertas ocasiones morada o rojiza; y la variante C es de tamaño pequeño, con pericarpio grueso y poca segmentación, de coloración amarillenta o paja (Figura 2).

Los valores de PC de las vainas de *P. laevigata* variaron de 8.14 a 10.28% (Cuadro 1) y son similares a los reportados por Negrete-Sánchez *et al.* (2017), mientras que Carrillo *et al.* (2014) reportaron hasta 17% de PC. La composición química de las tres

Statistical analysis

For testing differences in morphological characterization and in chemical composition, a completely randomized experimental design was used, with three repetitions (trees) in each of the six municipalities, a total of 18 trees. The morphological and chemical database was analyzed with the SAS[®] PROC GLM (SAS Institute Inc., 1991) to perform a two-way ANOVA and the means were compared with the Tukey test ($p \leq 0.05$) to determine statistical difference (Steel *et al.*, 1997). The Chi-square test was used for the color variable. For the estimation of mesquite pod yield, once the equation was generated with data from the general database, six mesquite trees from the Matehuala, Cedral, Villa de Guadalupe, Charcas, Venado and Moctezuma municipalities were randomly selected and sampled, to verify the validity of the equation generated by multiple linear regression from the DN and the total height, the STEPWISE Proc (SAS Institute Inc., 1991) was used; as well as to identify the morphological variables with higher prediction values and estimating reliably the pod yield of mesquite.

RESULTS AND DISCUSSION

Morphological characterization and chemical composition of pods and seeds

Three variants of mesquite pods were distinguished according to their color, size and shape. Variant A is of medium size, with slightly pronounced segmentation, yellowish with purple or reddish tones, it is the most common and abundant variant within the study region; variant B is larger in size, with great segmentation and yellowish, sometimes purple or reddish; and variant C is smaller in size, with thick pericarp and little segmentation, yellowish or straw colored (Figure 2).

The PC (crude protein) values of *P. laevigata* pods varied from 8.14 to 10.28% (Table 1) and are similar to those reported by Negrete-Sánchez *et al.* (2017), while Carrillo *et al.* (2014) reported up to 17% of PC. The chemical composition of the three variants was similar to that observed by Baraza *et al.* (2008), who obtained values of 17.4% of crude protein (PC), 3.4% of ashes and 32.3% of crude fiber of the *P. laevigata* pod for feeding goats, common cattle in semi-arid areas of Mexico. The contents of FC, FDN and FDA obtained (Table 1) indicate little indigestible fiber in the mesquite pod in its three variants. Andrade-Montemayor *et al.* (2011)

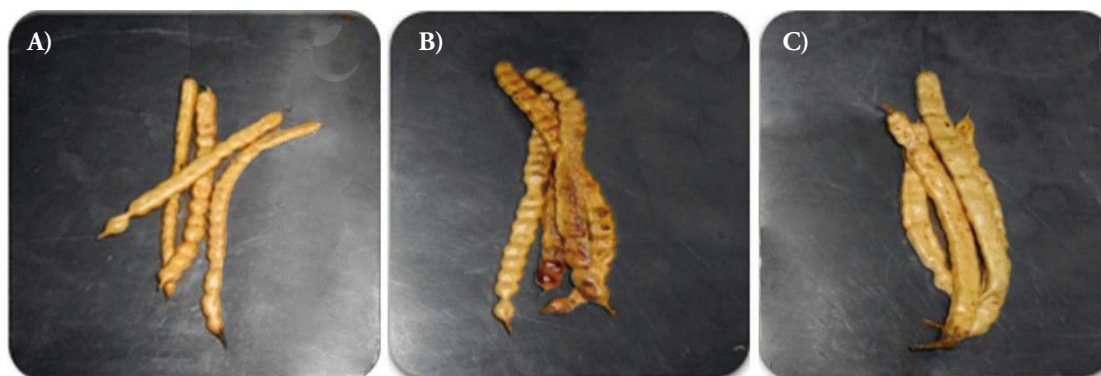


Figura 2. Variantes A, B y C de vainas de *Prosopis laevigata*.

Figure 2. Variants A, B and C of *Prosopis laevigata* pods.

Cuadro 1. Características nutrimentales (% MS) de tres variantes de la vaina de *Prosopis laevigata* en el Altiplano Potosino de México.

Table 1. Nutritional characteristics (% MS) of three variants of *Prosopis laevigata* pods in the Potosino highlands of México.

Variante	MS	PC	FC	FDN	FDA	Cenizas	Grasa	CHO
A	90.40 ^a	8.84 ^b	17.59 ^a	29.10 ^a	20.19 ^a	4.03 ^b	4.00 ^a	49.20 ^a
B	90.78 ^a	10.28 ^a	16.88 ^a	27.09 ^a	19.92 ^a	4.20 ^a	3.90 ^a	48.10 ^a
C	90.60 ^a	8.14 ^b	15.01 ^b	23.92 ^b	17.68 ^b	3.61 ^c	3.80 ^a	48.90 ^a
EEM [†]	0.17	0.31	0.45	0.48	0.38	0.04	0.02	0.82

MS: materia seca; PC: proteína crida; FC: fibra cruda; FDN: fibra detergente neutro; FDA: fibra detergente ácido; CHO: carbohidratos (extracto libre de nitrógeno); [†]error estándar de la media ♦ MS: dry matter; PC: crude protein; FC: crude fiber; FDN: neutral detergent fiber; FDA: acid detergent fiber; CHO: carbohydrates (Nitrogen-free extract); [†]standard mean error.

^{a,b,c} Medias con diferente letra en una columna son diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$) ♦ Means with different letter in columns are different (Tukey, $p \leq 0.05$).

variantes fue similar a la observada por Baraza *et al.* (2008), quienes obtuvieron valores de 17.4% de proteína cruda (PC), 3.4% de cenizas y 32.3% de fibra cruda de la vaina de *P. laevigata* para alimentación de cabras, ganado común en las zonas semiáridas de México. Los contenidos de FC, FDN y FDA obtenidos, (Cuadro 1) indican poca fibra indigerible en la vaina de mezquite en sus tres variantes. Andrade-Montemayor *et al.* (2011) señalaron que la vaina de mezquite tostada tiene mejor digestibilidad para alimentar cabras en zonas semiáridas. El contenido de carbohidratos varió de 48.10 a 49.20% pero sin diferencias ($p > 0.05$) entre las variantes. Peña-Avelino *et al.* (2016), alimentó una dieta a base de *P. juliflora* a corderos (250 g kg⁻¹ MS), y encontró entre sus atributos que posee alto contenido de carbohidratos no estructurales (azúcares, almidones, ácidos orgánicos y

pointed out that the roasted mesquite pod has better digestibility to feed goats in semi-arid areas. The carbohydrate content varied from 48.10 to 49.20% but without differences ($p > 0.05$) between the variants. Peña-Avelino *et al.* (2016) fed a *P. juliflora*-based diet to lambs (250 g kg⁻¹ MS), and among its attributes found that it has a high content of non-structural carbohydrates (sugars, starches, organic acids and fructanes) and pectin, which provides readily available energy. Therefore, the *P. laevigata* pod can be an energy source in the formation of body tissues, as well as for the synthesis of products such as milk and meat from domestic cattle of the Potosino highlands.

Colors observed in the pods (Table 2) in all cases were straw colored or yellowish, and there were some combinations with purple or reddish tones

fructanos) y pectina, lo cual proporciona energía fácilmente disponible. Por lo tanto, la vaina de *P. laevigata* puede ser una fuente energética en la formación de los tejidos corporales, así como para la síntesis de productos como la leche y carne del ganado doméstico del Altiplano Potosino.

Los colores observados en las vainas (Cuadro 2) en todos los casos fueron paja o amarillento, y hubo algunas combinaciones con tonalidades moradas o rojizas (2.5 Y 8/4 con 5RP 6/4; 2.5 Y 8/4; 2.5 Y 8/4 con 5RP 5/6, 2.5 Y 8/6; 2.5 Y 8/6 con 5RP 3/2; 2.5 Y 8/6 con 5RP 5/6; 2.5 Y 8/6 con 10R 3/2). Las variaciones de color coinciden con los resultados de Cedillo y Mayoral (1997), pues ellos reportaron que las vainas presentan coloraciones desde amarillento a rojizo. Las tres variantes no presentaron diferencias estadísticas ($p>0.05$) en el color.

Con independencia de la variante, el atributo nutricional mayor de la vaina de mezquite es su contenido alto de carbohidratos no estructurales, nivel medio de proteína y nivel bajo de FDN, equiparables a los de los ingredientes convencionales con costo mayor. Por esta razón, la vaina de mezquite contiene carbohidratos de fermentación fácil que la convierten en un alimento de digestibilidad y contenido energético alto, en especial para rumiantes. Este aporte nutricional de la vaina puede equipararse a los reportados por el NRC (2001) para la pulpa de cítricos (7% PC, 24% FDN, 5% grasa, 64% de carbohidratos no estructurales) o al de la mazorca de maíz al incluir el grano y el olote (8.6% PC, 21% FDN y 3.9% grasa). Nuestros resultados permiten recomendar la reformulación de la dieta de rumiantes menores en el

(2.5 Y 8/4 with 5RP 6/4; 2.5 Y 8/4; 2.5 Y 8/4 with 5RP 5/6, 2.5 Y 8/6; 2.5 Y 8/6 with 5RP 3/2; 2.5 Y 8/6 with 5RP 5/6; 2.5 Y 8/6 with 10R 3/2). Color variations match the results of Cedillo and Mayoral (1997), as they reported that the pods have yellowish to reddish colorations. The three variants did not show statistical differences ($p>0.05$) in color.

Regardless of the variant, the major nutritional attribute of the mesquite pod is its high content of non-structural carbohydrates, medium level of protein and low level of FDN, comparable to those of conventional ingredients with higher cost. For this reason, the mesquite pod contains easy fermentation carbohydrates that make it a digestible food and with high energy content, especially for ruminants. The nutritional contribution of the pod can be compared to those reported by the NRC (2001) for citrus pulp (7% PC, 24% FDN, 5% fat, 64% non-structural carbohydrates) or that of corncoobs by including grains and the cob (8.6% PC, 21% FDN and 3.9% fat). Our results allow us to recommend the reformulation of the diet of minor ruminants in the Potosino highlands, including the mesquite pod as an energy ingredient.

The morphological characterization of the *P. laevigata* pod (Table 2) showed that our results are up to 25% larger in size than those documented by Cedillo and Mayoral (1997). Regarding the morphological characterization of the seed (Table 3), a relationship between the weight of the pod and the weight of the seed is observed; at a higher weight, the amount of nutrients is higher than in variants with a lower weight, which means that smaller amounts of

Cuadro 2. Características morfológicas de tres variantes de la vaina de *Prosopis laevigata* en el Altiplano Potosino de México.

Table 2. Morphological characteristics of three variants of *Prosopis laevigata* pods in the Potosino highlands of México.

Variante	Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Número de segmentos	Número de semillas	Pericarpio (mm)	Color [†]
A	3.80 ^a	13.35 ^{ab}	1.00 ^b	0.63 ^b	15 ^b	16 ^{ab}	0.46 ^b	Amarillento a morado y rojizo
B	5.23 ^b	14.53 ^b	1.16 ^a	0.65 ^b	17 ^a	17 ^a	0.51 ^a	Amarillento a morado y rojizo
C	5.52 ^b	13.05 ^a	1.18 ^a	0.78 ^a	14 ^b	15 ^b	0.51 ^a	Amarillento
EEM [‡]	0.19	0.38	0.01	0.01	0.51	0.51	0.01	

[†]Munsell (1997); [‡]Error estándar de la media; ^{ab}Medias con diferente letra en una columna son diferentes (Tukey, $p\leq 0.05$) ♦ [†]Munsell (1997); [‡]Standard mean error; ^{ab}Means with different letter in columns are different (Tukey, $p\leq 0.05$).

Altiplano Potosino, para incluir la vaina de mezquite como un ingrediente energético para rumiantes.

La caracterización morfológica de la vaina de *P. laevigata* (Cuadro 2) mostró que en el tamaño nuestros resultados son hasta 25% mayores a los documentados por Cedillo y Mayoral (1997). Respecto a la caracterización morfológica de la semilla (Cuadro 3) se observa una relación entre el peso de la vaina y el peso de la semilla; a mayor peso, la cantidad de nutrientes es más alta que en variantes con menor peso, por lo cual se requieren menores cantidades de vainas para cubrir las necesidades nutricionales de los rumiantes.

El grosor de la semilla (Cuadro 3) es una característica importante para la alimentación de rumiantes porque con un grosor mayor, el aprovechamiento digestivo es menor debido al aumento de la dificultad para romper la cubierta. Esto es importante porque la mayoría de los productores suministra la vaina entera a sus animales y, por lo tanto, este manejo reduce la eficiencia de uso de la proteína de la semilla.

La literatura consultada indica que las semillas de *P. laevigata* presentan una coloración café clara (2.5 Y 7/8, 2.5 Y 8/6, 7.5 YR 6/6), y esto se corroboró en este estudio (Cuadro 3). La longitud de la vaina mostró relación con el número de segmentos y semillas por vaina; por lo tanto, al incrementar el tamaño de la vaina, aumenta el número de segmentos y las semillas en ella.

Estimación de la producción de vaina a partir de variables morfológicas

Con las variables morfológicas más significativas identificadas con el ANDEVA por medio del Proc GLM, se obtuvo el modelo siguiente:

Pods are required to cover the nutritional needs of ruminants.

The thickness of the seed (Table 3) is an important characteristic for the feeding of ruminants, since with greater thickness, the digestive use is lower due to the increase of difficulty to break the seed cover. This is important because most producers feed the whole pod to their animals and, therefore, this handling reduces the use efficiency of the seed protein.

The literature cited indicates that *P. laevigata* seeds have a light brown color (2.5 Y 7/8, 2.5 Y 8/6, 7.5 YR 6/6), and this was corroborated in this study (Table 3). The length of the pod showed a relationship with the number of segments and seeds per pod; therefore, by increasing the size of the pod, the number of segments and seeds in it increases as well.

Estimate of pod yield from morphological variables

The following model was obtained with the most significant morphological variables identified with ANOVA through the GLM Proc:

$$Y = -58.95 + 169.39 x_1 + 4.16 x_2$$

where Y = weight of dry pod in kg, x_1 = normal diameter in cm (DN), x_2 = height of tree in cm.

The validation of the model with the data of six trees showed significant estimation capacity ($p \leq 0.05$). Although descriptive statistics indicate a variability of up to 50% in the yield estimation (Table 4).

The ratio obtained among the variables (Table 5) had a coefficient of determination (R^2) of 92.69, with a standard error of 5.93 ($p \leq 0.05$). Of the two

Cuadro 3. Características morfológicas de tres variantes de la semilla de *Prosopis laevigata* en el Altiplano Potosino de México.

Table 3. Morphological characteristics of three variants of *Prosopis laevigata* seed in the Potosino highlands of México.

Variante	Peso (g)	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)	Color [†]
A	0.10 ^b	1.14 ^b	0.76 ^a	0.34 ^b	Café claro
B	0.14 ^a	1.16 ^b	0.74 ^a	0.41 ^a	Café claro
C	0.14 ^a	1.27 ^a	0.77 ^a	0.43 ^a	Café claro
EEM [‡]	0.003	0.01	0.01	0.007	

[†]Munsell (1997); [‡]Error estándar de la media; ^{a,b}Medias con diferente letra en una columna son diferentes ($p \leq 0.05$) ♦ [†]Munsell (1997); [‡]Standard mean error; ^{a,b}Means with different letter in columns are different (Tukey, $p \leq 0.05$).

$$Y = -58.95 + 169.39 x_1 + 4.16 x_2$$

donde Y = peso de la vaina seca en kg, x_1 = diámetro normal en cm (DN), x_2 = altura del árbol en cm.

La validación del modelo con los datos de seis árboles mostró capacidad de estimación significativa ($p \leq 0.05$). Aunque los estadísticos descriptivos indican una variabilidad hasta del 50% en la estimación de la producción (Cuadro 4).

La relación obtenida entre las variables (Cuadro 5) tuvo un coeficiente de determinación (R^2) de 92.69, con un error estándar de 5.93 ($p \leq 0.05$). De las dos variables independientes, el DN mostró una relación mayor con la producción de vaina (variable dependiente), y el error estándar menor (Cuadro 4). Por lo tanto, significó un mayor peso dentro del modelo porque aportó un 88.80% del total de la varianza. La producción promedio de vaina estimada por árbol fue 31.83 kg (Cuadro 5).

La ecuación obtenida con el modelo de regresión se utilizó para estimar densidad, altura, diámetro y producción de vaina en los seis municipios elegidos como zona de estudio (Cuadro 6). La densidad de árboles por hectárea se estimó en 194 árboles de

independientes variables, the DN showed a greater ratio with the pod yield (dependent variable), and the lowest standard error (Table 4). Therefore, it meant a greater weight within the model because it contributed 88.80% of the total variance. The estimated average pod yield per tree was 31.83 kg (Table 5).

The equation obtained with the regression model was used to estimate density, height, diameter and pod yield in the six municipalities selected as the study area (Table 6). The density of trees per hectare was estimated at 194 mesquite trees (*P. laevigata*), with a DN of 0.192 m and an average height of 10.95 m, in the Potosino highlands.

Regarding pod yield, the average estimate was 3.7 Mg ha⁻¹ (Table 6). Our results are similar to those of López *et al.* (2006), who documented 200 trees per hectare; although in contrast, the average height that these authors observed was 9 m, almost two meters below than the estimated average value in this study.

CONCLUSIONS

The average 3.7 tons (Megagrams) per hectare of pod yield in *Prosopis laevigata* mesquite is considered

Cuadro 4. Estadísticos de las variables alométricas de *Prosopis laevigata*.

Table 4. Statistics of *Prosopis laevigata* allometric variables.

Variable	Media [†]	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Rango
Producción	31.83	17.00	11.7	52.5	40.8
Altura	12.71	1.99	10.8	16.1	5.30
DN	0.223	0.057	0.17	0.324	0.154

[†]Promedio de seis árboles ♦ Average of six trees.

Cuadro 5. Valores de variables alométricas (DN y altura) de seis árboles de *Prosopis laevigata* para estimar la producción de vaina en el Altiplano Potosino de México.

Table 5. Values of allometric variables (DN and height) of six *Prosopis laevigata* trees to estimate pod yield in the Potosino highlands of México.

Árbol	DN(m)	Altura (m)	Producción de vaina (kg)
1	0.188	11.00	25.0
2	0.170	11.75	16.8
3	0.324	13.60	52.5
4	0.191	10.80	11.7
5	0.212	13.00	35.0
6	0.256	16.10	50.0
Promedio	0.223	12.71	31.83

Cuadro 6. Estimación de la producción (kg MS) de vaina de *Prosopis laevigata* a partir de la densidad, DN y altura de los árboles recolectados en seis municipios del Altiplano Potosino de México.

Table 6. Estimates of *Prosopis laevigata* pod yield (kg MS) from density, DN and height of the trees collected in six municipalities of the Potosino highlands of México.

Municipio	Número de árboles	DN promedio (m)	Altura promedio (m)	Producción estimada (kg)
Matehuala	215	0.213	12.05	5856.82
Venado	187	0.193	11.03	3667.37
Charcas	186	0.19	11.86	4195.51
Villa de Guadalupe	201	0.18	9.67	2362.35
Cedral	177	0.186	9.45	2098.10
Moctezuma	197	0.189	11.67	4254.57
Promedio	194	0.192	10.95	3702.62

mezquite (*P. laevigata*), con un DN de 0.192 m y una altura promedio de 10.95 m, en el Altiplano Potosino.

Respecto a la producción de vaina, la estimación promedio fue 3.7 Mg ha⁻¹ (Cuadro 6). Nuestros resultados son similares a los de López *et al.* (2006), quienes documentaron 200 árboles por hectárea; aunque en contraste, la altura promedio que estos autores observaron fue de 9 m, casi dos metros menor que el valor promedio estimado en este estudio.

CONCLUSIONES

La producción media de vaina de mezquite *Prosopis laevigata*, de 3.7 Megagramos (toneladas) por hectárea se considera buena, dadas las condiciones climáticas de precipitación y temperatura imperantes en el Altiplano Potosino mexicano.

La estimación de la producción de vaina esta especie de mezquite puede obtenerse con el diámetro normal y la altura total del árbol, con un nivel de confianza mayor a 90%. El diámetro normal fue la variable que condicionó la respuesta en la producción de vaina.

La importancia de estos estadísticos es que permiten estimar con variables de medición sencilla y no destructiva, el rendimiento promedio de vainas por árbol y por hectárea, para valorar así la importancia de *P. laevigata* como recurso en la alimentación de animales de ganado menor en solares del Altiplano Potosino de México.

appropriate, given the climatic conditions of precipitation and temperature prevailing in the Potosino highlands of México.

The estimate of pod yield of this mesquite species can be obtained with the normal diameter and the total height of the tree, with a reliability level greater than 90%. The normal diameter was the variable that conditioned the response in the pod yield.

The importance of these statistics is that they allow the average yield of pods per tree and per hectare to be estimated with simple and non-destructive measurement variables, in order to assess the importance of *P. laevigata* as a resource in the feeding of minor livestock animals in backyards (rural farming) of the Potosino highlands of Mexico.

—End of the English version—

—*—

LITERATURA CITADA

- Andrade-Montemayor, H., A. Cordova-Torres, T. García-Gasca, and J. Kaws. 2011. Alternative foods for small ruminants in semiarid zones, the case of Mesquite (*Prosopis laevigata* spp.) and Nopal (*Opuntia* spp.). Small Ruminant Res. 98: 83 - 92.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2016. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th edition. USA. 3172 p.

- Baraza, E., S. Ángeles, A. García, y A. Valiente. 2008. Nuevos recursos naturales como complemento de la dieta de caprinos durante la época de seca en el Valle de Tehuacán, Puebla. *Interiencia* 33: 891-896.
- Carrillo, F., L. Gómez, y A. Arreola. 2014. Efecto de poda sobre potencial productivo de mezquites nativos en la comarca lagunera, México. *Rev. Chapingo. Serie Zonas Áridas* 6: 47-54.
- Cedillo, V., y P. Mayoral. 1997. "*Prosopis laevigata*". 1ª ed. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 5 p.
- Galán, A., A. Correa, y M. Barcelos. 2008. Caracterización química de la harina del fruto de *Prosopis spp.* procedente de Bolivia y Brasil. *Arch. Latinoam. Nutr.* 58: 309.
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen para Adaptarlo a las Condiciones de la República Mexicana. Editado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 4ª ed. México. 217 p.
- Gómez, A., J. Pinos, y J. Aguirre. 2009. Manual de Producción Caprina. 1ª ed. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 193 p.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2016. Síntesis geográfica del estado de San Luis Potosí. Instituto Nacional De Estadística y Geografía (INEGI). Aguascalientes, Ags. México. 17 p.
- López, Y., F. Goycoolea, M. Valdez, y A. Calderón, A. 2006. Goma de mezquite una alternativa de uso industrial. *Interiencia* 31: 183-189.
- Negrete-Sánchez, L.O., J. Pinos-Rodríguez, A. Grajales-Lagunes, J. Morales, J. García-López, and H. Lee-Rangel. 2017. Effects of increasing amount of dietary *Prosopis laevigata* pods on performance, meat quality and fatty acid profile in growing lambs. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101: 303-311.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. National Academic Press, Washington, DC, USA. 381 p.
- Peña-Avelino, L.Y., J. Pinos-Rodríguez, L. Yañez-Estrada, B. Juárez-Flores, R. Mejía, and H. Andrade-Zaldivar. 2014. Chemical composition and in vitro degradation of red and white mesquite (*Prosopis laevigata*) pods. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 44: 298-306.
- Peña-Avelino, L.Y., J. Pinos-Rodríguez, B. Juárez-Flores, and L. Yañez-Estrada. 2016. Effects of *Prosopis laevigata* pods on growth performance, ruminal fermentation and blood metabolites in finishing lambs. *S. Afr. J. Anim. Sci.* 46: 360 - 365.
- SAS Institute Inc. 1991. SAS User's Guide: Statistics. SAS Institute, Inc., Cary, NC. 1028 p.
- Sauceda, E., G. Martínez, B. Ramírez, M. Torres, y P. Ruiz. 2014. Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai* 10: 173 - 193.
- Steel, G.R., J. Torrie, and D. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach. 3ª ed. McGraw-Hill. México. 667 p.
- Toledo, B., C. Trillo, M. Grilli, S. Colantonio, and L. Galetto. 2014. Relationships between land-use types and plant species used by traditional ethno-medical system. *Eur. J. Med. Plants* 4: 998.
- Van Soest, P.J., and J. B. Robertson. 1985. Analysis of Forage and Fibrous Foods: A Laboratory Manual for Animal Science. Cornell University, Ithaca, NY. 165 p.

