



Diversidad morfológica del mezquite (*Prosopis spp.*) en la región de Pénjamo, Guanajuato, México

Morphological diversity of mesquite (*Prosopis spp.*) in the region of Pénjamo, Guanajuato, Mexico

María Guadalupe Moreno-Contreras^{a*}, Teresa Susana Herrera Flores^{b*}, Eva Marcela Licea de Anda^{c*}, Alda Alejandra Arratia Castro^{d*}, Azael Medina Haro^{e*}

*Universidad Politécnica de Pénjamo

RESUMEN

Objetivo: evaluar la amplitud de la variabilidad morfológica del mezquite de la región de Pénjamo, en función de las características con mayor valor descriptivo.

Método: a partir de 32 colectas de mezquite en siete localidades de Pénjamo, Guanajuato, se midieron 20 caracteres morfológicos cualitativos (7) y cuantitativos (13) que fueron analizados por componentes principales (ACP) y conglomerados (AC).

Resultados: la caracterización morfológica permitió diferenciar dos grupos y cinco subgrupos basados en el tamaño de la vaina y área foliar.

Limitaciones: considerar factores bióticos, abióticos y antropogénicos que puedan contribuir a explicar la variación observada.

Principales hallazgos: la longitud y ancho del foliolo, pinna y vaina son los principales contribuyentes a la variación cuantitativa, mientras que en características cualitativas la fuente principal de variación fue la posición y arreglo de las espinas, así como la presencia de flores. El ACP indica que el tipo de suelo del lugar de colecta se asoció a la variación cualitativa del mezquite.



Recibido: 17 de diciembre de 2020;
aceptado: 9 de marzo de 2021;
publicado: 22 de marzo de 2021



Palabras clave: *prosopis*, *mezquite*, *variabilidad morfológica*, *análisis de componentes principales*.

ABSTRACT

Purpose: To evaluate the extent of morphological variability of mesquite in the Pénjamo region based on the characteristics with the highest descriptive value.

Methodology: A set of 32 mesquite samples was collected from 7 localities in Pénjamo Guanajuato. In each sample, 20 qualitative (7) and quantitative (13) morphological characters were analyzed, and the soil type of the collection site was recorded. The data were analyzed by main components (PCA) and clusters (CA).

Results: The main component and cluster analyzes differentiated the collections into two groups and five subgroups based on the size of the pod and leaf area.

Limitations: "It is necessary to consider biotic, abiotic, and anthropogenic factors which can contribute to explain the observed variation.

Findings: The length and width of the leaflet, pinna and pod are the main contributors to quantitative variation, while in qualitative characteristics the main source of variation was the position and arrangement of the spines, as well as the presence of flowers. The location and type of soil of the collection site was associated with the qualitative variation of mesquite.



Keywords: *Prosopis*, *mesquite*, *morphological variability*, *main component analysis*.



Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación. CC-BY-NC-ND

INTRODUCCIÓN

Entre los efectos negativos del crecimiento económico se encuentran la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos naturales (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat], 2016). En México, Guanajuato es uno de los estados con mayor nivel de huella humana asociada a la elevada producción de bienes y servicios, motores del desarrollo económico (Tlapanco, 2016), por lo que es necesario fomentar la recuperación y el manejo adecuado de los recursos bióticos con el fin de alcanzar un verdadero desarrollo sustentable. Una de las líneas de acción de las autoridades estatales y federales ha sido la recuperación de las coberturas vegetales a través de la reforestación. Durante el periodo 2010-2017 la Comisión Nacional Forestal (Conafor) asignó 35 mil millones de pesos en subsidios, de los cuales 43 % se destinó a actividades de reforestación, conservación y restauración; y sólo 5 % al desarrollo forestal comunitario (623 millones de pesos para el estado de Guanajuato). Sin embargo, estos subsidios no han tenido un efecto notorio, principalmente por la falta de integración con la tradición agrícola de las regiones y el establecimiento de sistemas económicamente viables (Deschamps y Madrid, 2018; Illescas, Cruz y Uribe, 2020). Una de las metas de estos programas gubernamentales es la reconversión de zonas agrícolas no sustentables, empleando especies como el maguey (*Agave atrovirens*), encino (*Quercus rugosa*), palo blanco (*Celtis leavigata*), parota (*Enterolobium cyclocarpum*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachia*), nopal (*Opuntia spp.*), y en menor medida el mezquite (*Prosopis spp.*); estas plantaciones estarían orientadas a la producción de leña, cercos vivos y agroforestería, es decir, cultivos que generen beneficios directos y permanentes a los propietarios de los terrenos, y que los incentiven a cuidarlos (Gobierno de Guanajuato, 2019; Martínez, Ramírez y Sánchez, 2003; Sosa, 2006).

El árbol de mezquite representa una opción para la reforestación del Bajío guanajuatense, para lo cual es necesario el entendimiento de la diversidad fenotípica y genética en las poblaciones presentes (Klein, Spoljaric y Torales, 2019). El mezquite pertenece a la familia de las leguminosas, produce frutos en forma de vainas, el tronco y ramas son utilizados como recurso maderable y leña, también se emplea como cercos vivos y las flores tienen importancia en la apicultura (Reyes *et al.*, 2018;

Rzedowski y Calderón, 2009). El género *Prosopis*, conocido con el nombre de mezquite (del náhuatl *misquitl*) (Rogers, 2000), agrupa especies abundantes en diversos tipos de matorrales xerófilos y pastizales (Rzedowski, 1988). En el conocimiento popular se reconoce que los mezquitales cubrían grandes extensiones de bosques en la zona central de México, de las cuales persisten a la fecha algunos fragmentos en terrenos planos, laderas, cañadas y lechos de ríos; así como en entornos antropizados como terrenos de cultivo o a la orilla de embalses y caminos (Andrade *et al.*, 2007).

Los mezquitales tienen un importante papel ecológico debido a que generan un hábitat para la fauna silvestre y doméstica, mientras que la microbiota asociada a su rizosfera mejora la fertilidad por la capacidad de fijar nitrógeno (Rodríguez *et al.*, 2014). Adicionalmente, se ha demostrado que tienen un elevado potencial como bioacumulador de metales pesados y arsénico (Muro *et al.*, 2020; Osuna *et al.*, 2020), una problemática ambiental presente en el estado de Guanajuato (Zanor *et al.*, 2019).

A nivel mundial se conocen más de 44 especies, de las cuales 11 se encuentran en territorio mexicano, siendo la especie *Prosopis laevigata* la predominante en el Bajío (Rzedowski y Calderón, 2009); en la región de Pénjamo es escasa la información acerca de la diversidad fenotípica del género *Prosopis*. De acuerdo con datos del Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio], 2021), en el estado de Guanajuato se han reportado sólo dos especies del género, correspondientes a colectas de hace más de 40 años: *P. laevigata*, que cuenta con 52 registros, de los cuales uno corresponde a un espécimen colectado en 1980 en el municipio de Pénjamo; y *Prosopis juliflora* que cuenta con un registro de un espécimen colectado en 1964 en el municipio de Abasolo (Gutiérrez, 1999; Conabio, 2021). A pesar de la relevancia del mezquite para la región son escasos los estudios que se han realizado sobre la diversidad fenotípica del mezquite en los últimos años, específicamente en la región de Pénjamo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la amplitud de la variabilidad morfológica del mezquite en la región de Pénjamo, así como la identificación de las características con mayor valor descriptivo, tomando en cuenta la zona geográfica y el tipo de suelo de la región.

METODOLOGÍA

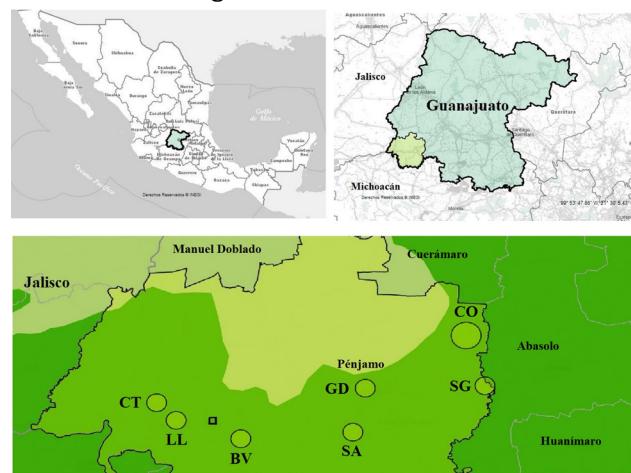
Área de estudio

El municipio de Pénjamo se localiza entre los paralelos $20^{\circ} 38'$ y $20^{\circ} 11'$ de latitud norte y los meridianos $101^{\circ} 35'$ y $102^{\circ} 6'$ de longitud oeste; posee una altitud entre 1600 y 2500 m s. n. m. La temperatura anual promedio es de 20.2°C , con clima semicálido subhúmedo en el valle y templado subhúmedo en la zona de la sierra, con lluvias en verano y precipitación de 700 a 900 mm anuales (Inegi, 2009; García, 2004). Los tipos de suelo dominantes son Vertisol (61.6 %), Phaeozem (23.2 %), Luvisol (7.9 %) y Leptosol (5.3 %) (Inegi, 2009).

Colecta del material vegetal

Tomando como base la información geográfica del municipio de Pénjamo se propusieron tres zonas de colecta: zona este, en la región del río Turbio, colindante con los municipios de Irapuato y Abasolo; zona centro, en los alrededores de la cabecera municipal y la sierra de Pénjamo; y zona oeste, en la región cercana al río Lerma y colindante con Michoacán. En un recorrido por la sierra de Pénjamo no se localizaron árboles de mezquite, únicamente en la zona del valle, por lo que las colectas se limitaron a esta área. Se seleccionaron ocho localidades: Buenavista (BV), Laguna Larga (LL), Los Ocotes (CT), San Rafael de la Maraña, El Sauz de Villaseñor (SA), La Golondrina (GD), San Gabriel (SG) y Corralejo (CO) [figura 1 y tabla 1]. En estas localidades se realizaron 36 colectas por duplicado, en julio de 2017, siguiendo las indicaciones recomendadas para especies arbóreas (Ricker y Rincón, 2014), para cada espécimen se registró la ubicación geográfica y se tomó una fotografía del ejemplar. En las cuatro colectas de San Rafael de la Maraña se observó un daño importante en el follaje debido a plagas y enfermedades por lo que se eliminaron dichas colectas de la caracterización morfológica y análisis subsecuentes, los cuales se realizaron con 32 colectas provenientes de 7 localidades (tabla 1).

Figura 1. Área de estudio



Nota: el área sombreada en verde indica la región de clima semicálido subhúmedo. Los círculos corresponden a las localidades de las colectas: BV, Buenavista; CO, Corralejo; CT, Los Ocotes; GD, La Golondrina; LL, Laguna Larga; SA, El Sauz de Villaseñor; SG, San Gabriel. El recuadro entre LL y BV indica la localidad de San Rafael de la Maraña.

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Tabla 1. Colectas de mezquite realizadas en el municipio de Pénjamo, Guanajuato (2017)

No.	Clave	Coordenadas*	Suelo*	Especie probable
1	BV1	$20^{\circ} 22' 20.5''\text{N}; 101^{\circ} 52' 25.1''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
2	BV2	$20^{\circ} 22' 8.7''\text{N}; 101^{\circ} 52' 2.5''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
3	BV3	$20^{\circ} 22' 27.7''\text{N}; 101^{\circ} 51' 55.6''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
4	BV4	$20^{\circ} 22' 29''\text{N}; 101^{\circ} 52' 21.6''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
5	BV5	$20^{\circ} 22' 17.2''\text{N}; 101^{\circ} 52' 13.7''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
6	CO1	$20^{\circ} 29' 0.3''\text{N}; 101^{\circ} 37' 23.2''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
7	CO2	$20^{\circ} 28' 23.6''\text{N}; 101^{\circ} 37' 5.3''\text{W}$	Vertisol	<i>Prosopis</i> sp.
8	CO3	$20^{\circ} 31' 0.4''\text{N}; 101^{\circ} 37' 47.9''\text{W}$	Leptosol	<i>Prosopis</i> sp
9	CO4	$20^{\circ} 30' 55.2''\text{N}; 101^{\circ} 37' 46.4''\text{W}$	Leptosol	<i>P. laevigata</i>
10	CO6	$20^{\circ} 31' 20.6''\text{N}; 101^{\circ} 37' 34.5''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
11	CO7	$20^{\circ} 30' 23.2''\text{N}; 101^{\circ} 37' 46.1''\text{W}$	Leptosol	<i>Prosopis</i> sp.
12	CT1	$20^{\circ} 24' 5.5''\text{N}; 101^{\circ} 57' 40.9''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
13	CT2	$20^{\circ} 24' 23.7''\text{N}; 101^{\circ} 57' 33.5''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
14	CT3	$20^{\circ} 24' 34.3''\text{N}; 101^{\circ} 57' 32.6''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
15	CT4	$20^{\circ} 24' 37.7''\text{N}; 101^{\circ} 57' 25.8''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
16	GD1	$20^{\circ} 25' 47.9''\text{N}; 101^{\circ} 40' 6.6''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
17	GD2	$20^{\circ} 25' 47.8''\text{N}; 101^{\circ} 44' 13.4''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
18	LL1	$20^{\circ} 23' 46.0''\text{N}; 101^{\circ} 56' 29.8''\text{W}$	Vertisol	<i>Prosopis</i> sp
19	LL2	$20^{\circ} 23' 42.5''\text{N}; 101^{\circ} 56' 30.5''\text{W}$	Vertisol	<i>Prosopis</i> sp
20	LL3	$20^{\circ} 23' 30.2''\text{N}; 101^{\circ} 56' 33.7''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
21	LL4	$20^{\circ} 23' 37.8''\text{N}; 101^{\circ} 56' 37.2''\text{W}$	Vertisol	<i>Prosopis</i> sp
22	LL5	$20^{\circ} 23' 40.4''\text{N}; 101^{\circ} 56' 34.0''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
23	SA1	$20^{\circ} 22' 54.3''\text{N}; 101^{\circ} 44' 59.1''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
24	SA2	$20^{\circ} 22' 55''\text{N}; 101^{\circ} 45' 0.4''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
25	SA3	$20^{\circ} 22' 57''\text{N}; 101^{\circ} 44' 59.6''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
26	SA4	$20^{\circ} 23' 2.9''\text{N}; 101^{\circ} 44' 58.3''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
27	SA5	$20^{\circ} 23' 4.7''\text{N}; 101^{\circ} 44' 57.4''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
28	SA6	$20^{\circ} 22' 56''\text{N}; 101^{\circ} 45' 0.7''\text{W}$	Phaeozem	<i>P. laevigata</i>
29	SG1	$20^{\circ} 25' 30.7''\text{N}; 101^{\circ} 36' 6.0''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
30	SG2	$20^{\circ} 26' 10.5''\text{N}; 101^{\circ} 36' 22.7''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
31	SG3	$20^{\circ} 26' 8.2''\text{N}; 101^{\circ} 36' 21.8''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>
32	SG4	$20^{\circ} 26' 11.7''\text{N}; 101^{\circ} 36' 23.4''\text{W}$	Vertisol	<i>P. laevigata</i>

Nota: BV, Buenavista; CO, Corralejo; CT, Los Ocotes; GD, La Golondrina; LL, Laguna Larga; SA, El Sauz de Villaseñor; SG, San Gabriel.

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Caracterización morfológica de las colectas de mezquite

Se registraron 22 descriptores morfológicos de hojas, tallos y vainas; de los cuales 10 son cuantitativos continuos: tamaño de espina (cm), distancia entre nodos (cm), longitud de cuatro hojas (cm), longitud de la vaina (cm), ancho de la vaina (cm), longitud del foliolo (cm), ancho del foliolo (cm), área foliar estimada (cm^2), longitud de pinna (cm) y longitud del peciolo (cm); y tres cuantitativos discretos: número de semillas/vaina, número de pares de foliolos/pinna, número de pinnas (yugas). Se registraron nueve descriptores cualitativos, uno de tipo binario, presencia de flores (0 = no, 1 = sí); y el resto de tipo nominal: estructura de la vaina (1 = plana, 2 = submoniliforme, 3 = moniliforme), forma de la vaina (1 = recta, 2 = curva, 3 = retorcida), color de la vaina (1 = amarilla, 2 = manchada, 3 = estriada, 4 = morada, 5 = verde), posición de las espinas (0 = ausente, 1 = axial, 2 = estipular), arreglo de las espinas (0 = ausente, 1 = solitaria, 2 = en par), color de la espina (0 = ausente, 1 = blanco, 2 = crema, 3 = gris), presencia de flores (0 = no, 1 = sí), apariencia follaje joven (1 = pubescente, 2 = velutina, 3 = glabra) y color del follaje joven (1 = glauco, 2 = verde). El área foliar se estimó mediante el producto de la longitud y el ancho del foliolo, el número de foliolos por pinna y el número de pinnas.

Para la identificación de la especie de cada colecta se emplearon las claves taxonómicas planteadas por Pasiecznik, Harris y Smith (2004) y por Palacios (2006); y se consideró el área de distribución de la especie *P. laevigata* (Conabio, 2021).

Análisis estadísticos

Las variables morfológicas se categorizaron y codificaron de acuerdo con Palacio, Apodaca y Crisci (2020). De las variables cuantitativas se obtuvo la media de seis mediciones por duplicado; la moda de las variables cualitativas se obtuvo de la observación de tres a seis mediciones de los duplicados colectados por individuo, dado que en algunas colectas sólo se obtuvieron una o dos vainas por duplicado. Las variables cualitativas fueron transformadas en valores numéricos binarios (0-1) o nominales (0 hasta 5), las localidades se codificaron del 1 al 7, en orden alfabético, y el suelo se codificó del

1 al 3 (1 = Vertisol, 2 = Phaeozem, 3 = Leptosol). Para el análisis de componentes principales (ACP) y análisis de conglomerados (AC) se incluyeron como variables la localidad de colecta y el tipo de suelo; en el AC se utilizó el método de enlace completo aglomerativo, con la distancia euclíadiana como índice de disimilitud. Los datos fueron analizados con Minitab.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas de las colectas

La caracterización morfológica permitió identificar 27 colectas como *P. laevigata* (tabla 1), lo cual coincide con la distribución de la especie en el estado de Guanajuato (García *et al.*, 2014; Rzedowski y Calderón, 2009; Conabio, 2021). Las colectas CO2, CO3, CO7, LL1 Y LL2 (tablas 1 y 2) presentaron algunas características cuantitativas y cualitativas intermedias con *P. juliflora*, *Prosopis glandulosa* o *Prosopis tamaulipana*, como foliolos menores a 5 mm, 1 a 3 pares de pinnas por yuga, y vainas menores a 12 cm o mayores a 17 cm y tendientes a ser curvas y moradas o con máculas en lugar de estrías longitudinales (Palacios, 2006). Todas las colectas presentaron follaje joven verde y glabro, mientras que las principales diferencias en algunos individuos fueron la ausencia de espinas (CO7, LL4), la estructura, tamaño, color y forma de la vaina (figura 2) y la presencia de flores (CO3, CO4 y CO7); a su vez se observaron foliolos con longitud menor a 5 mm en colectas de CO2, CO3, CO7, CT1, CT3, LL1 y LL2. Así como vainas menores a 13 cm de longitud para las colectas BV5, CO2, CO4, CO6, CO7, GD1 y LL1 (tabla 2).

Tabla 2. Valor de la media de las variables cuantitativas de las colectas de mezquite en Pénjamo, Guanajuato (2017)

Colecta	Variables Cuantitativas												
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*	13**
BV1	0.48	3.28	0.83	14.63	0.88	17.67	0.53	0.18	5.92	1.50	27.67	2.33	12.62
BV2	1.08	3.38	0.98	13.13	1.10	14.33	0.65	0.25	7.65	1.92	29.83	2.67	25.86
BV3	0.95	3.98	0.90	13.70	0.90	17.50	0.75	0.22	8.15	2.30	34.83	3.33	37.74
BV4	1.08	4.18	0.83	17.13	1.08	21.50	0.73	0.20	7.52	1.60	35.17	2.00	20.63
BV5	0.83	2.75	0.93	11.25	1.05	16.67	0.87	0.22	8.29	2.08	29.33	3.33	36.72
CO1	1.42	3.32	0.81	13.18	0.99	12.17	0.71	0.18	6.40	2.63	24.00	2.33	14.48
CO2	1.65	4.22	0.45	12.38	0.91	10.33	0.42	0.13	4.82	1.25	23.17	3.33	8.68
CO3	1.21	3.66	0.47	19.48	0.99	19.67	0.42	0.12	4.19	1.21	26.00	2.67	6.92
CO4	1.17	4.33	0.73	13.37	1.09	13.67	0.63	0.13	6.03	2.35	23.33	2.00	7.82
CO6	0.76	3.95	0.57	12.45	1.03	12.83	0.56	0.13	5.01	2.81	27.67	4.00	16.16
CO7	0.71	3.08	0.57	10.98	1.13	13.83	0.45	0.13	5.48	1.33	30.00	3.33	11.40
CT1	0.94	4.07	0.45	15.73	1.13	13.00	0.41	0.12	5.07	1.43	32.00	4.00	12.12
CT2	1.68	4.51	0.67	17.98	1.19	19.67	0.69	0.17	6.26	1.34	28.50	2.00	13.17
CT3	1.04	3.38	0.39	20.29	1.20	18.67	0.45	0.11	5.02	1.17	35.17	2.00	7.09
CT4	1.78	4.33	0.64	21.80	1.24	21.50	0.66	0.16	7.75	2.30	35.17	2.00	14.59
GD1	1.72	2.75	0.62	11.51	1.00	11.17	0.54	0.12	6.58	1.64	34.67	3.33	15.09
GD2	0.50	3.79	0.60	15.18	1.11	16.33	0.56	0.17	7.68	1.37	35.83	3.33	22.61
LL1	1.41	3.00	0.45	9.81	1.19	9.00	0.42	0.16	4.73	1.39	27.67	2.00	7.44
LL2	1.25	2.79	0.48	15.35	1.19	17.00	0.46	0.16	5.95	1.24	27.67	2.00	8.00
LL3	0.96	2.58	0.65	13.29	1.13	13.33	0.60	0.18	6.24	1.75	30.00	2.00	13.00
LL4	0.24	3.40	0.55	20.32	1.05	20.67	0.50	0.16	4.54	0.67	29.67	3.33	15.34
LL5	0.88	3.41	0.61	14.50	1.07	16.00	0.57	0.16	5.77	1.85	30.33	3.33	18.66
SA1	1.15	4.06	0.64	17.40	1.07	17.17	0.71	0.17	5.75	1.91	29.33	2.00	14.44
SA2	0.51	3.24	0.63	14.39	1.05	16.60	0.57	0.15	4.94	1.62	24.67	2.00	8.39
SA3	1.03	3.60	0.65	16.43	1.06	15.33	0.61	0.12	5.76	1.79	26.67	2.67	10.70
SA4	0.31	4.72	0.55	16.62	0.98	18.00	0.55	0.11	5.57	1.84	31.67	3.33	13.01
SA5	1.73	3.45	0.65	17.85	1.12	19.17	0.66	0.18	6.22	1.89	30.00	2.00	14.12
SA6	1.02	3.62	0.60	13.31	0.87	14.17	0.59	0.17	5.31	1.35	30.00	3.00	17.98
SG1	2.02	4.34	0.55	18.17	1.10	16.83	0.59	0.15	5.72	2.19	27.83	4.00	19.54
SG2	1.11	3.50	0.58	19.26	1.09	18.33	0.56	0.18	6.00	2.47	27.83	3.00	17.09
SG3	0.80	2.90	0.74	19.73	1.04	22.67	0.76	0.18	7.34	2.72	27.67	2.00	15.21
SG4	0.84	4.21	0.65	14.58	1.01	16.00	0.66	0.18	5.55	1.57	26.17	3.00	18.18

Nota: * Longitud (cm): 1, espina; 2, entrenudos; 3, cuatro foliolos; 4, vaina; 7, foliolo; 9, pinna; 10, pecíolo. § Ancho (cm): 5, vaina; 8, foliolo. ¶ Número: 6, semillas por vaina; 11, pares de foliolos; 12, pinas. ** Área foliar estimada (cm²).

Fuente: elaboración propia.

El área foliar mostró diferencias estadísticas entre las localidades de las colectas, los individuos de Buenavista presentaron una media de 26.1 cm²; La Golondrina y San Gabriel valores de 19.1 y 17.6 cm². Los valores más bajos fueron de 13.2 cm² en El Sauz de Villaseñor y 11.0 cm² en Corralejo (tabla 3). En cuanto al número de foliolos, en las distintas localidades se observa una media que corresponde a lo esperado para especies de *P. laevigata*, cuyo rango reportado es de 20 a 40 pares de foliolos por pinna (Palacios, 2006; Pasiecznik *et al.*, 2004); destaca que las colectas de Corralejo se encuentran también en los valores más bajos observados en pares de foliolos, ancho y longitud de vaina (tablas 2 y 3). En contraste, las localidades de Los Ocotes y San Gabriel presentaron los valores más altos en la longitud de la vaina, 18.95 y 17.93 cm, respectivamente. La variabilidad fenotípica observada entre individuos provenientes de la misma zona geográfica ya ha sido reportada previamente en *Prosopis alba* (Klein *et al.*, 2019). Más que la diversidad genética, esta variabilidad parece estar asociada a la plasticidad fenotípica adaptativa que presentan diversas especies ante condiciones de estrés. Muro *et al.* (2020) observaron una reducción en caracteres morfológicos y fisiológicos en plantas de *P. laevigata* creciendo en sustrato proveniente de sitios mineros contaminados con metales pesados. La fertilidad y pH del suelo influye también significativamente en la morfología foliar; Marañón *et al.* (2020) encontraron una vinculación funcional entre las características de la raíz y de las hojas en seis especies de árboles del Mediterráneo; esta vinculación estaba correlacionada con las condiciones del suelo en el cual se desarrollaban. Por otro lado, condiciones de baja disponibilidad de agua suelen acompañarse de una reducción del área foliar, a fin de reducir la pérdida de agua, lo cual se ha reportado previamente en *Prosopis glandulosa* (Qin, Shangguan y Xi, 2019) y *Prosopis pallida* (Salazar *et al.*, 2019). Adicionalmente, los factores bióticos pueden tener un papel relevante en la morfología de la planta; se ha demostrado que la inoculación de plantas de *P. laevigata* con *Bacillus sp.*, una bacteria promotora del crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés), favorece la tolerancia de la planta al cromo (Ramírez *et al.*, 2019).



Nota: de izquierda a derecha: CO2, curva, amarilla, moniliforme; SG4, recta, estrías, submoniliforme; SA1: curva, morada, submoniliforme; SA5: recta, amarilla, plana.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Comparación de medias de características morfológicas de colectas de mezquite en localidades de Pénjamo, Guanajuato (2017)

Localidad	Área foliar(cm ²)	Pares de foliolos/pinna	Ancho de la vaina (cm)	Longitud de la vaina (cm)
Buenavista	26.1 ± 12.5 a	31.4 ± 4.7 b	1.0 ± 0.13 c	13.9 ± 2.8 c
Corralejo	11.0 ± 5.5 c	25.7 ± 4.5 d	1.02 ± 0.15 c	13.6 ± 4.3 c
Los Ocotes	11.8 ± 4.4 c	32.7 ± 4.7 ab	1.19 ± 0.07 a	18.9 ± 2.7 a
La Golondrina	19.1 ± 8.4 b	35.3 ± 2.9 a	1.05 ± 0.08 bc	13.4 ± 5.5 c
Laguna Larga	12.3 ± 6.5 c	29.1 ± 3.5 c	1.13 ± 0.08 b	14.7 ± 4.2 bc
Sauz de Villaseñor	13.2 ± 5.6 c	28.7 ± 4.4 c	1.03 ± 0.11 c	16.0 ± 3.5 b
San Gabriel	17.6 ± 7.5 b	27.4 ± 3.1 cd	1.06 ± 0.09 c	17.9 ± 3.1 a

Nota: los valores corresponden a las medias ± desviación estándar. Para cada característica se ha señalado en negritas el valor más alto. Letras diferentes en la misma columna, para cada factor, indican diferencia significativa (Fisher, $p < .05$).

.....

Fuente: elaboración propia.

Análisis de componentes principales (ACP) de las variables cuantitativas

El análisis de componentes principales (ACP) ha sido ampliamente utilizado para evaluar la variabilidad morfológica en diversas especies (Alcántara *et al.*, 2020; Marañón *et al.*, 2020) incluido el género *Prosopis* (Castillo *et al.*, 2021; Salazar *et al.*, 2019; Sandoval, Castillo y González, 2018). El ACP de 13 variables cuantitativas de las colectas de mezquite mostró que el componente principal 1 (CP1) contribuye a 29.5 % de variabilidad, y está relacionado con las características del follaje asociadas a la captación de luz: longitud de cuatro hojas, foliolo, pinna y pecíolo, ancho del foliolo, y área foliar; el CP2, con 16.8 % de variación, se relaciona con las características de la semilla e involucra la longitud y ancho de la vaina y el número de semillas por vaina, y en menor proporción el número de pinnas, el suelo y la localidad; y CP3, con 10.9 % de variabilidad, se relaciona con características de la estructura y forma del follaje: el tamaño de espina, distancia del entrenudo, número de pinnas y pares de foliolos por pinna (tabla 4).

Tabla 4. Valores de correlación para los componentes principales de 13 variables cuantitativas de 32 colectas de mezquite en Pénjamo, Guanajuato (2017)

Variable	CP1	CP2	CP3
Tamaño espina	-0.023	-0.119	0.344
Entrenudo	-0.012	-0.162	-0.324
Longitud de 4 hojas	0.439	0.087	0.116
Largo de la vaina	-0.049	-0.569	-0.160
Ancho de la vaina	-0.093	-0.329	0.221
Número de semillas	0.102	-0.524	-0.189
Longitud del foliolo	0.418	-0.120	0.138
Ancho del foliolo	0.394	-0.013	0.165
Longitud pinna	0.435	-0.055	-0.043
Longitud pecíolo	0.255	-0.014	0.206
No. de pinnas	-0.016	0.288	-0.541
No. de pares de foliolos/pinna	0.126	-0.204	-0.425
Área foliar estimada	0.404	0.090	-0.284
Localidad	-0.147	-0.233	0.084
Suelo	-0.029	0.201	-0.031
Varianza Explicada (%)	29.5	16.8	10.9

Nota: se han marcado en cursivas los valores absolutos más elevados en cada componente.

.....

Fuente: elaboración propia.

En la figura 3 se muestra la disposición de los CP1 y CP2; la mayoría de las colectas se ubican en la parte central, mostrando que los individuos tienen características en común. La ordenación con base en el CP1 define que las colectas BV2, BV3 y BV5 se caracterizan por presentar valores altos en longitud de cuatro hojas, foliolo, pinna y pecíolo, ancho del foliolo y área foliar, pero asociada a valores bajos en longitud de vaina, que corresponde a valores positivos en el CP2; con valores negativos en ambos componentes se tienen las colectas CT3, LL2 y LL4 que presentan valores de área foliar por debajo de la media, pero mayor longitud y/o ancho de vaina. La ordenación de las colectas CO2, CO7 y LL1 sobre el eje formado por el CP2 y con valores negativos en el CP1, muestran valores medios bajos tanto en las características de la vaina como del follaje (tabla 3). Finalmente, las colectas BV4, CT4 y SG3 que se ubican en valores positivos en el CP1 y negativos en el CP2 corresponden a valores por encima de la media en cuanto a follaje y vaina. El resto de las colectas tuvieron un acomodo en la parte central, mostrando similitud en las variables evaluadas lo que concuerda con lo propuesto por Juárez, Carrillo y Rubllo (2006), quienes sugieren que regiones con poblaciones pequeñas o con hábitats similares tendrán escasa diferencia fenotípica.

El ACP mostró que la variabilidad observada entre las colectas se asocia a la morfología de las hojas, espinas y vaina, sin tener un efecto considerable por la localidad de la colecta; las colectas CO2, CO7 y LL1 mostraron tamaño medio de foliolos de 0.43 cm y longitud media de vainas de 11.05 cm, valores por debajo de los rangos descritos para *P. laevigata* (Palacios, 2006), mientras que las colectas BV2, BV3 y BV5 presentaron una longitud promedio de los foliolos de 0.78 cm, hacia el límite superior asociado a *P. laevigata*; además, se observó floración tardía en el mes de julio en las colectas CO3, CO4 y CO7, dado que en México la floración suele ocurrir entre marzo y mayo (Rodríguez *et al.*, 2014). No obstante, se debe considerar que la extensión de floración y fructificación puede variar de individuo a individuo e incluso de un año a otro (Risio *et al.*, 2016).

Nota: A: distribución de 13 variables cuantitativas, en los ejes dos componentes principales. B: distribución de 32 colectas de mezquite, en los ejes dos componentes principales Buenavista (BV), Corrales (CO), Los Ocotes (CT), La Golondrina (GD), Laguna Larga (LL), El Sauz (SA), San Gabriel (SG).

Fuente: elaboración propia.

Análisis de componentes principales (ACP) de las variables cualitativas

Todas las colectas presentaron follaje joven verde y de apariencia glabra, por lo que estas variables no se consideraron para el ACP; el CP1 arrojó 30.0 % de variabilidad, se relacionó con las características de la espina, que involucra la posición de la espina, arreglo de las espinas y color de la espina; el CP2, con 17.5 % de variabilidad, fue una medida de la floración y fructificación, considerando la presencia de flores, estructura y forma de la vaina; mientras que el CP3, con 13.3 %, se relacionó con el color de la vaina y el color de la espina (tabla 5); cabe mencionar que la localidad y el tipo de suelo influyeron en mayor proporción en las variables cualitativas que en las variables cuantitativas.

Figura 3. Distribución de 32 colectas de mezquite, en los ejes dos componentes principales, con 13 variables cuantitativas, la localidad y el tipo de suelo de la zona de colecta

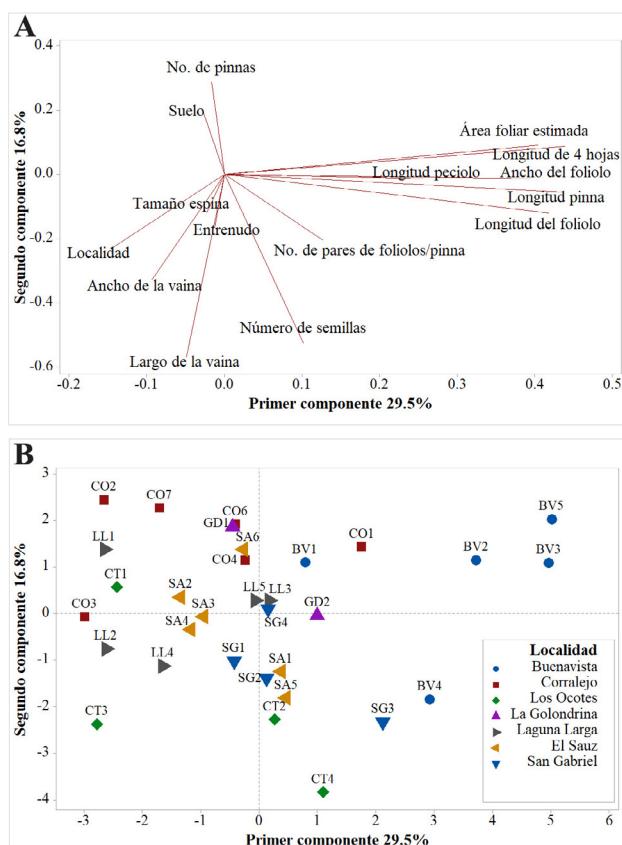


Tabla 5. Valores de correlación para los componentes principales de siete variables cualitativas de 32 colectas de mezquite, en Pénjamo, Guanajuato (2017)

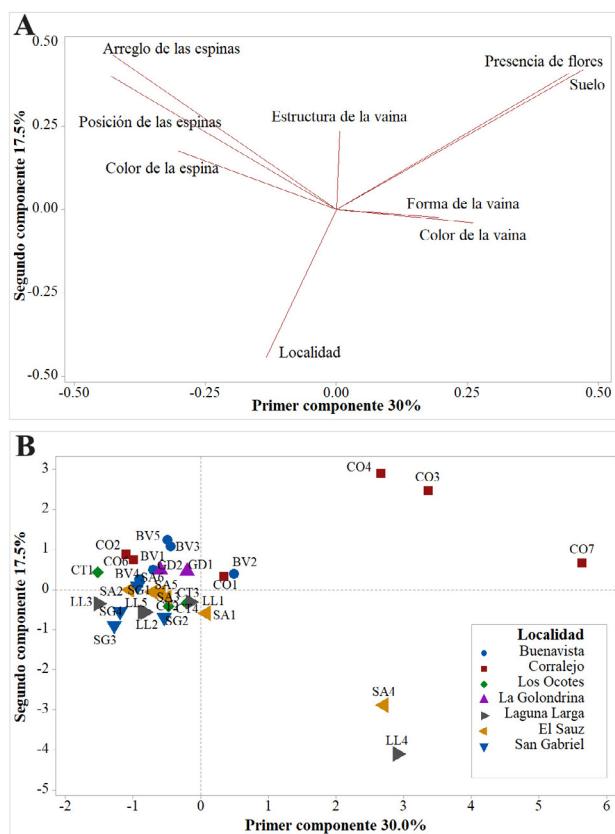
Variable	CP1	CP2	CP3
Localidad	-0.134	-0.443	0.176
Estructura de la vaina	0.006	0.234	0.559
Forma de la vaina	0.195	-0.024	-0.380
Color de la vaina	0.261	-0.040	0.588
Posición de las espinas	-0.430	0.400	0.100
Arreglo de las espinas	-0.428	0.464	0.112
Color de la espina	-0.301	0.175	-0.355
Presencia de flores	0.471	0.419	-0.039
Suelo	0.443	0.407	-0.127
Varianza explicada (%)	30	17.5	13.3

Nota: se han marcado en cursivas los valores absolutos más elevados en cada componente.

.....
Fuente: elaboración propia.

La ordenación con base en el CP1 y CP2 permitió observar dos grupos bien separados del resto de las colectas (figura 4); en el cuadrante superior derecho se agrupan CO3, CO4 y CO7, caracterizadas por la presencia de floración durante el periodo de la colecta (julio 2017) así como por ubicarse en suelo de tipo Leptosol (figura 5). Mientras que las colectas LL4 y SA4 están ordenadas hacia la derecha y se caracterizan por la ausencia de espinas y poseer una vaina plana y curva. El resto de las colectas tuvieron un acomodo en la parte central, lo que indica que presentan similitud en las variables cualitativas evaluadas.

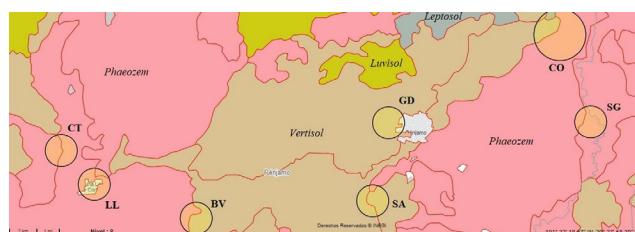
Figura 4. Distribución de 32 colectas de mezquite, en los ejes de dos componentes principales, con siete variables cualitativas, la localidad y el tipo de suelo de la zona de colecta



Nota: A: distribución de 7 variables cualitativas en los ejes de dos componentes principales. B: distribución de 32 colectas de mezquite, en los ejes de dos componentes principales, con siete variables cualitativas, la localidad y el tipo de suelo de la zona de colecta. Buenavista (BV), Corralejo (co), Los Ocotes (ct), La Golondrina (gd), Laguna Larga (ll), El Sauz (sa), San Gabriel (sg).

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Tipo de suelos en las localidades de colecta

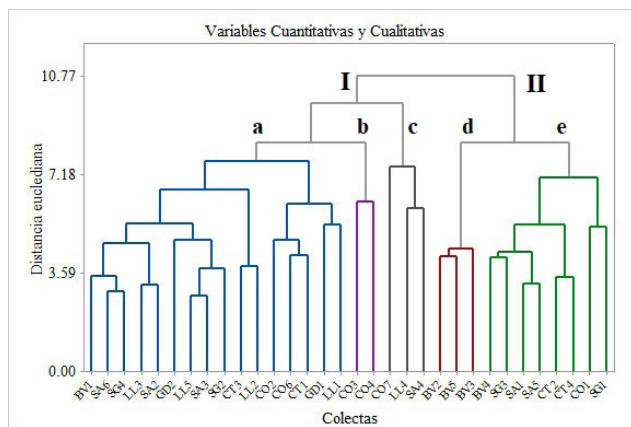


Nota: las áreas sombreadas corresponden al tipo de suelo: rosa, Phaeozem; café, Vertisol; verde, Luvisol y gris, Leptosol. Los círculos corresponden a las localidades de las colectas: BV, Buenavista; co, Corralejo; CT, Los Ocotes; GD, La Golondrina; LL, Laguna Larga; SA, El Sauz de Villaseñor; SG, San Gabriel.

Fuente: elaboración propia con datos de Inegi (2014).

Análisis de conglomerados

El análisis de conglomerados formó dos grupos (I y II, distancia euclíadiana 10.77) y cinco subgrupos (a-e, distancia euclíadiana 7.18), donde se consideraron 13 variables cuantitativas y siete cualitativas, más localidad y el tipo de suelo de cada colecta (figura 6). El subgrupo Ia está conformado por 16 colectas que representan los siete sitios de muestreo, con características morfológicas intermedias y que incluye a las colectas LL1, LL2 y CO2 que no se identificaron como *P. laevigata* en la caracterización morfológica. Destaca en este grupo la colecta CT3, que posee la media más elevada en tamaño de vaina, pero baja área foliar. El subgrupo Ib conjunta a las colectas CO3 y CO4 las cuales presentaron floración tardía; en tanto que el subgrupo Ic vincula tres colectas CO7, LL4 y SA4, que se caracterizaron por la ausencia de espinas. El grupo II, con 11 colectas, corresponde a individuos con vaina y/o follaje por arriba del promedio; las colectas del grupo IIa (BV2, BV3, BV5) se caracterizan por una media de área foliar de 31.69 cm², y el IIb (BV4, SG1, SG3, SA1, SA5, CT2 y CT4) por el mayor tamaño de la vaina con 19.21 cm en promedio. La excepción en este grupo es la colecta CO1 la cual, aunque presenta un tamaño de vaina bajo, se asocia a este grupo por los valores altos en longitud de pinna y peciolo (tabla 2).

Figura 6. Dendrograma de las 32 colectas de mezquite

Nota: Buenavista (bv), Corralejo (co), Los Ocotes (ct), La Golondrina (gd), Laguna Larga (ll), El Sauz (sa), San Gabriel (sg).

Fuente: elaboración propia.

Se observó una evidente separación de las colectas CO₃, CO₄ y CO₇ (figuras 4 y 6); estas colectas presentaron tamaño de foliolos menores a 0.5 cm, menos de 30 pares de foliolos por pinna y de 1 a 3 pinas por hoja, características más acordes a *P. tamaulipana* que a *P. laevigata*; existe discrepancia entre distintos autores respecto al taxón de *P. tamaulipana*, siendo considerada como una variedad de *P. laevigata* por Rzedowski (1988). A pesar de esto, y debido a que presenta su distribución en un área geográfica determinada en los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Veracruz, se ha mantenido su clasificación como una especie diferente a *P. laevigata* (Palacios, 2006). La especie *P. tamaulipana* se ubica en La Huasteca, que colinda hacia el sur con el estado de Guanajuato. Existe la posibilidad de que las colectas CO₃, CO₄ y CO₇ sean resultado de hibridación entre las especies *P. laevigata* y *P. tamaulipana*. Esto se sustenta en la elevada hibridación natural de especies de *Prosopis* observada en México y Norteamérica (Galindo *et al.*, 1995; Rzedowski, 1988); Sudamérica (Fontana, Pérez y Luna, 2018); Australia (Van Klinken, Graham y Flack, 2006) y África (Castillo *et al.*, 2021).

El factor antropogénico también debe ser tomado en cuenta en la variabilidad fenotípica. Se ha propuesto que la presencia de individuos de *Prosopis* con vigor y elevada producción de vaina, así como frutos notables en cuanto al tamaño y palatabilidad, podría ser debida

a la selección por recolectores prehispánicos, así como al traslado de semillas de una especie endémica de una región a otra zona donde pueden generar híbridos exitosos (Palacios y Brizuela 2005).

Por otra parte, existe la posibilidad de que la variación observada se deba a las características ambientales de cada colecta, ya que condiciones de estrés pueden generar variación morfológica en especies de *Prosopis* (Qin *et al.*, 2019; Villagra *et al.*, 2010). Se observó que tres árboles de la localidad de Corralejo (CO₃, CO₄ y CO₇) fueron los únicos que presentaban flores. La floración en *P. laevigata* ocurre normalmente entre los meses de marzo a mayo (Rodríguez *et al.*, 2014), sin embargo, Andrés (2019), quien analizó los datos de floración y fructificación correspondientes al periodo de 2003 a 2018 en 21 especies de matorral xerófilo localizadas en el Noreste de México, identificó que cuatro de ellas, entre las que se encuentra *P. laevigata*, han retrasado en los años más recientes la producción de flores. Este resultado fue contrario a la hipótesis planteada, en la que se esperaba un adelanto de la floración asociada al incremento de temperatura producto del calentamiento global. La autora menciona la necesidad de ampliar el periodo de estudio e involucrar otras variables, por ejemplo, las variaciones en temperatura y humedad. En el presente estudio se encontró que las únicas colectas que presentaron floración fuera del periodo común son también las únicas que se ubican en suelo de tipo Leptosol, el cual se caracteriza por ser un suelo delgado y pedregoso, frecuente en terrenos con fuerte pendiente topográfica, particularmente en áreas intensamente erosionadas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2015). Esto apunta a una posible relación entre las condiciones del suelo, y sus variables asociadas como humedad, fertilidad, materia orgánica, microbiota, etc., con modificaciones en la floración de *P. laevigata*.

En la diversidad genética del mezquite se está aplicando el análisis de marcadores moleculares, en los cuales se eliminan los factores ambientales como fuente de variabilidad; Juárez *et al.* (2006) y Cano (2003) analizaron la variabilidad genética en poblaciones de *P. laevigata* localizadas en los estados de Guanajuato, Hidalgo y Puebla. En sus resultados encontraron que las poblaciones analizadas presentaban una baja diversidad genética, en concordancia con los resultados obtenidos en los análi-

sis morfométricos correspondientes al subgrupo Ia del presente estudio. Sin embargo, los subgrupos Ib, Ic, IIId y IIe conjuntaron colectas que presentan diversidad morfológica e incluso fenológica con respecto al grupo Ia, siendo especialmente notorio el grupo IIe que conjunta individuos con características diferentes al promedio, similar a lo observado por Joseau *et al.* (2013) en poblaciones de *P. alba*, *P. chilensis* y *P. nigra*. El éxito de programas de conservación y reproducción de germoplasma con fines de reforestación depende en buena medida de la selección de individuos propios de la región, que puedan tener éxito en la adaptación y supervivencia de las plántulas a largo plazo (Klein *et al.*, 2019) ya sea por genotípico o por su plasticidad fenotípica adaptativa. La amplia variabilidad característica del género *Prosopis* respalda la necesidad de caracterizar la población de la zona de interés previo a la selección de germoplasma con fines reproductivos.

CONCLUSIONES

En el presente estudio se encontró una importante variabilidad morfológica en las colectas de *Prosopis* de la región de Pénjamo. El ACP de las variables cuantitativas indicó que la longitud y ancho del foliolo, pinna y vaina son los principales contribuyentes a la variación cuantitativa, mientras que en características cualitativas la fuente principal de variación fue la posición y arreglo de las espinas, así como una asociación entre el tipo de suelo y la presencia de flores.

El ACP y el AC mostraron que la variabilidad observada en las colectas tiene una baja asociación con la localidad, con excepción de las obtenidas en Corrales, con vainas y follaje de menor tamaño, ausencia de espinas y floración tardía; y Buenavista, con los mayores valores en área foliar. Este resultado abre la perspectiva a evaluar el efecto de factores ambientales, como las características del suelo y microbiota asociada, sobre la diversidad morfológica observada, así como el empleo de técnicas moleculares que permitan caracterizar genéticamente la población de mezquite analizada.

Finalmente, el grupo II del dendrograma presenta características de vaina y/o follaje por encima del promedio, con potencial para su empleo en programas de reforestación y aprovechamiento, por lo que es conve-

niente ampliar el área de estudio para ubicar otras poblaciones de interés agroforestal. La diversidad observada sustenta la necesidad de caracterizar el germoplasma de mezquite en el país. Pénjamo, municipio con mayor número de localidades rurales en el país, representa una importante área de estudio para el aprovechamiento sustentable de los recursos forestales de la región.

AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue posible gracias al trabajo de campo realizado por la Ing. Guadalupe Alejandra Montes Frausto, veraniega del programa Verano Estatal de la Investigación 2017 Concyteg (SICES, convenio 133/2017 UPP) y Prodep a través del Programa de Fortalecimiento de Cuerpos Académicos 2017 UPPE-CA-3 “Ciencia y Tecnología Sustentable” (IDCA 26871).

REFERENCIAS

- Alcántara, O., Oyama, K., Ríos, C., Rivas, G., Ramírez, S., y Luna, I. (2020). Morphological variation of leaf traits in the *Ternstroemia lineata* species complex (Ericales: Penthaphylacaceae) in response to geographic and climatic variation. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.8307>
- Andrade, M., Calderón, G., Camargo, S., Grether, R., Hernández, H., Martínez, A., ... Sousa, M. (2007). *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* (150). Recuperado de <http://www1.inecol.edu.mx/publicaciones/resumenes/FLOBA/Mimosoideae150.pdf>
- Andrés, F. (2019). Análisis de dos fases fenológicas de especies del matorral espinoso tamaulipeco en el noreste de México y su relación con la filogenia (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Cano, D. (2003). Análisis de la variabilidad genética de *Prosopis laevigata* (Fabaceae) en la región del valle de Zapotitlán Salinas, Puebla, utilizando marcadores moleculares RAPD y caracteres morfométricos (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Castillo, M., Schaffner, U., Van Wilgen, B., Montaño, N., Bustamante, R., Cosacov, A., y Le Roux, J. (2021). Genetic insights into the globally invasive and taxonomically problematic tree genus *Prosopis*. *AoB Plants*, 13(1). <https://doi.org/10.1093/aobpla/plaa069>
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. (2021). *EncicloVida* [base de datos]. Recuperado de <http://www.enciclovida.mx>
- Deschamps, P., y Madrid, S. (2018). *Subsidios forestales sin rumbo. Apuntes para una política en favor de las comunidades y sus bosques*. Recuperado de https://www.ccmss.org.mx/wp-content/uploads/Subsidios-forestales-sin-rumbo_2010_2017.pdf
- Fontana, M., Pérez, V., y Luna, C. (2018). Características evolutivas en *Prosopis spp.*: citogenética, genética e hibridaciones. *Rodriguésia*, 69(2), 409-421. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201869212>
- Galindo, A., García, M., Wendt, T., y González, C. (1995). Potencial de hibridación natural en el mezquite

- (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa* var. *torreyana*, Leguminosae) de la Altiplanicie de San Luis Potosí. *Acta Botánica Mexicana*, (20), 101-117. <https://doi.org/10.21829/abm20.1992.660>
- García, E. (2004). *Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen*. Recuperado de <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- García, R., Sánchez, V., Hernández, M., y Reséndiz, N. (2014). Estudio descriptivo de diversidad florística y usos de árboles y arbustos nativos del sureste de Guanajuato. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 2(2), 24-31. Recuperado de <http://www.somenta.org.mx/Revistas/2014-2/2014-2,4.html>
- Gobierno de Guanajuato (2019, julio 11). *Guanajuato Celebra Día Nacional del Árbol con Reforestaciones* [boletín de prensa]. Recuperado de <https://boletines.guanajuato.gob.mx/2019/07/11/guanajuato-celebra-dia-nacional-del-arbol-con-reforestaciones/>
- Gutiérrez, G. (1999). *Sistematización del Herbario Nacional Forestal Biól. Luciano Vela Gálvez* [base de datos]. Recuperado de <http://www snib.mx/iptconabio/resource?r=SNIB-P140#>
- Ilescas, L., Cruz, A., y Uribe, M. (2020). Sistemas agroforestales tradicionales desde la perspectiva del “Buen Vivir”. *Revista de Geografía Agrícola*, (65), 000-000. Recuperado de <https://chapin-go-cori.mx/geografia/geografia/article/view/r. rga.2020.65.02>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Pénjamo, Guanajuato*. Recuperado de http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/11/11023.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi]. (2014). *Mapa Digital de México*. Recuperado de <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>
- Joseau, M., Verga, R., Díaz, M., y Julio, N. (2013). Morphological Diversity of Populations of the Genus *Prosopis* in the Semiarid Chaco of Northern Cordoba and Southern Santiago Del Estero. *American Journal of Plant Sciences*, 4(11), 2092-2111. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.411261>
- Juárez, J., Carrillo, G., y Rubluo, A. (2006). Polymorphism determination in two natural mezquite (*Prosopis laevigata*) populations using RAPD. *Biología Aplicada*, 23, 229-235. Recuperado de <https://elfosscientiae.cigb.edu.cu/PDFs/Biotecnol%20Apl/2006/23/3/BA002303OC229-235.pdf>
- Klein, L., Spoljaric, M., y Torales, S. (2019). Identificación de genotipos estables en 19 familias de *Prosopis alba* usando marcadores de microsatélites y parámetros de productividad. *Quebracho*, 27, 26-36. Recuperado de <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/vol27n1a04.pdf>
- Marañón, T., Navarro, C., Gil, M., Domínguez, M., Madejón, P., y Villar, R. (2020). Variation in morphological and chemical traits of Mediterranean tree roots: Linkage with leaf traits and soil conditions. *Plant and Soil*, 449, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11004-020-04485-5>
- Martínez, S., Ramírez, P., y Sánchez, V. (2003). *Evaluación del Programa Nacional de Reforestación (PRONARE 2002) Guanajuato*. México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado de <https://www.cnf.gob.mx:8443/snif/portal/component/phocadownload/category/176-pronare-zonas-3-y-5?download=602:informe-final-guanajuato>
- Muro, D., Mussali, P., Valencia, L., Flores, K., y Tovar, E. (2020). Morphological, physiological, and genotoxic effects of heavy metal bioaccumulation in *Prosopis laevigata* reveal its potential for phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 40187-40204 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10026-5>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés]. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/3/i3794es/I3794es.pdf>
- Osuna, C., Armienta, M., Bergés, M., y Páez, F. (2020). Arsenic in waters, soils, sediments, and biota from Mexico: An environmental review. *Science of The Total Environment*, 752(15). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142062>
- Palacio, F., Apocada, M., y Crisci, J. (2020). *Análisis Multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación usando el lenguaje R*. Recuperado de [https://fundacionazara.org.ar/img/libros/analisis-](https://fundacionazara.org.ar/img/libros/analisis-multivariado-para-datos-biologicos/analisis-)

- multivariado-para-datos-biologicos.pdf
- Palacios, A. (2006). Los mezquites mexicanos: biodiversidad y distribución geográfica. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 41(1-2), 99-121. Recuperado de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722006000100010&lng=es&tlang=es
- Palacios, R., y Brizuela, M. (2005). *Prosopis*: historia y elementos para su domesticación. *Agrociencia*, 9(1-2), 41-51. Recuperado de <http://fagro2.fagro.edu.uy/agrociencia/index.php/directorio/article/view/276>
- Pasiecznik, N., Harris, P., y Smith, S. (2004). *Identifying tropical Prosopis species: a field guide*. Recuperado de https://assets.publishing.service.gov.uk/media/57a08ce740f0b652dd00163e/R7295_prosopis_field_guide.pdf
- Qin, J., Shangguan, Z., y Xi, W. (2019). Seasonal variations of leaf traits and drought adaptation strategies of four common woody species in South Texas, USA. *Journal of Forestry Research*, 30(3), 1715-1725. <https://doi.org/10.1007/s11676-018-0742-2>
- Ramírez, V., Baez, A., López, P., Bustillos, R., Villalobos, M., Carreño, R., ... Munive, A. (2019). Chromium hyper-tolerant *Bacillus* sp. MH778713 assists phytoremediation of heavy metals by mesquite trees (*Prosopis laevigata*). *Frontiers in Microbiology*, 10,1-12. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01833>
- Reyes, J., Galarza, J., Muñoz, R., y Moreno, A. (2018). Diagnóstico territorial y espacial de la apicultura en los sistemas agroecológicos de la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 215-228. <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i2.961>
- Ricker, M., y Rincón, A. (2013). *Manual para realizar las colectas botánicas del inventario Nacional Forestal y de Suelos*. Recuperado de https://www.snieg.mx/DocAcervoINN/documentacion/inf_nvo_acervo/SNIGMA/Inv_Nac_For_Suelos/INFyS_2013_Anexo_manual_colectas_botanicas.pdf
- Risio, L., Calama, R., Bogino, S.M., y Bravo, F. (2016). Inter-annual variability in *Prosopis caldenia* pod production in the Argentinean semiarid pampas: A modelling approach. *Journal of Arid Environ-* ments, 131, 59-66. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.007>
- Rodríguez, E., Rojo, G., Ramírez, B., Martínez, R., Hermida, M., Medina, S., y Piña, H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd.) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-194. <https://doi.org/10.35197/rx.10.01.e.2014.13.er>
- Rogers, K. (2000). *The Magnificent Mesquite*. Texas: University of Texas Press.
- Rzedowski, J. (1988). Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana*, 7(3), 7-19. <https://doi.org/10.21829/abm3.1988.566>
- Rzedowski, J., y Calderón, G. (2009). Lista preliminar de árboles silvestres del estado de Guanajuato. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes* (24), 1-14. Recuperado de <http://inecolbajio.inecol.mx/floradelbajio/documentos/fasciculos/complementarios/ComplementarioXXIV.pdf>
- Salazar, P., Navarro, R., Cruz, G., Grados, N., y Villar, R. (2019). Variability in growth and biomass allocation and the phenotypic plasticity of seven *Prosopis pallida* populations in response to water availability. *Trees*, 33, 1409-1422. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01868-9>
- Sandoval, M., Castillo, M., y González, C. (2018). Evaluación de 14 características de mezquite *Prosopis laevigata* de cinco localidades del estado de Guanajuato. En G. Vázquez, A. Martínez, C. Solano, M. Sánchez y E. Ramos, *Desarrollo Científico en México* (pp. 23-29). Recuperado de https://www.cio.mx/desarrollo_cientifico_en_mexico.php
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales [Semarnat]. (2016). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015*. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
- Sosa, V. E. (2006). *Programa Estratégico Forestal del Estado de Jalisco 2007-2030*. México: Comisión Nacional Forestal. Recuperado de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/181Programa%20Estrat%C3%a9gico%20>

- Forestal%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf
Tlapanco, R. (2016). El impacto de los parques científicos y tecnológicos del estado de Guanajuato en el desarrollo tecnológico y económico regional (Tesis de doctorado). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Van Klinken, R., Graham, J., y Flack, L. (2006). Population Ecology of Hybrid Mesquite (*Prosopis* Species) in Western Australia: How Does it Differ from Native Range Invasions and What are the Implications for Impacts and Management? *Biological Invasions*, 8, 727-741. <https://doi.org/10.1007/s10530-005-3427-7>
- Villagra, P., Vilela, A., Giordano, C., y Álvarez, J. (2010). Ecophysiology of *Prosopis* species from the arid lands of Argentina: What do we know about adaptation to stressful environments? En K. Ramawat, *Desert Plants* (pp. 321-340). https://doi.org/10.1007/978-3-642-02550-1_15
- Zanor, G., García, M., Venegas, L., Saldaña, A., Saldaña, N., Martínez, O., ... Ramírez, L. (2019). Sources and distribution of arsenic in agricultural soils of Central Mexico. *Journal of Soils and Sediments*, 19(6), 2795-2808. <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02269-8>
-

NOTAS DE AUTOR

^a Profesora de tiempo completo en la Universidad Politécnica de Pénjamo. Maestra en Ciencias en Biología Experimental. Sus líneas de investigación son: biotecnología sustentable en procesos productivos; análisis morfológico, bromatológico y funcional de leguminosas y otras especies de interés agroecológico; desarrollo y evaluación de productos bióticos. Correo electrónico: qfbmoreno3@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0702-450X>

Últimas publicaciones:

- Moreno, M.G., Herrera F., Licea, M., y De la O, M. (2015). Comparación entre el uso de aire caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (*Amaranthus* sp). *Ingeniantes*, 1(2), 40-44. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/312892373_Comparacion_entre_el_uso_de_aire_caliente_y_microondas_sobre_la_capacidad_de_reventado_de_semilla_en_cuatro_variedades_de_Amaranto_Amaranthus_sp
- Herrera, T., Delgado, A., Ramírez, P., Licea, M., Moreno, C.M., y Machuca, C. (2014). Estudio de la composición proximal de variedades de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Costa 2004 y Blanoro. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria de México*, 2(2), 9-15. Recuperado de <http://www.somecta.org.mx/Revistas/CYTAM2.2/CYTAM-2014-2-4.pdf>
- Moreno, M.G., Bravo, A., y Cervantes, C. (2007). Papel de residuos básicos de la proteína ChrA de *Pseudomonas aeruginosa*. *Ciencia Nicolaita*, 46, 89-103. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277658063_Papel_de_residuos_basicos_de_la_proteina_Chra_de_Pseudomonas_aeruginosa

^b Profesora de tiempo completo en la Universidad Politécnica de Pénjamo. Doctora en Fisiología Vegetal. Sus líneas de investigación son: estadística; fisiología vegetal; estrés abiótico.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0793-5242>

Últimas publicaciones:

- Herrera, T., Moreno, M.G., Licea, M., y Arratia, A. (2019). Tasas de crecimiento económico de leguminosas de bajo consumo de agua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 987 - 98. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1852>
- Moreno, M.G., Herrera F., Licea, M., y De la O, M. (2015) Comparación entre el uso de aire caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (Amaranthus sp). *Ingeniantes*, 1(2), 40-44. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/312892373_Comparacion_entre_el_uso_de_aire_caliente_y_microondas_sobre_la_capacidad_de_reventado_de_semilla_en_cuatro_variedades_de_Amaranto_Amaranthus_sp
- Herrera, T., Ortiz, J., Delgado, A., y Acosta, J. (2014). Contenido de osmoprotectores, ácido ascórbico y ascorbato peroxidasa en hojas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(5), 859-870. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500011&lng=es&tlang=es

c Profesora de tiempo completo en la Universidad Politécnica de Pénjamo. Doctora en Producción Agroalimentaria. Su línea de investigación es la biotecnología vegetal.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1415-8306>

Últimas publicaciones:

- Herrera, T., Moreno, M.G., Licea, M., y Arratia, A. (2019). Tasas de crecimiento económico de leguminosas de bajo consumo de agua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 987 - 98. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1852>
- Moreno, M.G., Herrera F., Licea, M., y De la O, M. (2015) Comparación entre el uso de aire

caliente y microondas sobre la capacidad de reventado de semilla en cuatro variedades de Amaranto (Amaranthus sp). *Ingeniantes*, 1(2), 40-44. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/312892373_Comparacion_entre_el_uso_de_aire_caliente_y_microondas_sobre_la_capacidad_de_reventado_de_semilla_en_cuatro_variedades_de_Amaranto_Amaranthus_sp

^d Profesora de tiempo completo en la Universidad Politécnica de Pénjamo. Maestra en Recursos Naturales y Medio Ambiente con especialidad en Biotecnología Agrícola. Sus líneas de investigación son: biotecnología sustentable en procesos productivo y fitopatología.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7866-0349>

Últimas publicaciones:

- Herrera, T., Moreno, M.G., Licea, M., y Arratia, A. (2019). Tasas de crecimiento económico de leguminosas de bajo consumo de agua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 987 - 98. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1852>
- Fernández, E., Moreno, S., Rentería, M., Arratia, A., y Villar, E. (2017). Neoscytalidium dimidiatum agente causal de muerte descendente en *Ficus benjamina* L. en México. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 23(3), 203-210. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2017000300203&lng=es&nrm=iso&tlang=es
- Arratia, A., Santos, M., Arce, A., Espinoza, M., Rodríguez, E., Méndez, J., ... Leyva, N. (2016). Detection and quantification of 'Candidatus *Phytoplasma asteris*' and 'Candidatus *Liberibacter asiaticus*' at early and late stages of Huanglongbing disease development. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 38(4), 411-421. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07060661.2016.1243586>



DOI: 10.22201/enesl.20078064e.2021.23.77863

e23.77863

© ENES Unidad León/UNAM

e Profesor de asignatura en la Universidad Politécnica de Pénjamo. Estudiante de Maestría en Tecnologías de la Información. Su línea de investigación es la visión artificial.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8701-9657>