

MORFOLOGÍA DE LOS FRUTOS DE *Dasyllirion* spp. PROCEDENTES DE LA MIXTECA OAXAQUEÑA

MORPHOLOGY OF *Dasyllirion* spp. FRUIT FROM MIXTECA OAXAQUEÑA

¹Adriana Ortiz-López , ^{2S}Vicente Arturo Velasco-Velasco , ³Gabino Alberto Martínez-Gutiérrez ,
²Gisela Virginia Campos-Angeles , ²Gerardo Rodríguez-Ortiz 

^{1,2}Estudiante, investigador, Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Ex hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca, México. C.P. 71233. ³Instituto Politécnico Nacional (IPN), Centro de Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), Unidad Oaxaca. Oaxaca, México. C.P 71230. §Autor de correspondencia: (vicente.vv@voaxaca.tecnm.mx).

RESUMEN

La especie *Dasyllirion* spp. tiene importancia para las zonas áridas y semiáridas, con diversos usos. Se requieren estudios del crecimiento, la reproducción, la fisiología de las plantas y otros aspectos que permitan examinar a la especie. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue analizar caracteres morfológicos de frutos de *Dasyllirion* spp. (especie sin identificar), de la Mixteca oaxaqueña, como base para su proceso reproductivo. Se recolectaron escapos florales femeninos en San Andrés (SA), en San Jerónimo (SJ) y en Nochixtlán (Nx). Los ejes florales (tallo floral) midieron de 1.64 a 3.11 m y la inflorescencia midió de 0.99 a 1.38 m; el número de racimos por inflorescencia varió de 79 a 91 unidades y se cuantificó entre 48 y 365 frutos por racimo. Las plantas de SA mostraron 10 640 frutos por escapo y las de SJ mostraron 46 733; el color predominante fue rojo púrpura. El peso de 1000 frutos fluctuó de 0.69 a 2.22 g; el número de frutos kg⁻¹ fue de 9 504 a 146 563, el número de frutos dependió de su peso, esto es, a mayor número de frutos menor peso; los frutos presentaron de 5.1 a 6.8 mm de diámetro polar y de 3.2 a 4.7 mm de diámetro ecuatorial; coeficiente de forma de 0.6 a 0.7 mm. La variabilidad morfológica observada, con base a la literatura, es atribuido a las condiciones ambientales en las que crecieron, su comportamiento sexual dioico y su polinización libre y cruzada.

Palabras clave: cucharilla, eje floral, inflorescencia, pericarpio, sotol.

ABSTRACT

Dasyllirion spp. is important for arid and semi-arid zones, with diverse uses. Studies of growth, reproduction, plant physiology and other aspects are required to examine the species. For this reason, the objective of this research was to analyze morphological characters of fruits of *Dasyllirion* spp. (unidentified species), from the Oaxacan Mixteca, as a basis for its reproductive process. Female flower spikes were collected in San Andrés (SA), San Jerónimo (SJ) and Nochixtlán (Nx). The floral axes (flower stalk) measured from 1.64 to 3.11 m and the inflorescence measured from 0.99 to 1.38 m; the number of racemes per inflorescence varied from 79 to 91 units and between 48 and 365 fruits per raceme were quantified. SA plants showed 10 640 fruits per scape and SJ plants showed 46 733; the predominant color was purplish red. The weight of 1000 fruits ranged from 0.69 to 2.22 g; the number of fruits kg⁻¹ was from 9 504 to 146 563, the number of fruits depended on weight, that is, the greater the number of fruits the lesser the weight; the fruits presented from 5.1 to 6.8 mm of polar diameter and from 3.2 to 4.7 mm of equatorial diameter; shape coefficient from 0.6 to 0.7 mm. The morphological variability observed, based on the literature, is attributed to the environmental conditions in which they grew, their

dioecious sexual behavior and their free and cross pollination.

Index words: cucharilla, floral axis, inflorescence, pericarp, sotol.

INTRODUCCIÓN

En la Mixteca oaxaqueña existe una planta conocida comúnmente como cucharilla, atribuido a que la parte basal de sus hojas que se insertan en el tallo tiene forma de cuchara, se utilizan como adorno en diversas festividades religiosas. Perteneció al género *Dasyllirion* y su hábitat árido y semiárido presenta periodos de sequías, lluvias intensas, vientos, altas temperaturas y cambios bruscos ambientales (CONABIO, 2022). Esta planta tiene importancia ecológica, artesanal, comestible y económica en las zonas donde crecen (PROFEPA, 2020; Duarte y Alvarado, 2019; SADER, 2015; Haeckel, 2008). El género *Dasyllirion*, se caracteriza por presentar una gran variabilidad intraespecífica, tanto en las características de la inflorescencia como del fruto, las diferencias morfológicas en los individuos son atribuidas a la posible existencia de plantas híbridas (Sierra-Tristán y Mendoza-Castillo, 2005). Las semillas de este género están contenidas dentro de una estructura llamada pericarpio (cápsula trialada), cubierta que impide la germinación (Rodríguez-Trejo et al., 2019), por lo cual se convierte en una forma de latencia (Paulsen et al., 2013), de manera que la semilla viable no germina aun en condiciones favorables, estas características que presentan las semillas determinan las condiciones para la germinación (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006).

Las características anatómicas de las plantas se adaptan a los factores ambientales, las especies heteromórficas han desarrollado adaptaciones para su dispersión y latencia (Seale & Nakayama, 2020; Novoplansky, 2019). Las semillas con pericarpio han evolucionado para protección ante diversos factores externos (Paulsen et al., 2013). La

plasticidad de los frutos está relacionada con la respuesta a la temperatura y la supervivencia en suelos con pendientes y pedregosos, además, es su protección para resistir a los agentes de dispersión (gravedad, agua, viento o animales) (Arshad et al., 2019; Pinales-Quero et al., 2017; Nathan et al., 2008). La capacidad y el tipo de dispersión que presenta una especie en sus semillas es uno de los factores que determina la estructura y la dinámica de población, ya que es un proceso físico en el que las semillas o frutos se mueven de un lugar a otro, asimismo, está ligada con el tipo de latencia que pueden presentar (Seale & Nakayama, 2020).

Dada su importancia de la cucharilla, tanto ecológica, artesanal, medicinal, comestible y económica, y una deficiente investigación de la especie, se requiere de información técnica y científica que permita conocer a mayor detalle esta planta (PROFEPA, 2020; Duarte y Alvarado, 2019; Reyes-Valdés et al., 2019; SADER, 2015). Por tal razón, el objetivo de este trabajo fue analizar caracteres morfológicos de los frutos de *Dasyllirion* spp. recolectados en tres sitios de la Mixteca oaxaqueña como base para el proceso reproductivo de la especie y evitar su extinción local a corto plazo. Con la hipótesis de que existe una variabilidad morfológica intraespecífica, probablemente atribuido a las condiciones ambientales en las que crecieron, su comportamiento sexual dioico y su polinización.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se recolectó una inflorescencia por planta de cucharilla (*Dasyllirion* spp.), en San Andrés Lagunas (SA) y San Jerónimo Villa de Tamazulapam del Progreso durante julio y agosto del 2022, y una muestra compuesta de frutos recolectados en Asunción Nochixtlán (Nx) en el 2021; estas localidades pertenecen a la región de la Mixteca alta de Oaxaca, México (Tabla I).

Tabla I. Datos de los sitios de recolección de las plantas madre de *Dasyllirion* spp.

Municipio	Sitio	Planta	Coordenadas	Altitud (m)
San Andrés (SA)	S1	P1		2371
		P2	17°34'21"N	2396
		P3	97°31'17"O	2242
	S2	P4	17°34'21"N	2271
		P5	97°31'17"O	2286
San Jerónimo (SJ)	S3	P6	17°38'06"N	2230
		P7	97°32'37"O	2244
Nochixtlán (Nx)	S4	---	17°27'26"N 97°13'30"O	2080

Características morfológicas de la inflorescencia

Debido a que Nx fue una muestra compuesta de frutos con un año de resguardo, no se contaba con los datos de las plantas madre, es por eso que se obtuvieron datos morfológicos de las recolectadas en SA y SJ para las siguientes variables: la longitud del eje floral, se midió desde la base de la planta hasta el ápice; la longitud de inflorescencia, desde el inicio de los fascículos racimosos hasta el ápice, ambas longitudes se midieron con un flexómetro (Truper gripper®); número de racimos por planta, se realizó el conteo en cada inflorescencia; número de frutos por racimo, de manera aleatoria se seleccionaron 10 racimos de cada inflorescencia para su conteo.

Características morfológicas en frutos

Se determinaron algunas características físicas y morfológicas de los frutos, según el sitio y progenitor, cada fruto contiene una semilla. La determinación del color del pericarpio de los frutos se realizó a los dos días después del corte en 100 frutos frescos, recolectados en SA y SJ, con base en la tabla de colores de la Carta Munsell (Munsell, 2012) para tejidos vegetales; textura, ésta se determinó al tacto con las manos. Se formaron 10 grupos de 100 frutos por planta, cada grupo se pesó (g) en una balanza analítica (Sartorius con aproximación a 0.0001), y se contabilizaron los frutos que contenían semillas y los frutos sin semilla (vacío). De esta forma se obtuvo el peso de 1000 frutos y el porcentaje de frutos con semilla y sin semilla. Diámetro polar

(DP , mm) y diámetro ecuatorial (DE , mm), estos valores se obtuvieron con un vernier digital (Stereon®) en 100 frutos por planta. Así mismo, con estos datos se estimó el coeficiente de forma: $CF = DE/DP$ (Rodríguez-Vásquez et al., 2018), cuando los valores tienden a 1.0 la forma es circular, y los valores alejados de la unidad representan formas alargadas. Las variables se midieron en muestras de frutos de SA, SJ y Nx, excepto el color, el cual no se realizó en los frutos (Nx) de un año de resguardo.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con pruebas de comparación de medias (Tukey, 0.05) en el programa computacional Statistical Analysis System 9.4 (SAS, 2013). Se realizaron análisis de correlación (Spearman, 0.05) entre las variables morfológicas de las inflorescencias. Se obtuvieron modelos de regresión polinómica y lineal para estimar peso de frutos por planta, número de racimos y longitud de la inflorescencia con base a otras variables de la inflorescencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morfología de la inflorescencia

Los ejes florales que presentaron las plantas de cucharilla (*Dasyllirion* spp.) midieron de 1.0 m a 3.67 m de longitud, y las inflorescencias racimosas de 0.52 m hasta 2.0 m; el número de racimos por planta fue de 32 a 150, y de 55 a 594 frutos por racimo, con un peso de 33 a 673 g de frutos por

Tabla 2. Características morfológicas en inflorescencias de *Dasyllirion* spp., recolectadas en la Mixteca oaxaqueña.

Localidad y planta	Longitud del eje floral (m)	Longitud de la inflorescencia (m)	Núm. de racimos por planta	Frutos por racimo	Peso de frutos por planta (g)
San Andrés					
Planta 1	3.67	1.46	118	55	33
Planta 2	2.04	0.52	41	42	10
Planta 3	1.19	0.58	61	257	108
Planta 4	1.35	0.66	62	162	61
Planta 5	2.40	0.67	65	245	116
San Jerónimo					
Planta 6	2.90	0.72	32	137	46
Planta 7	3.33	2.00	150	594	673

planta. Las inflorescencias recolectadas variaron en su capacidad para crecer y producir semillas en las siete muestras de la Mixteca (Tabla 2). Debido a que los diferentes ambientes, durante el desarrollo de la semilla, provocan cambios en el rendimiento de la planta y la semilla, el sitio de recolección fue un factor determinante (He et al., 2014). El tipo de reproducción (asexual o sexual) en las plantas, hace referencia a su capacidad de colonización y el potencial de adaptación (Johnson et al., 2010). Al ser una planta con comportamiento sexual dioico (masculinas y femeninas), de polinización libre (Hernández-Quintero et al., 2015; Reyes-Valdés et al., 2012), propicia un alto polimorfismo (Pinales-Quero et al., 2017; Grivet et al., 2009; Bogler, 1994).

Las características que presentan las plantas progenitoras influyen en la dispersión natural de las semillas, ya que, entre más altura, aumenta la

distancia del área de dispersión (Augspurger et al., 2016). A su vez, el crecimiento de la población en conglomerados está relacionada con esta dispersión (CONAFOR, 2004), por ser mayormente anemocoria (viento) (Pinales-Quero et al., 2017; Grivet et al., 2009; Bogler, 1994), y barocoria (gravedad) (Rodríguez Trejo et al., 2019). La correlación de las variables morfológicas mostró que la longitud de la inflorescencia se incrementó cuando aumentó la longitud del eje floral. También, presentaron mayor número de racimos por planta y número de frutos por racimo, y como consecuencia, un incremento del peso de frutos por planta (Tabla 3).

El número de racimos y peso de frutos por planta explican más del 90 % ($R^2 > 0.9$) de la variación existente en el número de racimos por planta y peso de frutos/planta (Figura 1).

Tabla 3. Correlación de Spearman ($\alpha = 0.05$) entre las variables morfológicas florales en plantas de *Dasyllirion* spp., recolectadas en la Mixteca oaxaqueña.

	Longitud de la inflorescencia	No de racimos por planta	No de frutos por racimo	Peso de frutos por planta
Longitud del eje floral	0.752*	0.597 ^{ns}	0.166 ^{ns}	0.359 ^{ns}
Longitud de la inflorescencia		0.950**	0.631 ^{ns}	0.790*
No de racimos por planta			0.636 ^{ns}	0.758*
No de frutos por racimo				0.955**

^{ns} valores no significativos ($p > 0.05$); *valores significativos ($p \leq 0.05$), **valores altamente significativos ($p \leq 0.01$).

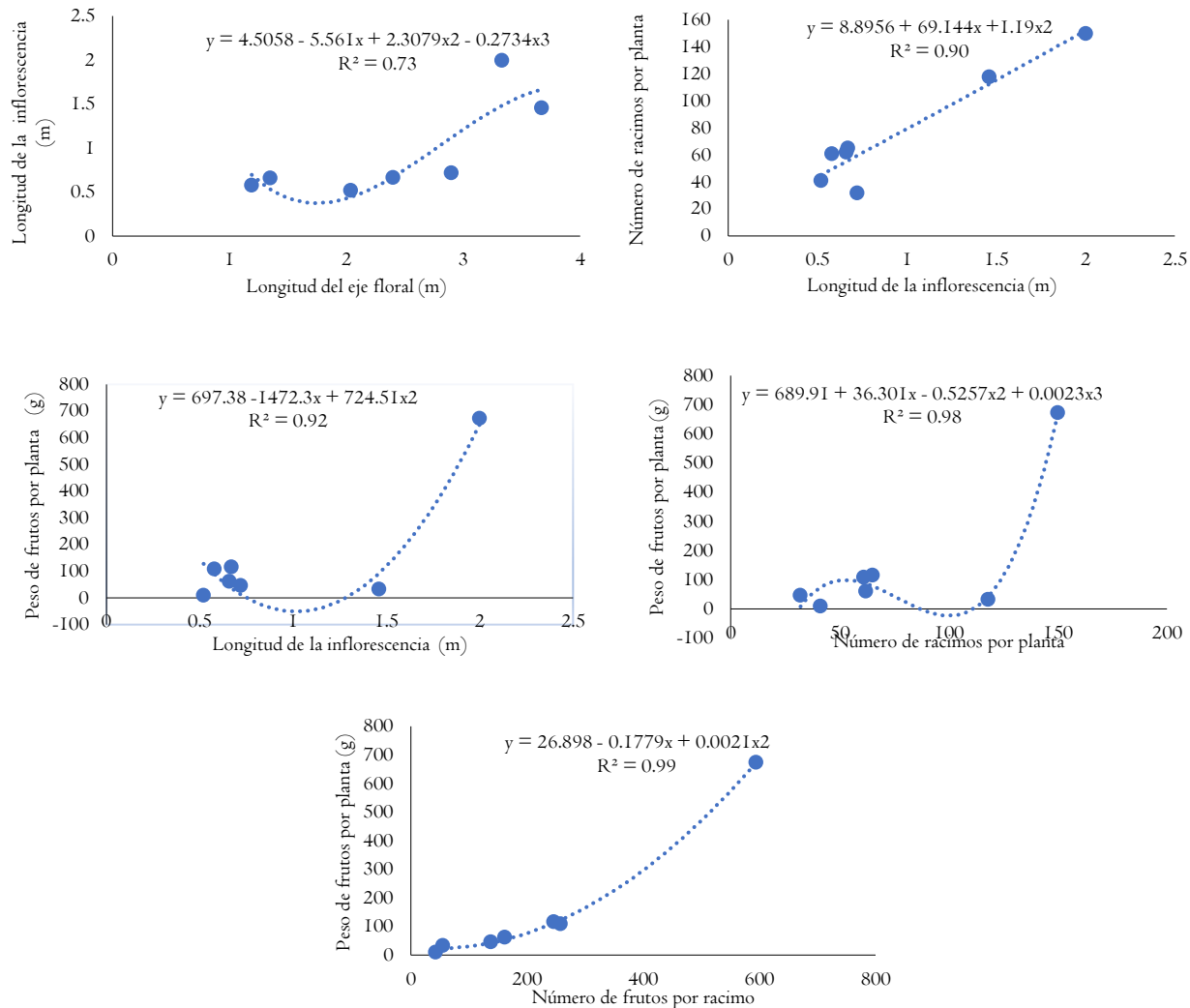


Figura 1. Modelos con mejor ajuste ($R^2 > 0.73$), que estiman variables de inflorescencia.

Descripción del color y textura en frutos

El color rojo púrpura predominó en 67 % de los frutos, y el color verde amarillento en 33 %, cada uno con ligeras variaciones en claridad y pureza (Tabla 4). El color rojo coincide con lo reportado con Rodríguez-Trejo et al. (2021) en *Dasyllirion lucidum*. La acumulación de pigmentos en los frutos determinan el color del mismo. Las antocianinas y flavonoides se les atribuye el predominio del color rosa, el púrpura o el azul; además, el polimorfismo de color puede estar asociada con la diversidad ambiental, tolerancia al estrés, una mejor tolerancia al frío y a patógenos fúngicos.

Los tallos y flores más pigmentados, están más expuestas a condiciones estresantes que las plantas con menor capacidad para sintetizar antocianinas, debido a que se desempeñan favorablemente en condiciones de sequía (Sudheeran et al., 2020; Warren & Mackenzie, 2001). Los carotenoides son responsables de los pigmentos amarillos, anaranjados y rojos en frutas y verduras (Meléndez-Martínez et al., 2004), también juegan diferentes papeles en la fotoprotección, el crecimiento, la arquitectura de la planta y la tolerancia al estrés y patógenos (Moreno & Al-Babili, 2023).

Tabla 4. Identificación del color y textura de los frutos de plantas de cucharilla (*Dasyllirion* spp.).

Localidad y planta	Color	Interpretación	Frutos (%)	Textura
San Andrés				
Planta 1	2.5GY 5/8	Verde amarillento 2.5 Claridad 5/pureza 8	60	Lisa
	5RP 3/2	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 2	40	Lisa
Planta 2	5RP 3/8	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 8	50	Lisa
	5RP 3/4	Rojo-púrpura 5 Claridad 3/pureza 4	50	Lisa
Planta 3	2.5GY 5/8	Verde amarillento 2.5 Claridad 5/pureza 8	70	Lisa
	5RP 3/8	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 8	30	Lisa
Planta 4	2.5GY 5/8	Verde amarillento 2.5 Claridad 5/pureza 8	50	Lisa
	5RP 3/2	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 2	50	Lisa
Planta 5	2.5GY 8/6	Verde amarillento 2.5 Claridad 8/pureza 6	100	Lisa
San Jerónimo				
Planta 6	5RP 3/2	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 2	100	Lisa
Planta 7	2.5GY 8/6	Verde amarillento 2.5 Claridad 8/pureza 6	53	Lisa
	5RP 3/2	Rojo púrpura 5 Claridad 3/pureza 2	47	Lisa

Las plantas han desarrollado un mecanismo para inhibir factores externos extremos (Eshel et al., 2022), por lo que es probable que exista la acumulación de alguno de estos pigmentos en las brácteas y frutos de *Dasyllirion*. Las inflorescencias presentaron frutos trialados de textura lisa al tacto y plasticidad, la cual, suele ser una respuesta a la temperatura, supervivencia a suelos con pendientes y pedregosos, y es una protección para su dispersión (gravedad, agua, viento o animales) (Arshad et al., 2019; Pinales-Quero et al., 2017; Nathan et al., 2008).

Características morfológicas de los frutos

Los resultados de la prueba de comparación de medias mostraron diferencias estadísticas ($p \leq$

0.05) para el peso de 1000 frutos, que fueron de 0.6 g a 2.2 g, e influyó en el número de frutos kg^{-1} , el cual fue de 146,563 a 46,420, respectivamente, con una media de 84,777 frutos kg^{-1} (Tabla 5). El tamaño promedio de los frutos fue de 5.1 a 6.8 mm de diámetro polar, lo cual representó lo largo del fruto, y de 3.2 a 4.8 mm de diámetro ecuatorial. Las plantas de Nx obtuvieron el mayor diámetro polar y diámetro ecuatorial, estas fueron estadísticamente superiores a las medias de SA y SJ, es decir, fueron los frutos de mayor tamaño. Estos resultados permitieron estimar el coeficiente de forma de los frutos, que tendieron a la forma alargada. Tanto la estructura, forma, tamaño y peso e incluso la elasticidad que presentan los frutos, tienen el objetivo de facilitar la dispersión de las semillas, y dependiendo de la

Tabla 5. Características físicas y morfológicas en frutos de *Dasyllirion* spp., recolectados en la Mixteca oaxaqueña.

Planta/ localidad	Características físicas y morfológicas				
	Peso de 1000 frutos (g)	Frutos kg ⁻¹	Diámetro polar (mm)	Diámetro ecuatorial (mm)	Coefficiente de forma
PISA	1.1±0.06 ^d	95041±8271 ^c	6.7±0.65 ^{ab}	3.7±0.65 ^{cbd}	0.63±0.12 ^b
P2SA	1.0±0.03 ^d	99173±3036 ^c	5.6±0.07 ^{abc}	4.1±3.88 ^b	0.74±0.82 ^b
P3SA	1.9±0.10 ^{ab}	53116±2727 ^{de}	6.1±0.06 ^{abc}	3.9±0.05 ^{cb}	0.66±0.00 ^{ab}
P4SA	0.6±0.01 ^e	146563±399 ^a	5.1±0.06 ^c	3.7±0.04 ^{cbd}	0.73±0.01 ^{ab}
P5SA	1.5±0.03 ^c	64946±1461 ^d	5.4±0.06 ^{bc}	3.3±0.04 ^{cd}	0.60±0.00 ^b
P6SJ	2.2±0.13 ^a	46420±2768 ^c	5.3±0.08 ^c	3.4±0.04 ^c	0.65±0.01 ^{ab}
P7SJ	1.8±0.06 ^b	53485±1919 ^{de}	5.2±0.06 ^c	3.2±0.04 ^d	0.63±0.01 ^b
C8Nx	0.8±0.00 ^{de}	119476±131 ^b	6.8±0.55 ^a	4.8±0.05 ^a	0.77±0.01 ^a

Letras distintas en la misma columna representan diferencias significativas (Tukey, 0,05). La media se acompaña $\pm$ error estándar. Los valores son promedios de 100 frutos.

forma aumenta el rango de distribución, lo cual puede tener un efecto adaptativo positivo en la distribución y de los riesgos asociados (Gan et al., 2022; Ya-Fei et al., 2022; Yang et al., 2021).

Producción de frutos por planta

Se encontraron inflorescencias que presentaron entre 1 % y 79 % de frutos con semillas, siendo el complemento del 99 % y 21 % de frutos sin semillas (Tabla 6). El proceso de polinización puede diferir dependiendo del clima, características y topografía del lugar (Frisk et al., 2023; Aboulaich et al., 2013). Es probable que *Dasyllirion*, al proliferar en zonas áridas, las condiciones climáticas desfavorables (CONABIO, 2022), son una amenaza para su reproducción sexual, debido a que interfieren para la maduración o dispersión del polen, las sequías frecuentes e intensas y las altas temperaturas, aumentan la esterilidad del polen por causa de daño celular (Schermer et al., 2020; Najeeb et al., 2019; Huang et al., 2015; Alonso et al., 2012). Para una fecundación exitosa se requiere polen funcional (Carrizo-García et al., 2017; Hormaza & Herrero, 1995), y debido a que las estructuras reproductivas, especialmente el polen, son altamente sensibles a los cambios drásticos del ambiente (Bykova et al., 2018), puede ser uno de

los muchos factores que influyan en el porcentaje de frutos vacíos que presentaron las inflorescencias recolectadas. Sin embargo, se desconoce si tiene algún otro tipo de polinización, debido a que las flores masculinas son más vistosas (amarillo intenso), lo que es una característica para los polinizadores, ya que son parte de los atrayentes visuales (Wessinger, 2021; Renoult et al., 2014).

Las plantas obtuvieron entre 100 a 45708 número de frutos con semillas por inflorescencia, comparado con lo que reporta Rodríguez-Trejo et al. (2019) de 2 600 semillas por inflorescencia. La gran cantidad de producción de frutos se justifica como una estrategia reproductiva, lo cual beneficia su dispersión y capacidad adaptativa para su propagación natural, aunado a su latencia (por el fruto) (Leslie et al., 2017; Rubio et al., 2017). Esta última, está relacionado con la competencia (Huss & Gierlinger, 2021; Paulsen et al., 2013), el desarrollo, y la dispersión de las semillas, (Nathan et al., 2008) y juega un papel de control ante climas desfavorables y competencia alta (Volis & Bohrer, 2013) entre la planta madre y sus plántulas, coordinando la emergencia de estas, asegurando las condiciones ambientales favorables para su crecimiento (Smith & Weller, 2020; Finch-Savage & Footitt, 2017).

Tabla 6. Producción de frutos con semilla y sin semilla de plantas de cucharilla (*Dasyllirion* spp.) recolectados en la Mixteca oaxaqueña.

Localidad y planta	Frutos con semillas (%)	Frutos sin semillas (%)	Frutos totales por planta	No de frutos con semillas por planta	No de frutos sin semilla por planta
San Andrés (SA)					
Planta 1	5.0	95.0	6466	323	6143
Planta 2	10.0	90.0	1734	173	1561
Planta 3	17.0	83.0	15671	2664	13007
Planta 4	1.0	99.0	10019	100	9919
Planta 5	29.0	71.0	15951	4626	11325
San Jerónimo (SJ)					
Planta 6	79.0	21.0	4381	3461	920
Planta 7	51.3	48.7	89100	45708	43392
Nochixtlán (Nx)	45.0	55.0	-	-	-

CONCLUSIONES

La planta de cucharilla (*Dasyllirion* spp.) recolectada en San Jerónimo presentó características superiores de inflorescencia, con eje floral de 3.33 m de longitud y 2.0 m en la inflorescencia, 150 racimos y 594 frutos por racimo, mostrando 89 085 frutos, los cuales pesaron 673 g, con 45 019 frutos con semilla y, por lo tanto, un 50 % sin semilla. La correlación de las variables morfológicas mostró que la longitud de la inflorescencia se incrementó cuando aumentó la longitud del eje floral y, además, presentaron mayor número de racimos por planta, y mayor número de frutos por racimo, como consecuencia un incremento del peso de frutos por planta.

El color predominante en los frutos fue el rojo púrpura (67 %), y verde amarillento (33 %). Presentaron textura lisa al tacto en todas las variantes evaluadas y tendieron a una forma alargada. Los frutos procedentes de Nx tuvieron mayor tamaño, seguidos de SJ y por último los de SA, estos últimos presentaron menor peso (0.6 g) y como consecuencia, el mayor número de frutos kg⁻¹ (146 563); los frutos procedentes de SJ fueron los más pesados (2.2 g), obteniendo el menor número de frutos kg⁻¹ (46 420). La extracción de

plantas de poblaciones silvestres, sin regulación y sin el manejo adecuado, puede ocasionar la extinción local de la especie a corto plazo, por lo que surge la necesidad de ampliar el conocimiento y resaltar la importancia de la especie para las zonas áridas y semiáridas, dando pautas para su conocimiento, manejo y conservación.

REFERENCIAS

- Aboulaich, N., Achmakh, L., Bouziane, H., Trigo, M.M., Recio, M., Kadiri, M., Cabezudo, B., Riadi, H. & Kazzaz, M. (2013). Effect of meteorological parameters on Poaceae pollen in the atmosphere of Tetouan (*NW Morocco*). *International Journal of Biometeorology*, 57(2), 197–205. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0566-2>
- Alonso, C., Herrera, C.M. & Ashman, T.L. (2012). A piece of the puzzle: A method for comparing pollination quality and quantity across multiple species and reproductive events. *New Phytologist*, 193(2), 532–542. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03932.x>
- Arshad, W., Sperber, K., Steinbrecher, T., Nichols, B., Jansen, V.A.A., Leubner-Metzger, G. & Mummenhoff, K. (2019). Dispersal biophysics and adaptive significance of dimorphic

- diaspores in the annual *Aethionema arabicum* (Brassicaceae). *New Phytologist*, 221(3), 1434–1446.
<https://doi.org/10.1111/nph.15490>
- Augspurger, C.K., Franson, S.E., Cushman, K.C. & Muller-Landau, H.C. (2016). Intraspecific variation in seed dispersal of a Neotropical tree and its relationship to fruit and tree traits. *Ecology and Evolution*, 6(4), 1128–1142.
<https://doi.org/10.1002/ece3.1905>
- Bogler, D.J. (1994). *Taxonomy and phylogeny of Dasyllirion (Nolinaceae)*. Doctoral dissertation, University of Texas at Austin, Austin, USA.
- Bykova, O., Limousin, J.M., Ourcival, J.M. & Chuine, I. (2018). Water deficit disrupts male gametophyte development in *Quercus ilex*. *Plant Biology*, 20(3), 450–455.
<https://doi.org/10.1111/plb.12692>
- Carrizo-García, C., Nepi, M. & Pacini, E. (2017). It is a matter of timing: asynchrony during pollen development and its consequences on pollen performance in angiosperms-a review. *Protoplasma*, 254(1), 57–73.
<https://doi.org/10.1007/s00709-016-0950-6>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2004). *Inventario nacional forestal y de suelos*.
<https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/Inventario-Nacional-Forestal-y-de-Suelos.Pdf>
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2022). *taxa_EncicloVida*.
<https://enciclovida.mx/>
- Duarte, M.J. y Alvarado, A. (2019). El manual del sotol. *Editorial. Mixlab, Chihuahua, Chihuahua*. 42 p.
- Eshel, G., Duppen, N., Wang, G., Oh, D.H., Kazachkova, Y., Herzyk, P., Amtmann, A., Gordon, M., Chalifa-Caspi, V., Oscar, M.A., Bar-David, S., Marshall-Colon, A., Dassanayake, M. & Barak, S. (2022). Positive selection and heat-response transcriptomes reveal adaptive features of the Brassicaceae desert model, *Anastatica hierochuntica*. *New Phytologist*, 236(3), 1006–1026.
<https://doi.org/10.1111/nph.18411>
- Finch-Savage, W.E. & Footitt, S. (2017). Seed dormancy cycling and the regulation of dormancy mechanisms to time germination in variable field environments. *Journal of Experimental Botany*, 68(4), 843–856.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erw477>
- Finch-Savage, W.E. & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, 171(3), 501–523.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01787.x>
- Frisk, C.A., Apangu, G.P., Petch, G.M., Creer, S., Hanson, M., Adams-Groom, B. & Skjoth, C.A. (2023). Microscale pollen release and dispersal patterns in flowering grass populations. *Science of the Total Environment*, (880), 163345.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163345>
- Gan, S.R., Guo, J.C., Zhang, Y.X., Wang, X.F. & Huang, L.J. (2022). Phoenix in Flight: an unique fruit morphology ensures wind dispersal of seeds of the phoenix tree (*Firmiana simplex* (L.) W. Wight). *BMC Plant Biology*, 22(1), <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03494-z>
- Grivet, D., Sebastiani, F., González-Martínez, S. C. & Vendramin, G.G. (2009). Patterns of polymorphism resulting from long-range colonization in the Mediterranean conifer *Aleppo pine*. *New Phytologist*, 184(4), 1016–1028.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03015.x>
- Haeckel, I.B. (2008). The Arco Floral: ethnobotany of *Tillandsia* and *Dasyllirion* spp. in a Mexican religious adornment. *Economic Botany*, 62(1), 90–95.
- He, H., De Souza, V.D., Basten, S.L., Schnabel, S., Nijveen, H., Hilhorst, H. & Bentsink, L. (2014). Interaction between parental environment and genotype affects plant and seed performance in *Arabidopsis*. *Journal of Experimental Botany*, 65(22), 6603–6615.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eru378>
- Hernández-Quintero, J.D., Reyes-Valdés, M.H., Mendoza-Rodríguez, D.V., Gómez-Martínez, M. y Rodríguez-Herrera, R. (2015). Estudio de los cromosomas mitóticos y meióticos del

- sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.). *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 84, 107–112.
- Hormaza, J.I. & Herrero, M. (1995). El polen como individuo interactivo. *Unidad de Fruticultura*, 7, 5–18.
- Huang, H., Ye, R., Qi, M., Li, X., Miller, D.R., Stewart, C.N., Dubois, D.W. & Wang, J. (2015). Wind-mediated horseweed (*Conyza canadensis*) gene flow: Pollen emission, dispersion, and deposition. *Ecology and Evolution*, 5(13), 2646–2658. <https://doi.org/10.1002/ece3.1540>
- Huss, J.C. & Gierlinger, N. (2021). Functional packaging of seeds. *New Phytologist*, 230(6), 2154–2163. <https://doi.org/10.1111/nph.17299>
- Johnson, M.T. J., Smith, S.D. & Rausher, M.D. (2010). Effects of plant sex on range distributions and allocation to reproduction. *New Phytologist*, 186(3), 769–779. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03201.x>
- Leslie, A.B., Beaulieu, J.M. & Mathews, S. (2017). Variation in seed size is structured by dispersal syndrome and cone morphology in conifers and other nonflowering seed plants. *New Phytologist*, 216(2), 429–437. <https://doi.org/10.1111/nph.14456>
- Meléndez-Martínez, A.J., Vicario, I.M. y Heredia, F.J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209–215.
- Moreno, J.C. & Al-Babili, S. (2023). Are carotenoids the true colors of crop improvement? *New Phytologist*, 237(6), 1946–1950. <https://doi.org/10.1111/nph.18660>
- Munsell. (2012). *Munsell planta tissue color Book with genuine Munsell color chips*. 4300 44th Street. Grand Rapids MI 49512.
- Najeeb, U., Tan, D.K.Y., Sarwar, M. & Ali, S. (2019). Adaptation of crops to warmer climates: Morphological and physiological mechanisms. *In Sustainable Solutions for Food Security: Combating Climate Change by Adaptation*, 38(6), 1011–1022. <https://doi.org/10.1111/pce.12474>
- Nathan, R., Schurr, F.M., Spiegel, O., Steinitz, O., Trakhtenbrot, A. & Tsoar, A. (2008). Mechanisms of long-distance seed dispersal. *Trends in Ecology and Evolution*, 23 (11), 638–647. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.08.003>
- Novoplansky, A. (2019). What plant roots know? *Seminars in Cell & Developmental Biology*, (92), 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.semdb.2019.03.00>
- Paulsen, T.R., Colville, L., Kranner, I., Daws, M. I., Högstedt, G., Vandvik, V. & Thompson, K. (2013). Physical dormancy in seeds: A game of hide and seek? *New Phytologist*, 198(2), 496–503. <https://doi.org/10.1111/nph.12191>
- Pinales-Quero, I., González-Vázquez, V.M., Castillo, F.R., Aguilar, C.N., Reyes-Valdés, M.H. & Rodríguez-Herrera, R. (2017). Genetic diversity of sotol (*Dasyllirion cedrosanum* Trel.) at different elevations. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 201. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.941>
- PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente) (2020). El sotol y la pata de elefante, especies protegidas por la ley. <https://www.gob.mx/profepa/articulos/el-sotol-y-la-pata-de-elefante-especies-protegidas-por-la-ley?idiom=es#:~:text=Ha%20sido%20utilizada%20desde%20hace,con%20tronco%20elevado%20o%20recostado>.
- Renoult, J.P., Valido, A., Jordano, P. & Schaefer, H.M. (2014). Adaptation of flower and fruit colours to multiple, distinct mutualists. *New Phytologist*, 201(2), 678–686. <https://doi.org/10.1111/nph.12539>
- Reyes-Valdés, M.H., Benavides-Mendoza, A. & Villarreal-Quintanilla, J.A. (2012). Biología e importancia del sotol (*Dasyllirion* spp.). Parte I: sistemática, genética y reproducción. *Planta*, 7, 11–13.
- Reyes-Valdés, H.M., Palacios, R., Rivas-Martínez, E.N., Robledo-Olivo, A., Antonio-

- Bautista, A., Valdés-Dávila, C. M., Villarreal-Quintanilla, J.Á. & Benavides-Mendoza, A. (2019). The Sustainability of Mexican Traditional Beverage Sotol: Ecological, Historical, and Technical Issues. *Processing and Sustainability of Beverages*, 103–137. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815259-1.00004-5>
- Rodríguez-Trejo, D.A. (2021). *Dasyllirion lucidum* Rose (Aspagaseae). In: Semillas de Especies Forestales. *División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de Méx.* pp. 88-94.
- Rodríguez-Trejo, D.A., García-Pascual, E., Quiahua B.L. y Reyes-Valdivinos, E.Y. (2019). Germinación de semillas de *Dasyllirion lucidum* Rose y *Beaucarnea gracilis* Lemaire de matorral xerófilo. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 7(20), <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2019.20.68365>
- Rodríguez-Vásquez, M.E., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez-del Valle, J.R., Velasco-Velasco, V.A. & Ramírez-Sánchez, S.E. (2018). Caracterización y escarificación de semillas de *Bursera glabrifolia* Kunth colectadas de diferentes árboles semilleros. *CIENCIA Ergo-Sum*, 25(2), 1–16.
- Rubio, de C.R., Willis, C.G., Pearse, W.D., Baskin, C.C., Baskin, J.M. & Cavender-Bares, J. (2017). Global biogeography of seed dormancy is determined by seasonality and seed size: a case study in the legumes. *New Phytologist*, 214(4), 1527–1536. <https://doi.org/10.1111/nph.14498>
- SAS. (2013). Manual de usuario de Estadística Versión 9.4. Instituto SAS Inc., Cary.
- Schermer, É., Bel-Venner, M.C., Gaillard, J.M., Dray, S., Boulanger, V., Le Roncé, I., Oliver, G., Chuine, I., Delzon, S. & Venner, S. (2020). Flower phenology as a disruptor of the fruiting dynamics in temperate oak species. *New Phytologist*, 225(3), 1181–1192. <https://doi.org/10.1111/nph.16224>
- Seale, M. & Nakayama, N. (2020). From passive to informed: mechanical mechanisms of seed dispersal. *New Phytologist*, 225(2), 653–658. <https://doi.org/10.1111/nph.16110>
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). (2015). *Sotol, bebida célebre del desierto*. <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/sotol-bebida-celebre-del-desierto-orgullodemexico>
- Sierra-Tristán, J.S. y Mendoza-Castillo, A. (2005). Contribución al conocimiento y distribución de las especies de *Dasyllirion* spp. (Sotol) en Chihuahua, México. *Rev. Ciencia Forestal en México*, (28), 93.
- Smith, S.M. & Weller, J.L. (2020). Seasonal control of seed germination. *New Phytologist*, 225(5), 1821–1823. <https://doi.org/10.1111/nph.16254>
- Sudheeran, P.K., Ovadia, R., Galsarker, O., Maoz, I., Sela, N., Maurer, D., Feygenberg, O., Oren Shamir, M. & Alkan, N. (2020). Glycosylated flavonoids: fruit's concealed antifungal arsenal. *New Phytologist*, 225(4), 1788–1798. <https://doi.org/10.1111/nph.16251>
- Volis, S. & Bohrer, G. (2013). Joint evolution of seed traits along an aridity gradient: Seed size and dormancy are not two substitutable evolutionary traits in temporally heterogeneous environment. *New Phytologist*, 197(2), 655–667. <https://doi.org/10.1111/nph.12024>
- Warren, J. & Mackenzie, S. (2001). Why are all colour combinations not equally represented as flower-colour polymorphisms?. *New Phytologist*, 151, 231–241.
- Wessinger, C.A. (2021). From pollen dispersal to plant diversification: genetic consequences of pollination mode. *New Phytologist*, 229(6), 3125–3132. <https://doi.org/10.1111/nph.17073>
- Ya-Fei, S., Shan-Heng, S., Ying-Sha, J. & Jia, L. (2022). A global synthesis of fire effects on soil seed banks. *Global Ecology and Conservation*, 36, e02132. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02132>
- Yang, Y.Z., Zhang, R., Gao, R.H., Chai, M.W., Luo, M.X., Huang, B.H. & Liao, P.C. (2021). Heterocarpy diversifies diaspore propagation

of the desert shrub *Ammopiptanthus mongolicus*. *Plant Species Biology*, 36(2), 198–207. <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12308>