

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA



Caracterización morfológica y calidad de harina de mezquite en función del color
de la vaina

Por:

Lenin Misael López López

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Caracterización morfológica y calidad de harina de mezquite en función del color
de la vaina

Por:

Lenin Misael López López

TESIS

Que somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial
para obtener el título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por:

Dra. Alejandra Cabrera Rodríguez
Presidente

Dr. Jorge Alonso Maldonado Jaquez
Vocal externo

MC. Eduardo Blanco Contreras
Vocal

Dra. Irene Pacheco Torres
Vocal suplente

MC. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



*Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas*

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGÍA

Caracterización morfológica y calidad de harina de mezquite en función del color
de la vaina

Por:

Lenin Misael López López

TESIS

Presentado como Requisito Parcial para Obtener el Título de:

INGENIERO EN AGROECOLOGÍA

Aprobado por el Comité de Asesoría:

Dr. Alejandra Cabrera Rodríguez
Asesor Principal

Dr. Jorge Alonso Maldonado Jaquez
Coasesor externo

MC. Eduardo Blanco Contreras
Coasesor

Dra. Irene Pacheco Torres
Coasesor

MC. Rafael Ávila Cisneros
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio 2026



*Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas*

AGRADECIMIENTOS

Doy gracias a mi alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro unidad Laguna, por haberme formado y brindado sus diversos privilegios durante toda la carrera.

Doy gracias a mi tutora Dra. Alejandra Cabrera por su gran apoyo y atención durante este trabajo, asimismo al Dr. Jorge Maldonado por su inmenso apoyo, enseñanzas y guía para facilitarme este proyecto.

También a mis profesores del departamento de agroecología que me ayudaron a mi formación académica, al biólogo Eduardo que me compartió su cosmovisión de la agroecología y de la materia gris.

A mis compañeros de la carrera por compartir momentos de alegría y ayuda para poder lograr nuestros objetivos.

Gracias

DEDICATORIAS

A mi padre Daniel López y mi madre Rosa López García por su gran apoyo incondicional que me brindan y me enseñan, su esfuerzo es mi orgullo.

A mis hermanos Isaí, Isaac y Luz que me compartieron enseñanzas y grandes momentos de convivencia, a toda mi familia que me ha ayudado y me ha fortalecido para lograr mis objetivos.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
INDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCION.....	viii
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Importancia del mezquite	3
2.2 Distribución del mezquite.....	4
2.3 Morfología y características de <i>Prosopis laevigata</i>	6
2.4 Manejo agroecológico: alternativa en sistemas silvopastoriles.....	7
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Cosecha de vainas de mezquite	11
3.2 Identificación del material botánico	11
3.3 Secado, almacenamiento y prevención de plagas.....	12
3.4 Evaluación morfoestructural en función del color de vainas	13
3.5 Obtención de la harina de mezquite	14
3.6 Determinación del contenido de azúcares solubles en harina de mezquite.....	15
3.7 Análisis estadístico	16
IV. RESULTADOS	17
4.1 Morfometría de las vainas de mezquite en función al color	17
4.2 Coeficientes de correlación: morfometría y color de la vaina	18
4.3 Rendimiento de harina	19
4.4 Contenido de azúcares solubles	20
V. DISCUSIÓN	21

5.1	Morfometría de vainas en <i>Prosopis leavigata</i>	21
VI.	CONCLUSIONES	24
VII.	LITERATURA CITADA	25

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución geográfica global de Prosopis en América (Rzedowski,1988).....	5
Figura 2. Componentes de un agroecosistema silvopastoril.	8
Figura 3. Dimensiones de un enfoque integral de un sistema silvopastoril.	9
Figura 4. Beneficios de un huerto de mezquite.	10
Figura 5.- Colecta de vainas de mezquite en el rodal del INIFAP- Campo Experimental La Laguna.	12
Figura 6. Secado de vainas de mezquite en invernadero (A) y secado en estufa (B).	13
Figura 7. Pesaje de las vainas (A) medición y comparación de tonalidades (B). ..	14
Figura 8. Molienda(A); tamizado (B); colecta y separación por tamaños de residuos (C); identificación de muestras(D); pesaje de muestras (E); rendimiento de la harina (F).....	15
Figura 9. Pesaje de la muestra(A); agitador magnético (B); Reposo de la muestra (C); filtración por método del papel filtro (D); medición del líquido restante (E); medición del contenido de azúcar con el refractómetro (F).	16
Figura 10. Comparación de tonalidades de las vainas de mezquite.	17

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de <i>Prosopis</i> spp en México (Palacios, 2006).....	5
Cuadro 2. Medidas morfométricas de mezquite en función del color de la vaina.	18
Cuadro 3. Coeficientes de correlación para variables morfométricas en vaina de mezquite en función del color de la vaina	19
Cuadro 4. Rendimiento de la harina de mezquite en función del color de la vaina.	19
Cuadro 5. Contenido de brix y cosecha de azúcares solubles en Mezquite en función del color de la vaina.	20

RESUMEN

El objetivo fue evaluar morfometría, rendimiento y contenido de azúcares en mezquite (*Prosopis laevigata*) en función del color de la vaina. Se analizaron 2175 vainas provenientes de 29 árboles (75 vainas por árbol). La coloración se estableció en 6 tonalidades que van desde el color amarillo, rosado, rojizo y hasta púrpura. La morfometría se estudió de acuerdo al largo, ancho y grueso de la vaina, rendimiento de harina y contenido de azúcares (expresado en °Brix). Las vainas púrpuras tuvieron la mayor longitud, las de color amarillo con machas café fueron más anchas y gruesas ($p \leq 0.05$). El rendimiento no fue diferente ($p \geq 0.05$) entre grupos. Por último, las vainas de color cuanto púrpura y rosadas al rendimiento de la harina tuvieron mayor contenido de azúcares ($p \leq 0.05$). Se concluye que el color de las vainas de mezquite influye en la morfometría y contenido de azúcares solubles. Por lo tanto, el color puede ser un criterio para la selección de vainas grandes y más dulces, que se pueden utilizar para la alimentación animal.

Palabras clave: *Prosopis laevigata*, Morfometría, °Brix, Selección de vainas

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphometry, flour yield, and sugar content of mesquite (*Prosopis laevigata*) based on pod color. A total of 2,175 pods from 29 standing trees were analyzed, using a random sample of 75 pods per tree. Fruit coloration was classified into six shades ranging from yellow, pink, and reddish to purple. The morphometric analysis included pod length, width, and thickness, alongside flour yield and sugar content expressed in Brix degrees ($^{\circ}\text{Brix}$). Morphological results indicated that purple pods presented the greatest length, whereas yellow pods with brown spots were significantly wider and thicker ($p \leq 0.05$). Regarding flour yield, no statistically significant differences were observed among the groups ($p \leq 0.05$). However, purple and pink-colored pods exhibited the highest sugar content ($p \leq 0.05$). It is concluded that mesquite pod color directly influences both morphometric characteristics and soluble sugar concentration. Therefore, fruit coloration constitutes a rapid and efficient phenotypic selection criterion to identify larger and sweeter pods, which can be utilized to optimize animal feeding.

Keywords: *Prosopis laevigata*, Fruit morphometry, Brix degrees, Color-based selection

I. INTRODUCCION

El mezquite (*prosopis*) es un árbol que se encuentra en las zonas cálidas y semidesérticas de México, pertenece a la familia de las leguminosas, por lo que fijan nitrógeno en el suelo, este árbol tiene un papel fundamental en el ecosistema (Magaña et al., 2023).

El uso y manejo del mezquite es muy importante a lo largo del tiempo, ya que fue un alimento básico para los pueblos indígenas que vivían en las regiones áridas de América. Esto se debe a que es uno de los recursos vegetales más valiosos, ya que no solo se utiliza como alimento, sino también como leña, carbón, madera, medicina y forraje para el ganado (Bolaños, 2021). Es un arbusto perenne, resistente y de rápido crecimiento, en México se encuentran cerca de 4 millones de hectáreas de mezquites, distribuidas principalmente en zonas áridas y semiáridas del país (Chaturvedi y Sahoo, 2013; Andrade-Montemayor et al., 2011; Moreno-Resendez, et al., 2019).

En cuanto a su aprovechamiento, la vaina del mezquite es un elemento primordial, debido a sus considerables niveles proteicos (>14%), así mismo, puede contribuir a mejorar la calidad de la dieta de los animales, satisfacer la demanda de alimentos en la época seca y estimular la aplicación de técnicas de producción animal y los recursos naturales. (Sawal et al., 2004; García y Medina, 2006; Mahgoub et al., 2005; Andrade-Montemayor et al., 2011; Ríos-Saucedo et al., 2012; Moreno-Reséndez et al., 2019).

Al respecto, en el sistema extensivo donde se desarrollan los caprinos se producen cambios a través del año, en el tipo, cantidad y composición de vegetación, esto presenta grandes retos nutricionales, especialmente para las hembras que gestantes o lactantes, ya que necesitan más nutrientes, lo que también puede afectar el crecimiento de sus crías. Por eso es importante ofrecer algún tipo de suplemento alimenticio cuando la calidad de la vegetación baja. Por lo que es necesario ofrecer algún tipo de complemento alimenticio una vez que la vegetación disminuya su calidad nutricional. Sin embargo, los complementos alimenticios tradicionales y comerciales, son muy costosos (Mellado, 2016; Arévalo et al., 2020; Salinas-González et al., 2016; Banchemo et al., 2015; Keles et al., 2017; Luna-Orozco et al., 2015; Mínguez y Calvo, 2018; Contreras-Villareal, 2022). Por ello, es importante considerar los recursos forrajeros naturales disponibles, mismos que son más económicos, de fácil manejo y acceso para el productor.

Por tal motivo, considerando la importancia del mezquite en las zonas áridas y en la comarca lagunera como fuente de alimento y sus diversos beneficios, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad y el contenido de azúcares en mezquite de acuerdo con el color de la vaina.

1.1 Objetivos

General: Evaluación de la calidad y el contenido de azúcares en mezquite de acuerdo con el color de la vaina.

Específicos

1. Describir las características morfológicas de la vaina de mezquite en función del color de la testa.
2. Caracterizar la calidad, en términos de azúcares solubles, de la harina de mezquite en función del color de la vaina.

1.2 Hipótesis

H1: El color de las vainas de mezquite (*prosopis laevigata*) va a tener un efecto significativo en el contenido de azúcares solubles.

H0: El color de las vainas no va a tener un efecto significativo en el contenido de azúcares solubles.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del mezquite

El mezquite (*Prosopis* spp.) es una planta leñosa perenne perteneciente a la subfamilia Mimosoideae de la familia Leguminosa/Fabaceae (Rogers, 2000; Rodney, 2016). Se encuentra distribuida principalmente en regiones semiáridas, se estima que existen alrededor de 50 especies dentro de este género, muchas de las cuales poseen características adaptativas que les permiten desarrollarse en condiciones climáticas adversas, como altas temperaturas y baja disponibilidad de agua (Andrade et al., 2011; Armijo et al, 2019).

Las *Mimosoideae* se diferencian de otras leguminosas por tener pequeñas flores agrupadas en una inflorescencia (un eje en el que todos los brotes son botones florales), hojas pinnadas (doblemente compuestas) con estípulas

(apéndices similares a hojas en la base del pecíolo) y flores regulares con una corola de cinco partes (la parte interna de la flor, o pétalos) (Rodney, 2016).

2.2 Distribución del mezquite

El origen fitogeográfico del mezquite (*Prosopis* spp.) se ubica en África, donde persiste como una sola especie; *Prosopis africana*, con características poco especializadas. Tres especies más se conocen del antiguo mundo (Dávila, 1983; Saucedo et al., 2014).

En América pueden distinguirse 4 líneas evolutivas, sobresalen dos secciones grandes: *Strombocarpa* con 9 especies y *Algarobia* con 30 especies. Además, la sección *Monilicarpa* tiene otra especie, mientras que el género segregado *Prosopisdastrum* incluye dos (Rzedowski, 1988).

A nivel mundial existen 44 especies del género *Prosopis*, de las cuales 42 se encuentran en el continente americano, distribuidas en dos grandes centros: el norteamericano (México y Texas) y el sudamericano (Argentina, Paraguay y Chile). Norteamérica cuenta con nueve especies, una con dos variedades, todas ellas presentes en el país. Se distribuye en casi todo el territorio mexicano, con excepción de las zonas montañosas y las partes bajas del sureste del país; es característico de las zonas áridas y semiáridas, aunque su amplio rango ecológico le permite ser localizado en zonas con temperaturas medias que van de 20 a 29° C, con precipitaciones que varían entre 350 y 1 200 mm anuales. Se le encuentra desde el nivel del mar hasta los 2 200 m de altitud; crece preferentemente en llanuras y zonas

bajas, sobre suelos profundos que son buenos para la agricultura, lo que ha causado que sea desplazado en muchas regiones (Rzedowski, 1988; Saucedo et al., 2014)



Figura 1. Distribución geográfica global de *Prosopis* en América (Rzedowski,1988).

En cuanto a la distribución, de manera particular en México, se han registrado 11 especies de *Prosopis spp.* (Cuadro 1) (Palacios, 2006).

Cuadro 1. Distribución de *Prosopis spp* en México.

ESPECIE	DISTRIBUCIÓN
<i>Prosopis articulata</i>	Sonora y Baja California Norte y Sur.
<i>Prosopis velutina</i>	Sonora principalmente en el norte.
<i>Prosopis mezcalana</i>	Guerrero y Michoacán.
<i>Prosopis tamaulipana</i>	Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz.
<i>Prosopis laevigata</i>	Nuevo León, Durango, Tamaulipas, Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Querétaro,

	Hidalgo, Michoacán, México, Morelos, Puebla, Guerrero, Oaxaca y Chiapas
<i>Prosopis juliflora</i>	Colombia, Venezuela e Islas del Caribe, costa de Yucatán
<i>Prosopis vidaliana</i>	Costa pacífica, desde México a Panamá
<i>Prosopis glandulosa</i>	Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas
<i>Prosopis mayana</i>	Yucatán
<i>Prosopis odorata</i>	Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas
<i>Prosopis yaquiana</i>	Sonora, Baja California Sur, Sinaloa

2.3 Morfología y características de *Prosopis laevigata*.

Tallo: Es un árbol espinoso de hasta 10 m de altura, los tallos son de corteza oscura y ramas con abundantes espinas axilares (Carranza y Villarreal 1997; Valenzuela, 2011). Las espinas son axilares de 1 a 4,5 cm de largo; se encuentran a veces en pares, pero por lo común son solitarias. (Ffolliott y Thames, 1983).

Hoja: Las hojas son glabras y tienen uno o dos pares de pinnas de 6 a 17 cm de largo que llevan 6 a 17 pares de foliolos cada una. El largo de los foliolos es de 5 a 12 veces su ancho, en la mayoría de 1 a 4 cm de largo. Están separados a lo largo del raquis a distancias iguales o mayores de su ancho, y ellos son lineares u oblongos, obtusiformes y con una notable nervadura inferior (Folliott y Thames, 1983).

Flor: Las flores son de color amarillo verdoso, agrupadas en racimos, miden de 4 a 10 mm, son bisexuales, actinomorfas, con cinco sépalos y 10 estambres. (Carranza y Villarreal 1997; Valenzuela, 2011).

Inflorescencia: La inflorescencia es un racimo espigado de casi 5 a 14 cm de largo. Los pétalos florales son de 2.5 a 3.5 mm de largo y el ovario es peloso (Folliott y Thames, 1983).

Fruto: La vaina es linear, aplanada, amarilla y de casi 10 a 20 cm de largo, 1 cm de ancho y 0,5 cm de espesor. O es derecha o es algo curvada. El exocarpio es duro sobre un mesocarpio pulposo y dulce. Las vainas contienen 5 a 18 semillas ovaladas, pardo luciente de 5 mm de ancho, 7 mm de largo y 2 mm de espesor. (Folliott y Thames, 1983)

Raíz: cuentan con un sistema radicular amplio y profundo su sistema radical puede alcanzar más de 50 m de profundidad y hasta 15 m en sus laterales. (Carranza y Villarreal 1997; Valenzuela, 2011).

2.4 Manejo agroecológico: alternativa en sistemas silvopastoriles

La agroecología al diseñar sistemas agrícolas biodiversos, eficientes y resilientes (agroecosistema), contribuye a mejorar la calidad de vida de los productores (Nicholls et al., 2020).

Por lo tanto, los sistemas silvopastoriles son agroecosistemas en los que se asocian tres diferentes componentes (Figura 2), con el objetivo que existan interacciones biológicas y de maximizar el uso de la tierra (Russo, 2015).

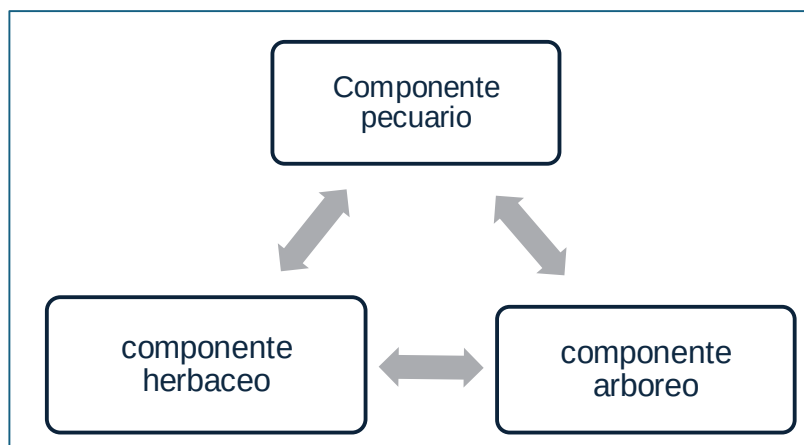


Figura 2. Componentes de un agroecosistema silvopastoril.

Los agroecosistemas diversificados y complejos como los sistemas silvopastoriles son resilientes a los efectos del cambio climático. Estos modelos permiten a los agricultores producir varios cultivos al mismo tiempo y minimizar el riesgo en la productividad y rendimiento (Morais et al., 2006; Nicholls, 2013; Moreno y Blanco, 2017).

Asimismo, la agroecología promueve principios y prácticas que buscan interacciones ecológicas en los sistemas silvopastoriles a través de 4 dimensiones (Figura 3) (Nicholls et al., 2016).

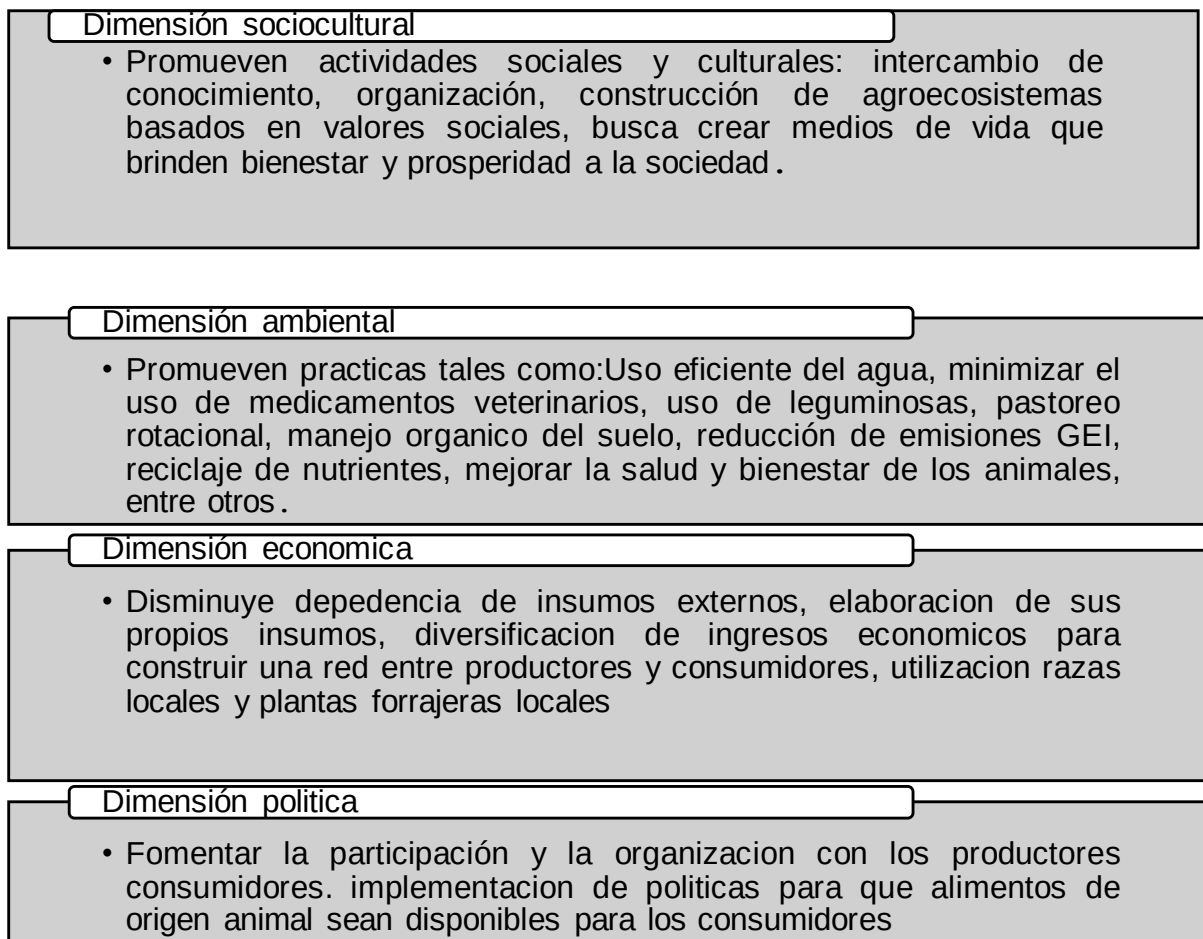


Figura 3. Dimensiones de un enfoque integral de un sistema silvopastoril.

Limas y colaboradores (2009), proponen un sistema agrosilvopastoril con el uso del mezquite al ser una planta que se aprovecha completamente y ser una especie nativa de las zonas áridas (Figura 3).

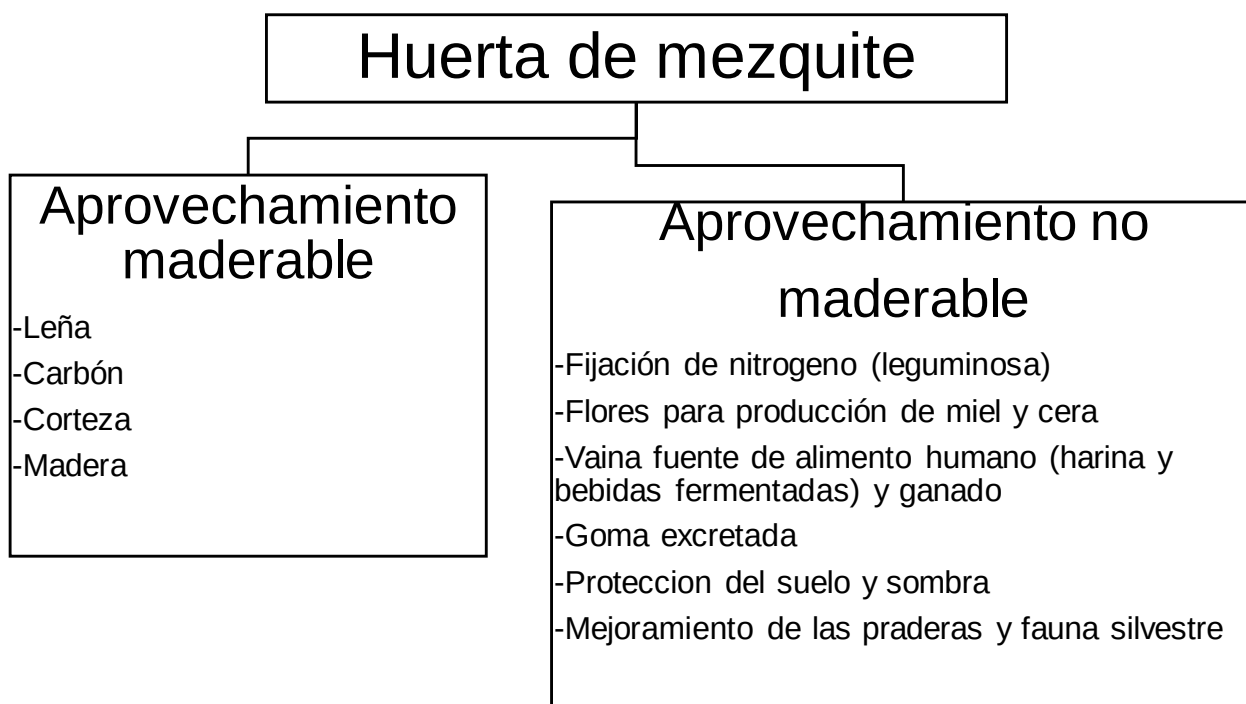


Figura 4. Beneficios de un huerto de mezquite.

Blanco y Sáenz (2015) mencionan que el aprovechamiento maderable y no maderable del mezquite de un sistema agrosilvopastoril son: producción de madera 700 kg/ha, producción de miel en el periodo de floración 400 kg/ha, producción de vainas 2000 kg/ha.

En términos productivos, el mezquite representa una alternativa sustentable y eficiente como fuente de alimento para el ganado, especialmente durante las épocas de escasez forrajera (Sawal et al., 2004; Bhatta et al., 2007; Armijo-Nájera, 2019).

Del mismo modo, López y colaboradores (2018) mencionan que la vaina en el período de madurez tiene cambios físicos y químicos que derivan en diferentes

colores, contenido de azúcar y humedad. Así, en la etapa de madurez las vainas tienen un sabor dulce y un contenido de humedad más bajo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental La Laguna, ubicado en Matamoros, Coahuila, México, durante los meses de junio a noviembre del 2025. Esta región se localiza entre los 24° 22' y 26° 23' latitud norte 102° 00' y 104° 47' latitud oeste. Se pueden alcanzar temperaturas máximas de hasta 45 grados, las temperaturas mínimas oscilan de 0 a 8 grados con una temperatura media anual de 24 °C (Zavala et al, 2022).

3.1 Cosecha de vainas de mezquite

La cosecha de mezquite se llevó a cabo en los meses de junio y julio del 2025, se tomó una muestra aleatoria de 29 árboles de *Prosopis leavigata* localizados en un rodal de 115 hectáreas pertenecientes al INIFAP Campo Experimental La Laguna. La cosecha fue de forma manual de los árboles de pie, se colectó el total de vainas maduras y secas. Posteriormente se tomó una muestra al azar de 75 vainas para su posterior análisis. Cada árbol y muestra se pesó e identifico en bolsas de papel cartón este fue nuestro peso fresco (PF) (Figura 5).

3.2 Identificación del material botánico

De los árboles identificados se tomaron brotes de las ramas con la ayuda de una navaja y se colocaron en prensa botánica, posterior se llevaron al Herbario del

departamento de Agroecología de la universidad Autónoma Antonio Narro, Unidad Laguna en Torreón, Coahuila.

Se identifico mediante claves botánicas, con ayuda de manuales e información técnica disponible para la región (Simpson et al.,1975; Folliott y Thames, 1983).



Figura 5.- Colecta de vainas de mezquite en el rodal del INIFAP- Campo Experimental La Laguna.

3.3 Secado, almacenamiento y prevención de plagas

Las muestras de vaina se sometieron a un proceso de secado en invernadero durante 7 días, las vainas se colocaron en una bolsa de papel sobre un estante de metal, evitando el contacto con el suelo. Del mismo modo, se dio un segundo proceso de secado en estufa de aire forzado POL-EKO a 65°C durante 24 horas, con la finalidad de eliminar plagas presentes, principalmente gorgojos. Posteriormente, las muestras se almacenaron en un lugar fresco y seco (Figura 6).

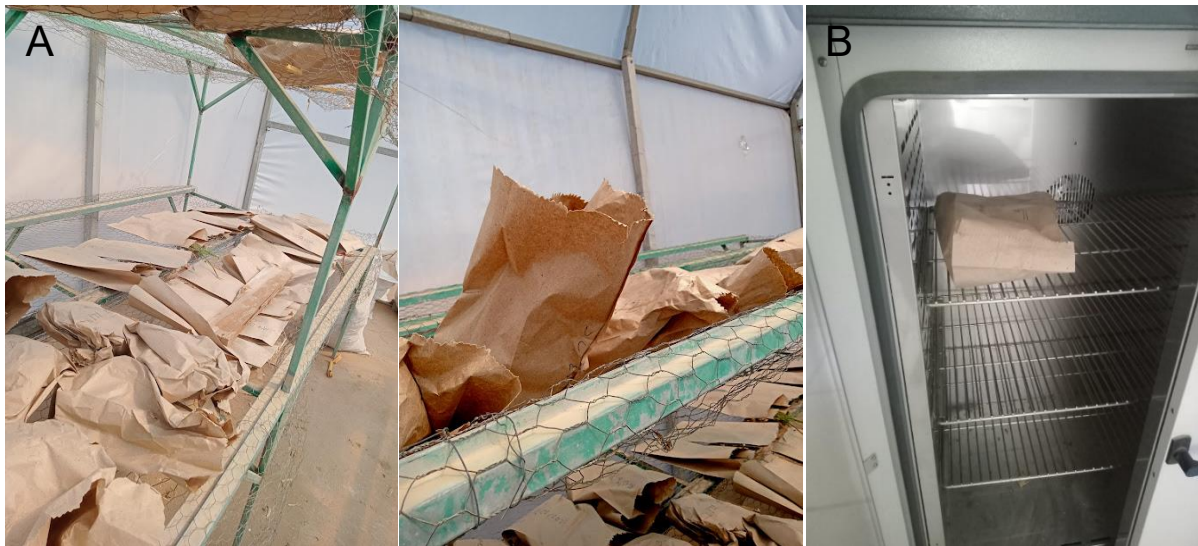


Figura 6. Secado de vainas de mezquite en invernadero (A) y secado en estufa (B).

3.4 Evaluación morfoestructural en función del color de vainas

Se clasificó el color de las vainas con respecto a la escala Gardner (Hansul et al., 2021). Posteriormente, en las 75 vainas ya clasificadas por color, se determinó el peso seco (PS) de las muestras, utilizando una báscula analítica (Sartorius BL600), así como ancho, grueso y largo de cada vaina, con la ayuda de una cinta métrica flexible y un vernier digital (Stereon, Digital HER-411).

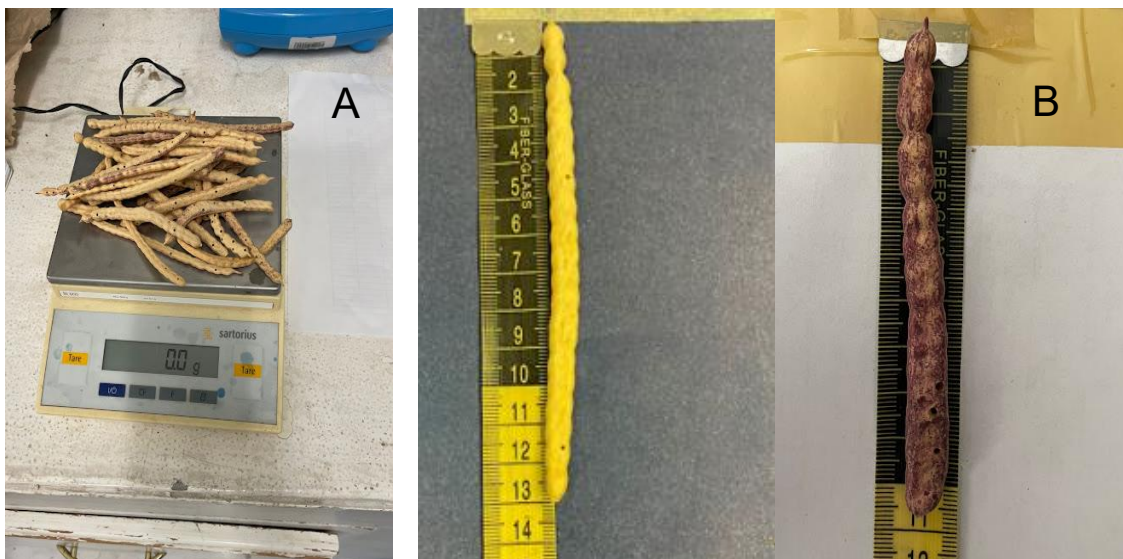
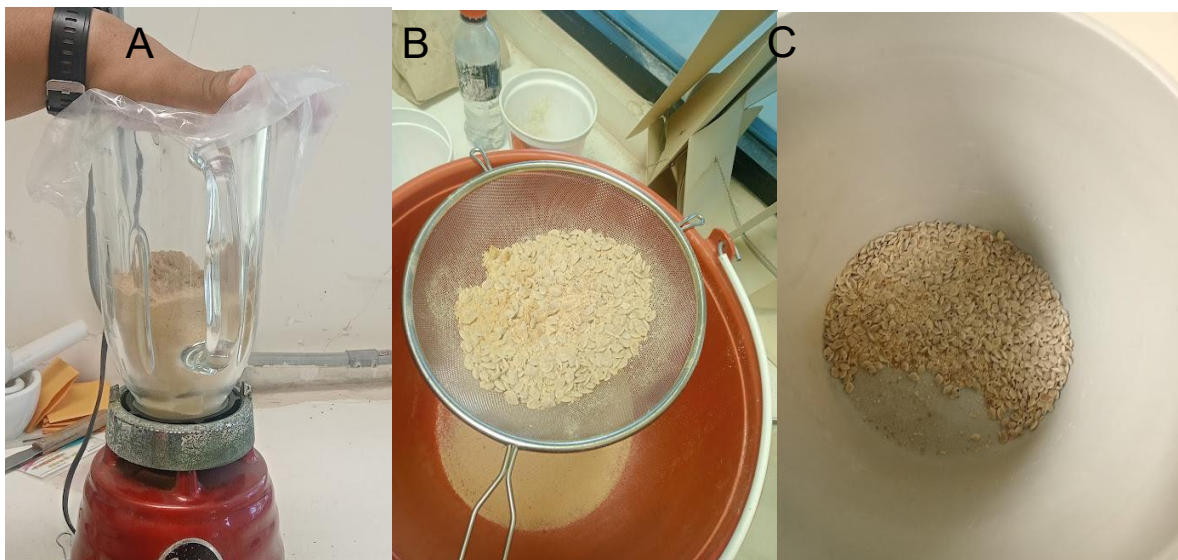


Figura 7. Pesaje de las vainas (A) medición y comparación de tonalidades (B).

3.5 Obtención de la harina de mezquite

Las muestras de vaina de mezquite se molieron en una licuadora Oster blender classic®, hasta obtener un polvo homogéneo. La mezcla se pasó a través de dos tamices: tamiz de 4 mm se utilizó con la finalidad de separar las partículas más grandes (cascara, testa de semilla, etc.), este material se clasificó como harina gruesa (HG); y tamiz de 2 mm constituyó la harina fina (HF). El material de HG se guardó y almaceno en bolsas de papel y HF se almacenó en bolsas de polietileno transparente de baja densidad, con su perspectiva identificación. El producto obtenido se pesó para evaluar rendimiento de harina (PH) (Figura 8).



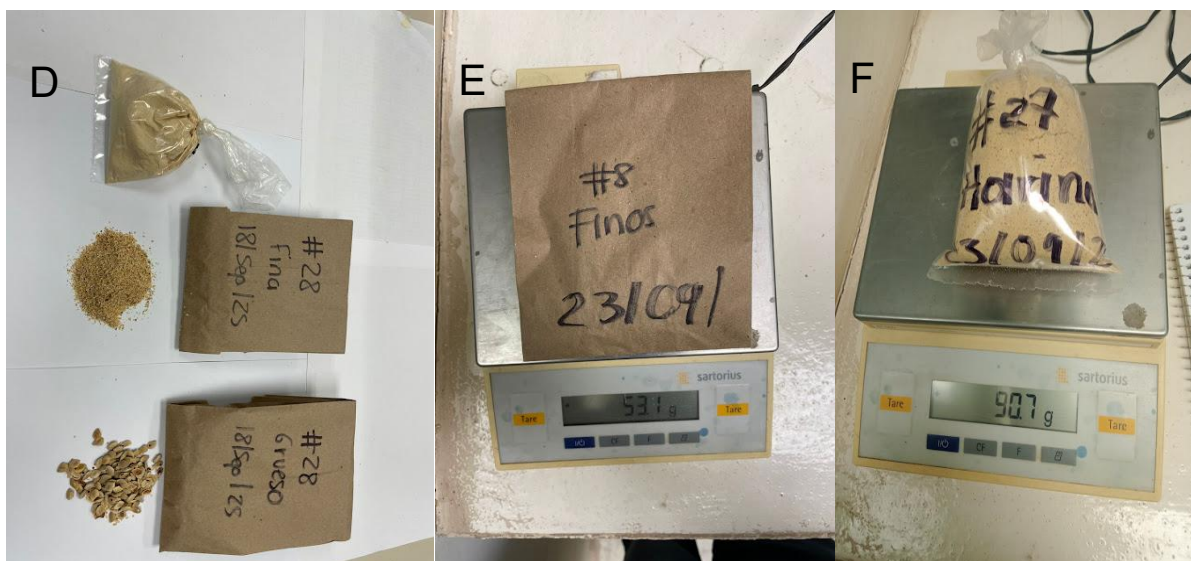


Figura 8. Molienda(A); tamizado (B); colecta y separación por tamaños de residuos (C); identificación de muestras(D); pesaje de muestras (E); rendimiento de la harina (F).

3.6 Determinación del contenido de azúcares solubles en harina de mezquite

El contenido de azúcares solubles se evaluó a través de la determinación de grados brix en la muestra. Para ello, se pesaron 5 gramos de harina de mezquite con una balanza analítica, posteriormente se vació a un matraz Erlenmeyer de capacidad 300 ml, se le agregó 50 ml de agua destilada caliente a 80°C, se agitó por 5 minutos con la ayuda de un agitador magnético de placa caliente (6000 RPM y temperatura 80°C), luego la muestra se dejó en reposo durante 15 minutos y se filtró en un papel filtro No. 42 durante 30 minutos. Posteriormente, con un refractómetro (Agatige, Brix RZ120) se realizó la medición del contenido de grados brix al líquido obtenido y cada muestra se midió por triplicado (Figura 9).

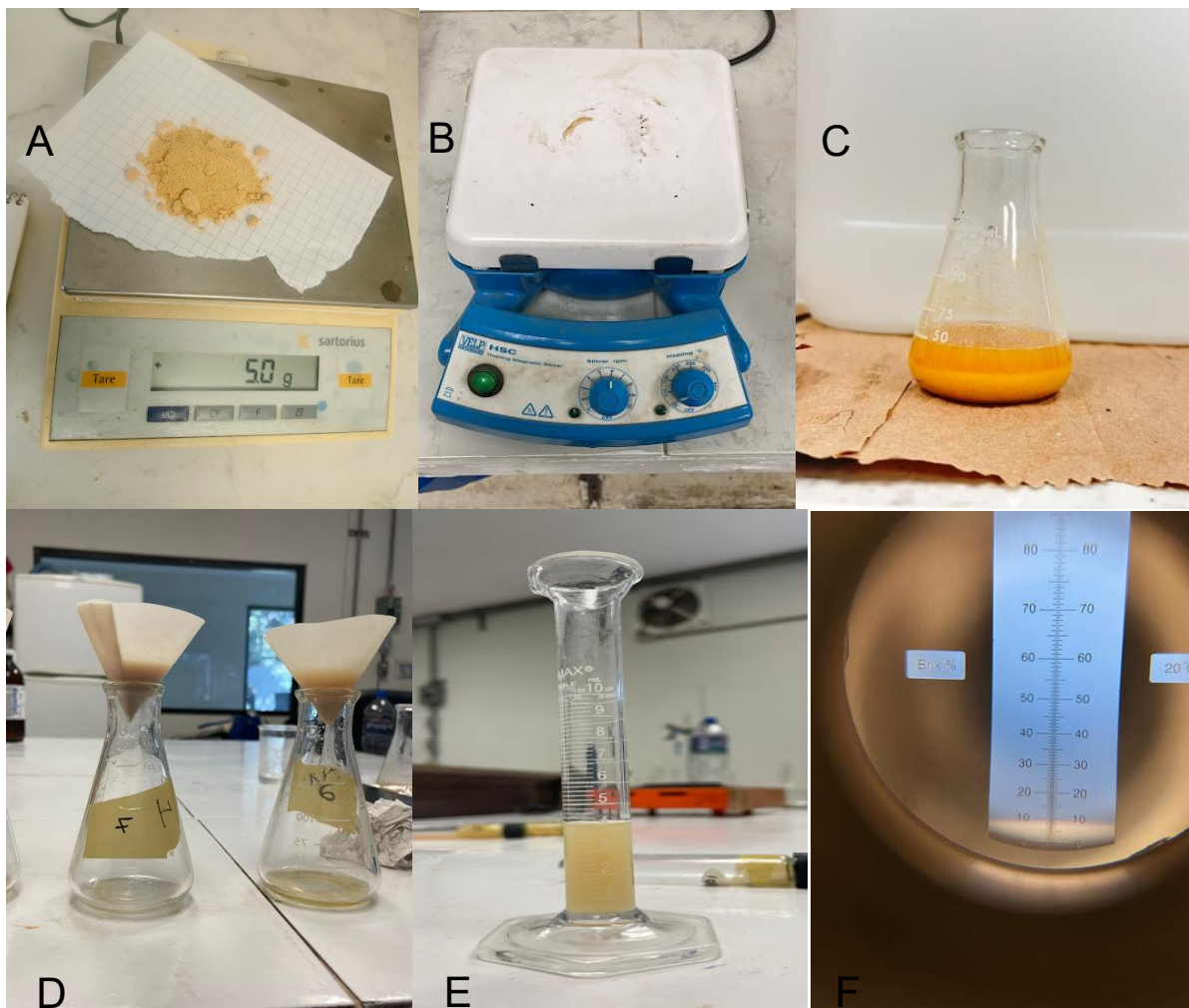


Figura 9. Pesaje de la muestra(A); agitador magnético (B); Reposo de la muestra (C); filtración por método del papel filtro (D); medición del líquido restante (E); medición del contenido de azúcar con el refractómetro (F).

3.7 Análisis estadístico

Para la captura de datos se utilizó Excel Basic 2024, estas fueron analizadas en ANOVA y la comprobación de medias, se realizó por medio de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). El análisis de correlación se realizó a través de la prueba de Spearman ($\alpha=0.05$).

4. RESULTADOS

4.1 Morfometría de las vainas de mezquite en función al color

De acuerdo con la escala de Gardner clasificamos las vainas con tonalidades que van desde amarillo claro, con variantes de manchas rojizas y cafés, rojizas con manchas amarillas, rosadas y purpura (Figura 10).



Figura 10. Comparación de tonalidades de las vainas de mezquite.

Se encontró que las vainas de color púrpura presentaron la mayor longitud ($p < 0.05$), y las vainas de color amarillo con manchas cafés mostraron los valores más bajos. Respecto al ancho de vaina, las amarillas con manchas café fueron significativamente más anchas ($p < 0.05$), mientras que las amarillas fueron significativamente menores ($p < 0.05$). En cuanto al grueso de vaina, las amarillas con manchas cafés obtuvieron los valores mayores, contrario a más rosas que presentaron los valores menores (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medidas morfométricas de mezquite en función del color de la vaina.

Color	Medida (mm)	Longitud	Ancho	Grueso
AMC		112.30±0.48 ^b	9.06±0.11 ^a	5.37±0.11 ^a
AMR		116.80±0.13 ^b	7.73±0.03 ^c	5.11±0.03 ^{ab}
RMA		116.50±0.20 ^b	7.79±0.04 ^c	4.93±0.05 ^{bc}
AMA		118.40±0.22 ^b	7.14±0.05 ^d	4.69±0.05 ^c
PUR		156.10±0.48 ^a	8.02±0.11 ^c	4.26±0.11 ^d
ROS		117.10±0.48 ^b	8.54±0.11 ^b	4.09±0.11 ^d
P- Valor		<0.0001	<0.0001	<0.0001

AMC: amarillas con manchas café; AMR: amarillas con manchas rojizas; RMA: rojizas con manchas amarillas; AMA: amarillas; PUR; púrpura; ROS: rosadas.

4.2 Coeficientes de correlación: morfometría y color de la vaina

El color amarillo con manchas café presentó una relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables longitud con ancho y ancho con grosor de vaina. Para el color amarillo con manchas rojizas, se observó una relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables longitud con ancho y longitud con grosor de vaina. El color rojizas con manchas amarilla, se observó relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables longitud con ancho de vaina, también se observó una relación negativa y significativa entre las variables grueso y largo de vaina. Mientras tanto el color amarillo, se observó una relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables longitud con ancho de vaina y ancho con grosor de vaina. Para el color purpura, se observó relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables longitud con grueso, también se observó una relación negativa y significativa entre las variables ancho y largo de vaina. En cambio, el color rosado, no se observó ninguna relación positiva y significativa ($p < 0.0001$) entre las variables de vaina.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación para variables morfométricas en vaina de mezquite en función del color de la vaina

	amarillo con café			amarillo con rojizo		
	Long	Ancho	Grueso	Long	Ancho	Grueso
Long	1	<0.0001	0.67	1	<0.0001	0.01
ancho	0.44	1	<0.0001	-0.15	1	0
grueso	0.05	0.45	1	-0.08	0.34	1
	rojizo con amarillo			amarillo		
	Long	Ancho	Grueso	Long	Ancho	Grueso
Long	1	0.04	0.77	1	<0.0001	0.38
ancho	-0.09	1	0	0.17	1	<0.0001
grueso	-0.01	0.56	1	0.05	0.27	1
	purpura			rosado		
	Long	Ancho	Grueso	Long	Ancho	Grueso
Long	1	0.94	0.01	1	0.19	0.21
ancho	-0.01	1	0.11	0.15	1	0.03
grueso	-0.28	0.18	1	-0.15	0.25	1

4.3 Rendimiento de harina

Por otra parte, los resultados obtenidos del rendimiento de harina, el peso fresco y seco, así como el rendimiento de harina en función del color de la vaina del mezquite no fueron diferentes ($P>0.05$) para ninguna de las variables consideradas (Cuadro 4).

Cuadro 4. Rendimiento de la harina de mezquite en función del color de la vaina.

Color	PF (g)	PS (g)	PH (g)	HF (g)	HG (g)
AMC	204.00±43.52 ^a	200.10±44.17 ^a	88.9±16.31 ^a	37.7±10.99 ^a	73.60±25.80 ^a
AMR	180.87±11.24 ^a	178.23±11.40 ^a	55.46±4.21 ^a	35.23±2.84 ^a	86.43±06.66 ^a
RMA	179.07±17.77 ^a	173.75±18.03 ^a	59.23±6.66 ^a	38.58±4.49 ^a	74.77±10.53 ^a
AMA	145.22±29.46 ^a	143.62±19.75 ^a	42.24±7.29 ^a	35.84±4.91 ^a	65.18±11.54 ^a
PUR	195.80±43.52 ^a	195.80±44.17 ^a	49.1±16.31 ^a	50.5±10.99 ^a	95.20±25.80 ^a
ROS	179.70±43.52 ^a	179.40±44.17 ^a	35.6±16.31 ^a	34.5±10.99 ^a	108.2±25.80 ^a
P- Valor	0.6508	0.6878	0.1418	0.8301	0.5108

PF: peso fresco; PS: peso seco; PH: peso de la harina; HF: peso de la harina fina; HG: peso de harina gruesa. AMC: amarillas con manchas café; AMR: amarillas con manchas rojizas; RMA: rojizas con manchas amarillas; AMA: amarillas; PUR: púrpura; ROS: rosadas.

4.4 Contenido de azúcares solubles

Con los resultados de contenido brix en función del color de la vaina, se encontró que las vainas color rosado y púrpura presentan mayor porcentaje brix ($P < 0.05$), y la vaina de color amarillo con café presento los menores valores. Del mismo modo, en cuanto al rendimiento de la cosecha de azúcares solubles no se observan diferencias ($P > 0.05$) (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido de brix y cosecha de azúcares solubles en Mezquite en función del color de la vaina.

Color	BRIX (%)	REND (ml)
ROS	7.00±0.29 ^a	3.20±1.18 ^a
PUR	7.00±0.29 ^a	3.20±1.18 ^a
AMR	6.76±0.07 ^{ab}	2.32±0.30 ^a
RMA	6.56±0.12 ^{ab}	2.63±0.48 ^a
AMA	6.40±0.13 ^{ab}	2.80±0.53 ^a
AMC	6.00±0.29 ^b	1.20±1.18 ^a
P- Valor	0.0197	0.7481

BRIX: contenido de brix expresado en porcentaje; REND: Cosecha del líquido en donde se encuentran los azúcares solubles de las vainas de mezquite. AMC: amarillas con manchas café; AMR: amarillas con manchas rojizas; RMA: rojizas con manchas amarillas; AMA: amarillas; PUR; púrpura; ROS: rosadas.

5. DISCUSIÓN

5.1 Morfometría de vainas en *Prosopis leavigata*

Los resultados morfométricos obtenidos en esta investigación (longitud máxima de 15 cm, 8 mm de ancho y 5 mm de grosor) alcanzaron un desarrollo óptimo de maduración, esto se valida al comparar los datos con los rangos de 10 a 17 cm reportados por Solís Roblero y Blanco Contreras (2015), y los anchos de 0.61 a .84 cm descritos por Ruiz (2011) de rangos de madurez.

Esta variabilidad de medidas responde a la plasticidad fenotípica de la especie, como señala Fontana et al. (2015), las dimensiones en el mezquite tienen variación entre especie, individuo e incluso entre poblaciones de una misma especie, influenciado por factores genéticos y ambientales.

Desde un punto de vista nutricional y aprovechamiento. De acuerdo con García-López et al. (2019) existe una relación entre mayor peso de la vaina y una concentración más alta cantidad de nutrientes, sin embargo, el grosor de 5 mm registrado en este trabajo podría representar una limitante, según estos mismos autores un elevado grosor de la cubierta dificulta el aprovechamiento digestivo directo por parte de los rumiantes, por lo tanto, los resultados morfométricos aquí expuestos justifican la necesidad de implementar alternativas de procesamiento de postcosecha para el acceso a la proteína contenida en el endospermo de las semillas.

En cuanto a la diversidad de colores observados en las vainas de *P. laeavigata* coinciden con el reporte de García-López et al. (2019). En un estudio realizado por

García-Azpeitia et al., (2022). reportan que la vaina es de color verde claro cuando es inmaduro y color amarillo, pajizo o pardo-rojizo, hasta tonos morados en la madurez, también Solís Roblero y Blanco contreras (2015) encontraron 8 variaciones de colores: la coloración rojiza como dominante y se acompaña con tonalidades que van desde tonos amarillos hasta el contraste negro.

En nuestro caso, las variaciones de colores claras (pajizas) dominaron sobre las oscuras (pardas o purpuras) por lo que podemos decir que nuestras muestras de vainas se encontraban en una etapa de madurez uniforme.

Por otra parte, la importancia de la coloración de la vaina en otras especies de leguminosas (frijol, garbanzo) se ha determinado la asociación de compuestos anti nutricionales con el color de la semilla, donde el color marrón contiene mayor presencia de taninos que las de colores más claros (Tibe et al., 2007; Amarteifio et al., 2003; Diaz, 2010). Por lo cual, la presencia de coloración de pajizas y claros en nuestra muestra podría traducirse en una menor presencia de factores antinutricionales.

Respecto a los resultados obtenidos en rendimiento de harina en función del color de la vaina no presento diferencias. En otros estudios (Montañez-Valdez et al. 2021), evaluaron la composición química de la harina en diferentes estados de maduración de la vaina y encontraron que las vainas inmaduras de color verde obtuvieron el valor más alto de proteína cruda (18.3%), respecto de las vainas maduras de color morado intenso con líneas verdes (12.3%) y las vainas secas de color morado pálido (13.4%). Otro estudio no encontró diferencias en la composición química de las vainas y el contenido nutraceútico de las vainas maduras y tiernas

(fenólicos, flavonoides y antioxidantes) (Armijo-Nájera et al., 2019), podemos deducir que la falta de variabilidad de harina en nuestras muestras se debe a que el color, en este escenario particular, funcionó más como un rasgo fenotípico superficial o de adaptación ambiental.

La información sobre contenido de azúcares, en términos de la concentración brix, es limitada. Por ello, es importante el desarrollo de nuevas técnicas que permitan hacer estas aproximaciones de manera práctica.

Por otra parte, Rodríguez-Pérez et al., (2022) evaluó el °Brix del zumo de la vaina de *P. laevis*, con tonalidades de la vaina verde, morados con amarillo y amarillos, obteniendo el valor más alto en vainas de color morado con amarillo (12.0%), seguido de las amarillos (7.0%) y verdes (2.2%). Desde una perspectiva fisiológica podemos deducir que las vainas oscuras (rosadas y púrpura) de nuestra muestra indican un estado de madurez más avanzada por lo tanto mayor presencia de azúcares.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos demostraron que si existe una relación entre las características morfológicas (color) y su composición química (azúcares solubles). Por lo que se valida nuestra hipótesis que el color de la vaina afecta el contenido de azúcares solubles. Las vainas de tonalidad rosadas y purpuras presentaron los niveles más altos de azúcares solubles. Por lo tanto, el color puede ser un criterio de selección rápido y económico para el aprovechamiento agrícola.

También los caracteres morfométricos (largo, ancho y grueso) de la vaina presentaron variabilidad en el lugar estudiado, lo que evidencia el potencial del recurso, asimismo buscar alternativas para el aprovechamiento de postcosecha para el acceso de proteínas en las semillas

7. LITERATURA CITADA

- Díaz, A. M., Caldas, G. V., & Blair, M. W. (2010). Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. *Food Research International*, 43(2), 595-601.
- Armijo-Nájera, M. G., Moreno-Reséndez, A., Blanco-Contreras, E., Borrueal-García, V. J., & Reyes-Carrillo, J. L. (2019). Vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) alimento para el ganado. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 114-119
- Blanco C. E. y M. L. Sáenz (2015). Ingeniero en Agroecología; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (La Plata, 2015).
- Contreras-Villarreal , V., Martínez-Ruiz , D., Ángel-García , O., Flores-Salas , J., Ortega-Morales , N., Carrillo-Moreno , D., & Gaytán-Alemán , L. (2022). Complementación alimenticia con mezquite y naranja en cabras:. *Abanico Veterinario*, 2. Obtenido de <https://abanicoacademico.mx/revistasabanico-version-nueva/index.php/abanico-veterinario>
- Goats under Extensive Management. *Asian Journal of Dairy & Food Research*, 43(3).
- Ffolliott, P. F. y Thames, J. L. (1983). Morfología y anatomía de las especies de *Prosopis*. Manual sobre taxonomía de *Prosopis* en México, Perú y Chile. Roma, FAO.
- Filya, I. 2003. The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *J. Dairy Sci.*, 86: 3575-3581.
- García Azpeitia, L., Labrada-Delgado, G. J., Montalvo-González, E., & Loza-Cornejo, S. (2022). Caracteres morfométricos y anatómicos de frutos y semillas de una población de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) en Lagos de Moreno, Jalisco, México. *Acta botánica mexicana*, (129).

- García-López, J. C., Durán-García, H. M., José, A., Álvarez-Fuentes, G., Pinos-Rodríguez, J. M., Lee-Rangel, H. A., ... & Salinas-Rodríguez, M. (2019). Producción y contenido nutrimental de vainas de tres variantes de mezquite (*Prosopis laevigata*) en el Altiplano Potosino, México. *Agrociencia*, 53(6), 821-831.
- Limas, E. D., M. E. Ramírez y A. R. Díaz 2009. "Acciones de lucha contra la desertificación en ambientes semiáridos en el noroeste de Tamaulipas, México." *Papeles de geografía*: 50: 15-26.
- López Cravioto, D., Torres, S. S., Ramírez, J. R., & Gonzáles, L. A. (2018). SECADO CONVECTIVO DE VAINAS DE MEZQUITE (*Prosopis laevigata*). *Contribución al Conocimiento Científico y Tecnológico en Oaxaca*, 2(2).
- Maldonado Jáquez, J. A. (2017). Producción de leche y curvas de lactancia de cabras locales en la Comarca Lagunera, México (Master's thesis).
- Mellano, M. (1997). La cabra criolla en america latina. *Veterinaria Mexico*, 28, 333-343
- Montañez-Valdez, O. D., Reyes-Gutiérrez, J. A., Ley-de Coss, A., Vicente-Pérez, R., Gómez-Vázquez, A., & Guerra-Medina, C. E. (2021). Composición química y degradación ruminal de la vaina de mezquite (*Prosopis* spp.) a diferente estado de madurez. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(II).
- Moreno Esquivel, A. Y., & Blanco Contreras, E. (2017). Diagnóstico de la complejidad de un sistema agrosilvopastoril en transición hacia la sostenibilidad y resiliencia.
- Moreno Esquivel, A. Y., & Blanco Contreras, E. (2017). Diagnóstico de la complejidad de un sistema agrosilvopastoril en transición hacia la sostenibilidad y resiliencia.

- Nicholls CI, Altieri MA, Kobayashi M, Tamura N, McGreevy S, Hitaka K. Assessing the agroecological status of a farm: a principle-based assessment tool for farmers. *Agro Sur* 2020;48(2):29-41
- Nicholls CI, Altieri MA, Vazquez L. Agroecology: principles for the conversion and redesign of farming systems. *J Ecosystem Ecography* 2016;S5(1):1-9.
- Palacios, Ramón A. (2006). Los Mezquites Mexicanos: Biodiversidad y Distribución Geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41(1-2), 99-121. Recuperado en 14 de mayo de 2025, de https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722006000100010&lng=es&tlng=es.
- Rathe, M., Müller, K., Sangild, P. T., & Husby, S. (2014). Clinical applications of bovine colostrum therapy: a systematic review. *Nutrition Reviews*, 72(4), 237-254. <http://dx.doi.org/10.1111/nure.12089>. PMID:24571383.
- Rodney W. Bovey. Mesquite: History, Growth, Biology, Uses, and Management. College Station: Texas A&M University Press, 2016. Disponible en: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=9b1bb92b-4c8f-32db-aff8-379368a3d608>. Acceso en: 13 mayo. 2025
- Rodríguez-Fontes, Yeana, Vázquez-Peña, Arellys, & Muñoz, María del Carmen. (2023). Evaluación de tecnología para la producción a pequeña escala de alimento peletizado, para conejos. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 32(1), Epub 09 de diciembre de 2022. Recuperado en 09 de mayo de 2025, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542023000100007&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez-Pérez, L., Cerón-Ortiz, A. N., Rodríguez-Amador, R., Ramírez-Gerardo, M. G., & Ángeles-Monroy, M. Á. (2022). FERMENTACIÓN DEL ZUMO DE LA VAINA DE MEZQUITE. *Revista mexicana de agroecosistemas*, 9, 1-10.
- Russo, R. O. (2015). Reflexiones sobre los sistemas silvopastoriles. *Pastos y Forrajes*, 38(2), 157-161. Recuperado en 08 de marzo de 2026, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S086403942015000200001&lng=es&tlng=pt.

- Rzedowski, J. (1988). Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana*, (3), 7-19.
- Sauceda, E. N. R., Martínez, G. E. R., Valverde, B. R., Ruiz, R. M., Hermida, M. D. L. C. C., Torres, S. M. M., & Ruiz, H. H. P. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Valenzuela-Núñez, L. M., Trucíos-Caciano, R., Ríos-Saucedo, J. C., Flores Hernández, A., & González-Barrios, J. L. (2011). caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite (*prosopis* sp) en el estado de Coahuila. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 17, 87–96. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.09.067>
- Zavala-Borrego, Felipe, Reyes-González, Arturo, Álvarez-Reyna, Vicente de Paul, Cano-Ríos, Pedro, & Rodríguez-Moreno, Víctor Manuel. (2022). Efecto de la tasa de evapotranspiración en área foliar, potencial hídrico y rendimiento de maíz forrajero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 13(3), 407-420. Epub 08 de agosto de 2022. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i3.2294>
- Solís Roblero, S. D., & Blanco Contreras, E. (2015). Descripción de la producción de vaina en la huerta de Mezquite (*Prosopis* spp) del municipio de San Pedro, Coahuila.
- Hasnul Hadi, MH, Ker, PJ, Thiviyanathan, VA, Tang, SGH, Leong, YS, Lee, HJ, ... & Mahdi, MA (2021). El líquido de color ámbar: una revisión de los estándares de color, métodos de detección, problemas y recomendaciones. *Sensors* , 21 (20), 6866.
- Magaña, J. E. M., Anchondo, M. E. G., Gómez, M. I. T., & Guerrero, M. D. R. B. (2023). Caracterizacion de la goma de mezquite (*Prosopis* spp.) vs huizache

(*Vachellia farnesiana*) de la Región de Naica, Saucillo, Chihuahua. Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 11(2), 06-17.