



Calidad física, morfométrica y fisiológica de semillas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. en Viesca, Coahuila de Zaragoza

Physical, morphometric, and physiological quality of *Dasyllirion cedrosanum* Trel. seeds in Viesca, state of Coahuila de Zaragoza

Luis Miguel Toribio-Ferrer^{1, 2*}, Eulalia Edith Villavicencio-Gutierrez³, Oscar Alberto Aguirre-Calderón², Antonio Cano-Pineda⁴, Javier Jiménez-Pérez², José Abenamar Jiménez-Jiménez⁵

Fecha de recepción/Reception date: 23 de marzo de 2026.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 2 de julio de 2026.

¹Departamento de Investigación, TF Estudios y Proyectos S. A. de C. V. México.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

³Ex investigadora del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México.

⁴Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Saltillo. México.

⁵Departamento de Botánica, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: toryferrer@live.com

*Corresponding author; e-mail: toryferrer@live.com

Resumen

La calidad del material propagativo es un componente clave para la regeneración y manejo de especies vegetales. Respecto a *Dasyllirion cedrosanum*, existe información limitada sobre la variación de la calidad entre semillas de diferentes localidades naturales o procedencias. En este contexto, el objetivo del presente estudio fue evaluar la calidad morfométrica, física y fisiológica de semillas de *D. cedrosanum* recolectadas en cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza. Se analizaron variables morfométricas (largo y ancho); parámetros de calidad física (semillas puras, vanas, materia inerte, peso volumétrico y contenido de humedad), así como fisiológicas (viabilidad, germinación, plántulas anormales y semillas no germinadas). Los resultados mostraron diferencias significativas entre localidades para las dimensiones de las semillas y la calidad fisiológica ($p \leq 0.05$), mientras que algunas variables físicas no presentaron variación. La viabilidad osciló entre 60 y 96 %, y la germinación de 55 a 94 %, con los valores más altos en Rancho Grande. La regresión lineal entre viabilidad y germinación fue significativa ($p < 0.001$) y explicó 56.8 % de la variación, por lo que la viabilidad puede indicar el comportamiento germinativo. Sin embargo, la presencia de plántulas anormales sugiere que la viabilidad no explica completamente la calidad fisiológica de los lotes evaluados. En conjunto, los resultados evidencian que la calidad del material propagativo varía entre localidades, lo que resalta la importancia de seleccionar fuentes semilleras de *D. cedrosanum* con alto desempeño fisiológico para utilizarlas en programas de propagación y manejo en ecosistemas áridos.

Palabras clave: Embrión, germinación, procedencia, sotol, variación intraespecífica, viabilidad.

Abstract

The quality of propagative material is a key factor in the regeneration and management of plant species. There is limited information on variations in quality between *Dasyllirion cedrosanum* seeds from different natural localities or provenances. Within this context, the objective of this study was to evaluate the morphometric, physical, and physiological quality of *D. cedrosanum* seeds collected in four locations within Viesca municipality, state of Coahuila de Zaragoza, Mexico. Morphometric variables (length and width) and physical (pure seeds, empty seeds, inert matter, bulk density, and moisture content) and physiological quality parameters (viability, germination, abnormal seedlings, and ungerminated seeds) were analyzed. The results showed significant differences in seed size and physiological quality ($p \leq 0.05$) between localities, while some physical variables showed no variation. Viability ranged between 60 and 96 %, and germination, from 55 to 94 percent, with the highest values recorded at Rancho Grande. The linear regression between viability and germination was significant ($p < 0.001$) and explained 56.8 % of the variation; therefore, the viability may indicate germination behavior. However, the presence of abnormal seedlings suggests that viability does not fully explain the physiological quality of the evaluated lots. Overall, the results show that the quality of propagation material varies across localities, highlighting the importance of selecting *D. cedrosanum* seed sources with high physiological performance for use in propagation and management programs in arid ecosystems.

Keywords: Embryo, germination, provenance, *sotol*, intraspecific variation, viability.

Introducción

En México, las zonas áridas y semiáridas albergan una gran diversidad de especies vegetales adaptadas a condiciones de baja disponibilidad hídrica, alta variabilidad térmica y suelos someros o pedregosos (Granados-Sánchez et al., 2011; Villarreal-Quintanilla et al., 2017). De estas especies destacan las del género *Dasyllirion*, endémico de Norteamérica y estrechamente asociado con el matorral xerófilo del Desierto Chihuahuense (Ruiz-Flores & Castro-Castro, 2024). En años recientes, el interés por el género ha aumentado debido a la intensificación de su aprovechamiento y a la necesidad de generar bases científicas que permitan su manejo sostenible y conservación (Becerra-López et al., 2020).

Los taxa de *Dasyllirion* son plantas rosetófilas que desarrollan inflorescencias paniculadas y frutos en cápsulas monospermas (Benavides-Mendoza et al., 2023). Estos atributos morfológicos y reproductivos constituyen adaptaciones evolutivas a

ecosistemas áridos, donde la protección de la diáspora, la latencia y la eficiencia en la dispersión son determinantes para su establecimiento (Orozco-Sifuentes *et al.*, 2019; Ortiz-López *et al.*, 2024). En *Dasyllirion cedrosanum* Trel., la tasa alta de germinación documentada en condiciones controladas confirma la relevancia de las semillas en la regeneración natural y la permanencia de sus poblaciones (Benavides-Mendoza *et al.*, 2023; Ruiz-Flores & Castro-Castro, 2024).

El sotol es una bebida alcohólica destilada que se obtiene a partir de las piñas o cabezuelas de especies del género *Dasyllirion*, entre ellas *D. cedrosanum*. Desde el punto de vista económico, ha ampliado su presencia en mercados regionales e internacionales. En este contexto, el aprovechamiento de *D. cedrosanum* representa una fuente de ingresos para las comunidades rurales (Madrid-Solórzano *et al.*, 2021; Toribio-Ferrer *et al.*, 2025).

No obstante, el incremento en su demanda ha generado preocupación por el aprovechamiento de las poblaciones naturales de *D. cedrosanum*, ya que la extracción de plantas en edades reproductivas puede reducir la disponibilidad de semillas y afectar su regeneración natural. Al respecto, el conocimiento de la biología reproductiva y de la calidad de las semillas es fundamental para el manejo y conservación de la especie (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Penfield, 2017; Rajjou *et al.*, 2012).

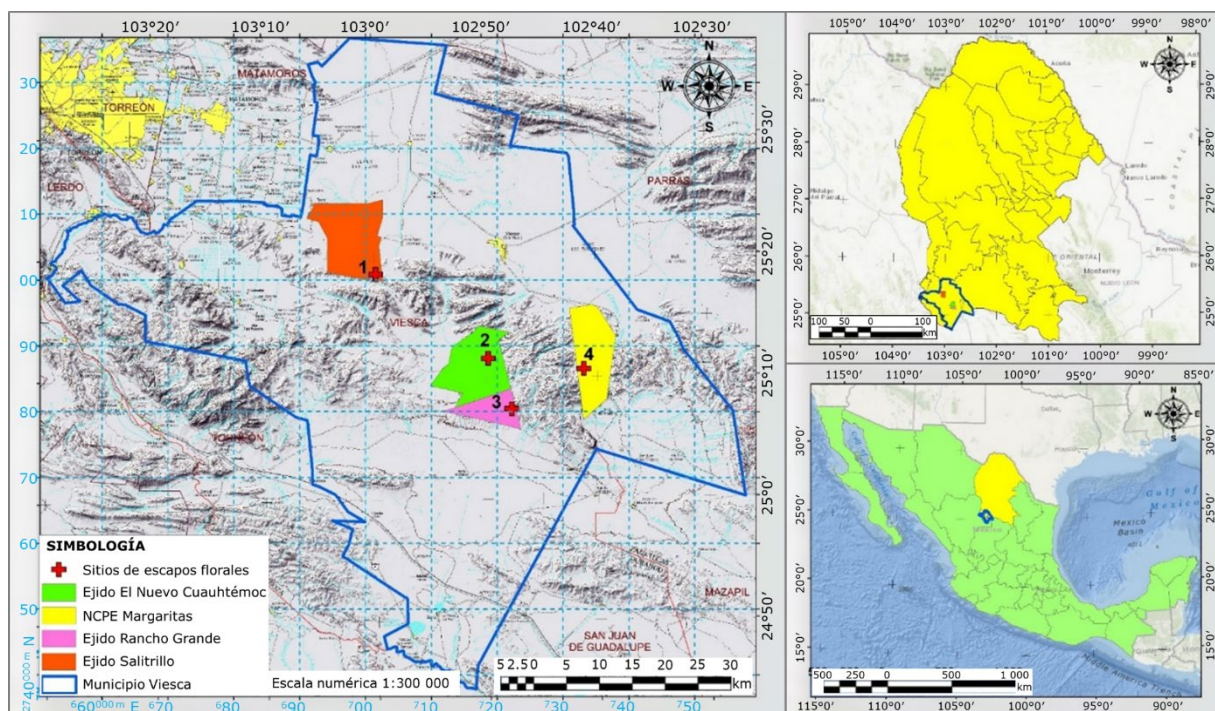
Las semillas constituyen la principal unidad de propagación de las plantas y una etapa crítica en su ciclo de vida; por lo tanto, su calidad física y fisiológica es determinante para el éxito del establecimiento de las plantas en las poblaciones naturales (Rajjou *et al.*, 2012). Una semilla viable contiene un embrión funcional y tejidos de reserva que sustentan el desarrollo inicial (Finkelstein *et al.*, 2008). En ambientes áridos, las semillas presentan diversas adaptaciones como cubiertas resistentes, latencia física y estrategias de dispersión que favorecen su persistencia hasta que se presenten condiciones favorables para la germinación (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Penfield, 2017). El análisis de atributos como el tamaño, peso, viabilidad y vigor son fundamentales para comprender cómo las adaptaciones de las especies a ecosistemas áridos influyen en la regeneración natural (Moles & Westoby, 2006; Morales-Santos *et al.*, 2017).

D. cedrosanum es un taxón de interés ecológico y económico en Coahuila de Zaragoza, debido a su presencia en el matorral desértico rosetófilo y a su aprovechamiento como recurso forestal no maderable asociado con la producción de sotol. Esta condición ha incrementado la necesidad de generar información biológica que apoye su propagación, conservación y aprovechamiento regulado. No obstante, la información sobre la calidad física, morfométrica y fisiológica de sus semillas en poblaciones naturales del sureste del Desierto Chihuahuense aún es limitada. Por ello, el objetivo del presente estudio fue evaluar esos atributos en semillas procedentes de cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, con el fin de aportar información básica para la selección de fuentes semilleras, la producción de planta y el fortalecimiento de estrategias para su conservación y manejo.

Materiales y Métodos

Área de estudio

La investigación se desarrolló con semilla recolectada en poblaciones naturales de *D. cedrosanum* ubicadas en cuatro ejidos del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México (Figura 1). El área se caracteriza por presentar un clima árido semicálido (BWhw), con un intervalo térmico de 16 a 38 °C y precipitación media anual de 120 a 350 mm (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática [INEGI], 2006, 2008). El componente edáfico corresponde a Litosol (I), mientras que la cobertura vegetal está representada por matorral desértico rosetófilo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2018).



W = Oeste.

Figura 1. Sitios de recolecta de escapos florales de *Dasyliiron cedrosanum* Trel. en el municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Recolecta de material vegetal

Se seleccionaron cinco plantas por localidad y se recolectó el escapo floral de cada planta pistilada de *D. cedrosanum* (Cuadro 1) durante el mes de agosto de 2025. La recolecta se realizó mediante un muestreo dirigido, seleccionando cinco individuos por localidad que presentaran escapos florales maduros, buen estado fitosanitario y disponibilidad suficiente de semilla para los análisis de calidad. En cada planta se registraron las coordenadas geográficas (GPS *Garmin*® modelo eTrex 20x) y se midieron, con un flexómetro *Truper*® modelo 12696, sus variables morfológicas: altura total de la planta sin escapo (H , cm), diámetro promedio de copa (Dp , cm) y longitud del escapo floral

(*Lp*, cm) desde la base de la piña. Asimismo, se registraron variables fisiográficas del sitio, como altitud y exposición con un GPS *Garmin*® modelo eTrex 20x.

Cuadro 1. Variables morfológicas y ubicación geográfica de las plantas pistiladas de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. seleccionadas para la recolecta de escapos florales en Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Planta	Altura total sin escapo (cm)	Diámetro promedio de copa (cm)	Longitud del escapo (cm)	Localidad	Latitud	Longitud	Altitud (m)
1	200	250	345	Ejido Salitrillo	25°18'37.36"	102°59'52.89"	1 227
2	187	210	365				
3	170	145	276				
4	135	145	387				
5	187	190	336				
6	155	215	320	Ejido El Nuevo Cuauhtémoc	25°11'35.96"	102°49'49.47"	1 562
7	190	187	398				
8	220	164	330				
9	120	156	280				
10	171	204	365				
11	141	135	390	Ejido Rancho Grande	25°07'24.51"	102°47'44.85"	1 729
12	211	178	376				
13	234	217	387				
14	243	222	408				
15	235	206	398				
16	120	140	259	NCPE Margaritas	25°11'36.52"	102°41'22.63"	1 422
17	106	165	265				
18	167	154	300				
19	132	132	323				
20	110	141	354				

Los escapos florales se etiquetaron individualmente para cada planta, se colocaron en bolsas de papel estraza para su traslado al Laboratorio de Cultivo de Tejidos Vegetales (LCTV) del Campo Experimental Saltillo, CIRNE-INIFAP, donde se

procesaron para los análisis correspondientes conforme a las *International rules for seed testing* (International Seed Testing Association [ISTA], 2024).

Para la comparación entre localidades, la unidad de análisis fue la planta individual, representada por el lote de semillas obtenido de cada escapo floral. Las repeticiones realizadas en laboratorio se consideraron submuestras de cada lote y se utilizaron para obtener el valor promedio por planta, el cual fue empleado en los análisis estadísticos.

Atributos físicos

Pureza (%). La separación de muestra recolectada (semilla pura, semilla vana y materia inerte) se hizo con un soplador de semillas *South Dakota*® modelo CFY-II, con abertura de 2 cm y flujo de aire constante durante 3 min. Se consideró pura a la semilla completa, sin fragmentación, con óvulo maduro y bien desarrollado; semilla vana correspondió a las vacías, inmaduras o estériles, carentes de embrión, endospermo o testa; y la materia inerte, fue todo el material fragmentado con restos de cápsulas, testa u otros componentes no considerados semilla.

El porcentaje de cada componente se calculó con las siguientes expresiones:

$$\text{Semilla pura \%} = \left[\frac{\text{Semilla pura (g)}}{\text{Muestra recolectada (g)}} \right] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Semilla vana \%} = \left[\frac{\text{Semilla vana (g)}}{\text{Muestra recolectada (g)}} \right] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Materia inerte \%} = \left[\frac{\text{Materia inerte (g)}}{\text{Muestra recolectada (g)}} \right] \times 100 \quad (3)$$

Tamaño (mm). Se evaluaron 100 semillas completas (cuatro repeticiones de 25 semillas) tomadas de la semilla pura, se determinó el largo y ancho (mm) con un vernier digital *Losaitini*[®] modelo BAKC250122, con un intervalo de medición de 0-150 mm.

Peso de mil semillas (g). De cada planta se seleccionaron al azar diez repeticiones de 100 semillas, las cuales se pesaron en una balanza analítica *Adam Equipment*[®] modelo EAB 314e. Con base en este valor, se calculó el número de semillas por kilogramo.

$$\text{Peso de mil semillas (g)} = \sum \text{peso de diez repeticiones de 100 semillas} \quad (4)$$

Peso volumétrico (kg hL⁻¹). Se obtuvo con el método del recipiente de volumen conocido. El recipiente se llenó con semilla hasta el borde, evitando su compactación; posteriormente, el contenido se pesó en una balanza analítica *Adam Equipment*[®] modelo EAB 314e. Se realizaron cinco repeticiones por planta y el resultado se expresó en kg hL⁻¹.

Contenido de humedad (%). Se determinó utilizando 25 semillas como unidad experimental, con cuatro repeticiones por planta. Inicialmente, las semillas se pesaron para obtener el peso fresco (g); enseguida, se colocaron en cajas Petri y se introdujeron en una estufa de secado *VWR International Sheldon Manufacturing*[®] modelo 1390FM, a 40 °C, hasta alcanzar un peso constante.

El contenido de humedad se calculó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left[\frac{\text{Peso fresco (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso fresco (g)}} \right] \times 100 \quad (5)$$

Atributos fisiológicos

Viabilidad con tetrazolio (%). Se evaluó mediante una solución de 2,3,5-trifenil cloruro de tetrazolio al 1 %. De cada planta se usaron cuatro repeticiones de 25 semillas (100 semillas en total). Previamente, las semillas se hidrataron durante 24 h y se incubaron en contenedores con 12.5 mL de la solución en una estufa *Seedburo*® modelo ATTGPT-B a 35 °C. La tinción se evaluó cada 2 h y, a las 4 h, se hizo un corte longitudinal para exponer el embrión. Se consideraron semillas viables cuando los cotiledones, eje y estructuras embrionarias se tiñeron de rojo cereza, y las semillas sin teñir como no viables.

Germinación estándar (%). La prueba se efectuó con semilla pura de cada planta, con cuatro repeticiones de 25 semillas (100 semillas por planta). Cada repetición se consideró como una submuestra del lote de semillas por planta. Las semillas se distribuyeron de manera uniforme sobre papel filtro *Whatman*® #1 previamente humedecido con agua destilada estéril. A continuación, el papel se enrolló y cada rollo se colocó dentro de una bolsa de plástico para conservar la humedad durante el ensayo. Los rollos se incubaron en una cámara *Hoffman*® modelo UMF500 a 28 ± 1 °C con fotoperiodo de 16 h de oscuridad y 8 h de luz. La evaluación se realizó a los 7, 14 y 21 días después de la siembra; se registró el número de plántulas normales, plántulas anormales y semillas sin germinar. Las plántulas normales fueron aquellas que presentaron raíz primaria e hipocótilo bien desarrollados, y cotiledones completos; plántulas anormales, las que tuvieron estructuras malformadas o dañadas; y semillas sin germinar, cuando no mostraron cambios visibles en su estructura.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con estadística descriptiva (media $\pm$ error estándar). Posteriormente, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el efecto de la localidad sobre los atributos físicos y fisiológicos de las semillas. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), las medias se compararon mediante la prueba de *Tukey*. Para evaluar la relación entre viabilidad y germinación, se ajustó un modelo de regresión lineal simple, en el cual la germinación se definió como variable dependiente y la viabilidad como variable explicativa. Los análisis se realizaron en el programa *R* versión 4.5.2 (R Core Team, 2025).

Resultados y Discusión

Rasgos físicos y morfométricos de las semillas

Las características físicas y morfométricas de las semillas de *D. cedrosanum* mostraron variación moderada entre localidades (Cuadro 2). El peso de 1 000 semillas y el número de semillas kg^{-1} no presentaron diferencias significativas entre localidades ($p > 0.05$), lo que sugiere una inversión reproductiva relativamente homogénea entre poblaciones. No obstante, los valores registrados en este estudio (9.73-13.33 g por 1 000 semillas y 83 290-106 058 semillas kg^{-1}) fueron mayores en peso kg^{-1} y menores en número, respecto a los obtenidos para *Dasyllirion* spp. en la Mixteca oaxaqueña (1.82-5.28 g y 189 393-549 450 semillas kg^{-1}) (Ortiz-López et

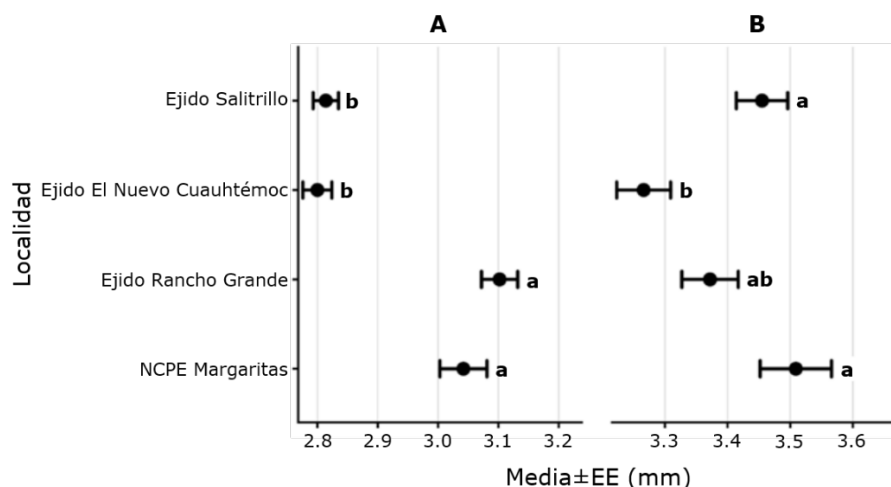
al., 2024). Patrón que coincide con observaciones en especies del Desierto Chihuahuense, cuya variación intraespecífica en peso de semillas suele ser limitada bajo condiciones ambientales similares (Pérez-Sánchez *et al.*, 2011).

Cuadro 2. Características físicas y morfométricas de semillas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. recolectadas en cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Localidad	Peso de 1 000 semillas (g)	Semillas kg ⁻¹	Largo de semillas (mm)	Ancho de semillas (mm)
Ejido Salitrillo	9.73±0.81 a	106 058.51±9 779.68 a	3.455±0.04 a	2.814±0.02 b
Ejido El Nuevo Cuauhtémoc	10.62±0.47 a	94 970.45±4 554.28 a	3.266±0.04 b	2.800±0.02 b
Ejido Rancho Grande	12.47±1.24 a	83 290.24±7 757.98 a	3.372±0.04 ab	3.102±0.03 a
NCPE Margaritas	13.33±2.12 a	84 118.94±14 494.16 a	3.509±0.05 a	3.042±0.03 a

Los valores correspondieron a media±error estándar. Letras distintas en la misma columna indicaron diferencias significativas entre localidades (ANOVA; prueba de *Tukey*, $p \leq 0.05$).

Las dimensiones morfométricas de las semillas fueron diferentes entre localidades (Cuadro 2; Figura 2). El largo de las semillas varió entre 3.266 y 3.509 mm, mientras que el ancho fluctuó entre 2.800 y 3.102 mm; estas variables presentaron diferencias significativas entre localidades ($p \leq 0.05$). Valores mayores se han consignado para frutos de *Dasyllirion* spp. recolectados en la Mixteca oaxaqueña, con longitudes promedio entre 5.1 y 6.8 mm y ancho promedio de 3.2 a 4.8 mm (Ortiz-López *et al.*, 2023).



A = Ancho de semillas (mm); B = Largo de semillas (mm). EE = Error estándar.

Figura 2. Dimensiones morfométricas de semillas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. recolectadas en cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Estas diferencias pueden atribuirse a la interacción entre las condiciones ambientales de cada sitio, la disponibilidad de recursos durante el desarrollo reproductivo y la variabilidad genética propia de la especie. La variación en el tamaño de las semillas es un rasgo común en especies vegetales y puede reflejar diferencias en la asignación de recursos en el desarrollo del fruto y en el grado de llenado del embrión, lo cual influye en la calidad fisiológica y el potencial germinativo de las semillas (Morales-Santos et al., 2017; Rajjou et al., 2012). En especies del género *Dasyllirion*, la reproducción sexual constituye el mecanismo fundamental de regeneración poblacional, por lo que las semillas representan el recurso esencial para la propagación natural (Ortiz-López et al., 2024).

Calidad física de las semillas

Las variables de calidad física de las semillas no mostraron diferencias significativas entre localidades en cuanto a la pureza de semillas, semillas vanas, materia inerte y contenido de humedad ($p>0.05$); sin embargo, el peso volumétrico sí difirió entre localidades ($p\leq 0.05$). Los lotes presentaron proporciones relativamente bajas de semilla pura (29.19-39.15 %) y altas de semillas vanas (49.65-62.00 %), lo que indica variación en la calidad física del material recolectado (Cuadro 3). La pureza y la densidad aparente del lote son indicadores clave de la calidad de semillas, que influyen en su manejo, almacenamiento y desempeño germinativo (Rajjou *et al.*, 2012). La proporción alta de semillas vanas se asocia con fallas en la fecundación o con el llenado incompleto del embrión; procesos que pueden intensificarse durante la formación del fruto bajo condiciones como la baja disponibilidad hídrica, temperaturas extremas, limitada disponibilidad de nutrientes o reducción en la eficiencia de la polinización (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Huss & Gierlinger, 2021).

Cuadro 3. Parámetros de calidad física, peso volumétrico y contenido de humedad de semillas de *Dasyllirion cedrosanum* Trel. recolectadas en cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Localidad	Semillas puras (%)	Semillas vanas (%)	Materia inerte (%)	Peso volumétrico kg hL ⁻¹	Humedad (%)
Ejido Salitrillo	39.15±10.15 a	49.65±10.73 a	11.20±1.36 a	37.03±0.20 b	9.08±2.13 a
Ejido El Nuevo Cuauhtémoc	33.16±8.51 a	57.16±7.82 a	9.68±2.33 a	36.01±0.08 c	8.51±2.65 a
Ejido Rancho Grande	35.46±7.55 a	54.47±6.63 a	10.08±1.76 a	36.20±0.25 bc	6.95±0.36 a
NCPE Margaritas	29.19±7.54 a	62.00±8.84 a	8.80±2.31 a	33.13±0.27 a	6.69±0.50 a

Los valores correspondieron a media±error estándar. Letras distintas en la misma columna indicaron diferencias significativas entre localidades (ANOVA; prueba de *Tukey*, $p\leq 0.05$).

El contenido de humedad varió entre 6.69 y 9.08 %, sin diferencias entre localidades. Ello sugiere que las condiciones de recolección y conservación fueron similares. Estos valores son compatibles con semillas de comportamiento ortodoxo, en las cuales contenidos bajos de agua favorecen la conservación de la viabilidad durante el almacenamiento (Probert et al., 2009). En contraste, las diferencias en el peso volumétrico entre localidades se atribuyen a variaciones en la densidad del lote y al grado de llenado de las semillas. Desde una perspectiva ecológica, la alta proporción de semillas vanas puede reflejar limitaciones en la polinización y fecundación, así como fallas posteriores en el desarrollo del embrión o en el llenado de la semilla durante la formación del fruto; fenómenos comunes en especies de ambientes áridos donde las condiciones climáticas influyen en el éxito reproductivo y en la calidad del material propagativo (Huss & Gierlinger, 2021; Rubio-de Casas et al., 2017).

Calidad fisiológica de las semillas

La calidad fisiológica de las semillas de *D. cedrosanum* exhibió diferencias significativas entre localidades para la viabilidad y la germinación estándar ($p \leq 0.05$), mientras que el porcentaje de semillas sin germinar no presentó diferencias (Cuadro 4). La viabilidad osciló entre 60 y 96 %, los valores más altos correspondieron al ejido Rancho Grande y los más bajos al ejido Salitrillo. De manera consistente, la germinación mostró un comportamiento similar, con valores de 55 a 94 % que confirman la correspondencia directa entre ambos parámetros.

Cuadro 4. Calidad fisiológica de semillas de *Dasyilirion cedrosanum* Trel. en cuatro localidades del municipio Viesca, Coahuila de Zaragoza, México.

Localidad	Viabilidad con tetrazolio (%)	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas no germinadas (%)
Ejido Salitrillo	60±4.32 c	55±5.51 b	37±6.61 a	8±2.31 a
Ejido El Nuevo Cuauhtémoc	79±1 b	86±5.03 a	4±2.83 b	10±2.58 a
Ejido Rancho Grande	96±0 a	94±2.58 a	1±1 b	5±3 a
NCPE Margaritas	79±1.91 b	83±3.79 a	10±5.29 b	7±1.91 a

Los valores expresados como media±error estándar. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre localidades (ANOVA; prueba de *Tukey*, $p \leq 0.05$).

El porcentaje de plántulas anormales varió entre localidades; fue superior en el ejido Salitrillo (37 %) e inferior en Rancho Grande (1 %); esa diferencia evidencia una disparidad en la calidad fisiológica de las semillas según su localidad. En contraste, las semillas sin germinar presentaron valores bajos y homogéneos (5-10 %), lo cual sugiere que una parte importante de las semillas con bajo desempeño fisiológico logró germinar, pero originó plántulas anormales; posiblemente por bajo vigor, daño parcial del embrión o desarrollo incompleto de estructuras esenciales.

La regresión lineal simple mostró una relación positiva y significativa entre viabilidad y germinación ($p < 0.001$), y el modelo tuvo un Coeficiente de determinación de $R^2 = 0.568$, lo que indica que la viabilidad explicó 56.8 % de la variación observada en la germinación (Figura 3). La pendiente positiva ($\beta = 0.93$) evidencia que por cada incremento de un punto porcentual en la viabilidad, la germinación aumenta en promedio 0.93 puntos porcentuales. Estos resultados muestran que los lotes con mayor proporción de semillas viables tendieron a presentar más capacidad germinativa, por lo que la prueba de tetrazolio se considera un indicador útil de la calidad fisiológica de las semillas de *D. cedrosanum*.

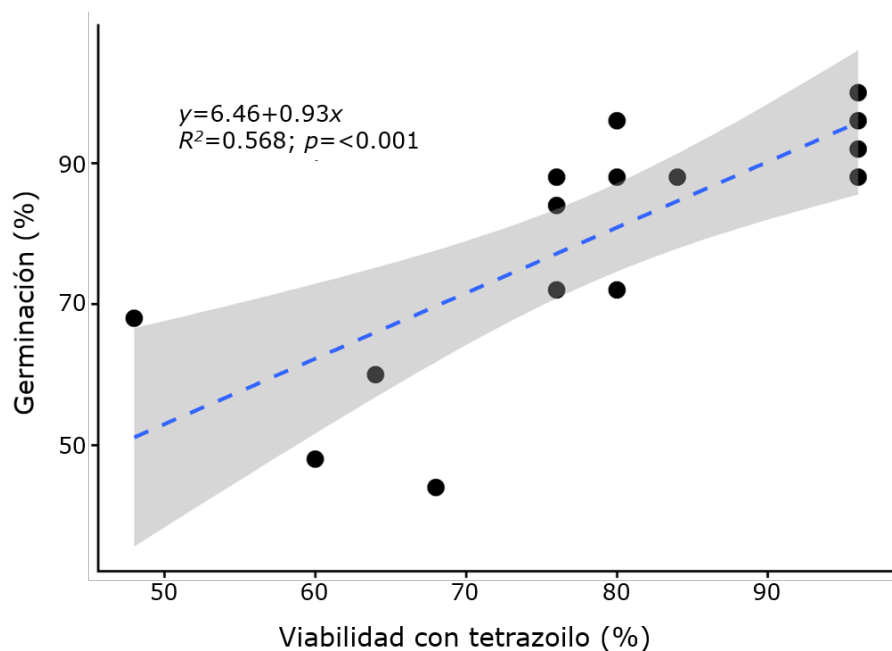


Figura 3. Regresión lineal simple entre la viabilidad y la germinación de semillas de *Dasylirion cedrosanum* Trel.

Desde una perspectiva fisiológica, la relación positiva entre viabilidad y germinación sugiere que la integridad del embrión y la actividad metabólica de las semillas fueron adecuadas en la mayoría de los lotes evaluados, lo cual es fundamental para la formación de plántulas normales (Rajjou et al., 2012). Sin embargo, el valor de R^2 indica que la viabilidad no explica por completo el comportamiento germinativo; por lo que otros factores, como el vigor de la semilla, el grado de llenado del embrión, el daño en estructuras esenciales o diferencias entre localidades también influyen en la expresión del potencial germinativo (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006; Penfield, 2017).

Las diferencias en viabilidad, germinación y formación de plántulas normales se relacionan con las condiciones ambientales y la calidad física de los lotes de cada localidad. En el área de estudio predomina un clima árido semicálido, con temperaturas de 16 a 38 °C y precipitación media anual de 120 a 350 mm, condiciones que pueden generar estrés hídrico y térmico durante la floración, fecundación y llenado de las semillas. Además, las localidades difirieron en altitud y en proporción de semillas vanas, lo que sugiere variaciones en el grado de llenado del embrión y en la calidad

fisiológica del lote. En este sentido, el mejor desempeño del material procedente de Rancho Grande y la mayor proporción de plántulas anormales obtenidas de las semillas procedentes de Salitrillo podrían asociarse con diferencias locales en disponibilidad de humedad, exposición, polinización y desarrollo embrionario.

El comportamiento antes descrito coincide con lo señalado para especies de zonas áridas, donde las condiciones ambientales durante la etapa reproductiva influyen en la viabilidad, germinación y vigor de las semillas (Morales-Santos *et al.*, 2017).

Conclusiones

La calidad de las semillas de *D. cedrosanum* está estrechamente ligada a la localidad, dado que las condiciones ambientales ejercen una influencia determinante sobre el potencial reproductivo de las poblaciones. Las variaciones observadas en la morfometría y el peso volumétrico sugieren una asignación diferencial de recursos durante la ontogenia de la semilla, influenciada por las condiciones del sitio de recolecta.

El material recolectado en el ejido Rancho Grande tiene el mejor desempeño fisiológico, con los valores más altos de viabilidad y germinación, así como la menor proporción de plántulas anormales. Por el contrario, el del ejido Salitrillo registró una menor germinación y mayor formación de plántulas anormales, lo que evidencia diferencias en la calidad fisiológica de los lotes evaluados.

Finalmente, la identificación de rodales con atributos físicos y fisiológicos superiores es fundamental para la delimitación de fuentes semilleras calificadas. Estos hallazgos permiten optimizar la producción de planta en vivero y fortalecer los esquemas de restauración forestal y aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos en ecosistemas áridos.

Agradecimientos

Se agradece al Campo Experimental Saltillo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo logístico y el uso de sus instalaciones durante la realización de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Luis Miguel Toribio-Ferrer: diseño metodológico, modelación y análisis estadístico, elaboración del escrito e investigación bibliográfica; Eulalia Edith Villavicencio-Gutiérrez: diseño y supervisión de la investigación, revisión y corrección del documento; Oscar Alberto Aguirre-Calderón: análisis de resultados, revisión y corrección del documento; Antonio Cano-Pineda: análisis de resultados, revisión y corrección del documento; Javier Jiménez-Pérez: revisión y corrección del documento; José Abenamar Jiménez-Jiménez: análisis e interpretación de resultados.

Referencias

Becerra-López, J. L., Rosales-Serna, R., Ehsan, M., Becerra-López, J. S., Czaja, A., Estrada-Rodríguez, J. L., Romero-Méndez, U., Santana-Espinosa, S., Reyes-Rodríguez, C. M., Ríos-Saucedo, J. C., & Domínguez-Martínez, P. A. (2020). Climatic change and habitat availability for three sotol species in México: a vision towards their sustainable use. *Sustainability*, 12(8), Article 3455. <https://doi.org/10.3390/su12083455>

- Benavides-Mendoza, A., Hernández-Juárez, A., & Francisco-Francisco, N. (2023). Germinación, crecimiento vegetativo y morfología floral de *Dasyllirion cedrosanum* del matorral rosetófilo de Coahuila. *CienciaUAT*, 18(1), 191-201. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v18i1.1772>
- 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>
- Finkelstein, R., Reeves, W., Ariizumi, T., & Steber, C. (2008). Molecular aspects of seed dormancy. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 387-415. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092740>
- Granados-Sánchez, D., Sánchez-González, A., Granados-Victorino, R. L., & Borja-de la Rosa, A. (2011). Ecología de la vegetación del Desierto Chihuahuense. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(Esp.), 111-130. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2010.10.102>
- Huss, J. C., & Gierlinger, N. (2021). Functional packaging of seeds. *New Phytologist*, 230(6), 2154-2163. <https://doi.org/10.1111/nph.17299>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2006). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Precipitación media anual* [Carta climatológica]. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267544>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2008). *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas* [Carta climática]. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2018). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional* [Cartas de uso del suelo y vegetación]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>
- International Seed Testing Association. (2024). *Rules Proposals for the International Rules for Seed Testing 2025 Edition* (Document OGM24-05). International Seed Testing Association. <https://www.seedtest.org/api/rm/2P6ZX54AR2A37H5/rules-proposals-final.pdf>

- Madrid-Solórzano, J. M., García-Alcaraz, J. L., Jiménez-Macías, E., Martínez-Cámara, E., & Blanco-Fernández, J. (2021). Life cycle analysis of sotol production in Mexico. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, Article 769478. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.769478>
- Moles, A. T., & Westoby, M. (2006). Seed size and plant strategy across the whole life cycle. *Oikos*, 113(1), 91-105. <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2006.14194.x>
- Morales-Santos, M. E., Peña-Valdivia, C. B., García-Esteva, A., Aguilar-Benítez, G., & Kohashi-Shibata, J. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*, 51, 43-62. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/1277>
- Orozco-Sifuentes, M. M., García-Martínez, J. E., Arévalo-Sanmiguel, C. A., Ramírez-Godina, F., & Reyes-Valdés, M. H. (2019). Potencial nutritivo de las semillas de sotol (*Dasyilirion cedrosanum*). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(4), 385-392. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.385-392>
- Ortiz-López, A., Velasco-Velasco, V. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Campos-Angeles, G. V., & Rodríguez-Ortiz, G. (2023). Morfología de los frutos de *Dasyilirion* spp. procedentes de la mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 10(2), 78-89. <https://revistaremaeitvo.mx/index.php/remae/article/view/369/342>
- Ortiz-López, A., Velasco-Velasco, V. A., Martínez-Gutiérrez, G. A., Campos-Angeles, G. V., & Rodríguez-Ortiz, G. (2024). Potencial germinativo de *Dasyilirion* spp. como respuesta a regímenes térmicos pregerminativos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(3), Artículo e4005. <https://era.ujat.mx/rera/es/article/view/4005>
- Penfield, S. (2017). Seed dormancy and germination. *Current Biology*, 27, R874-R878. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.050>
- Pérez-Sánchez, R. M., Jurado, E., Chapa-Vargas, L., & Flores, J. (2011). Seed germination of Southern Chihuahuan Desert plants in response to elevated temperatures. *Journal of Arid Environments*, 75(10), 978-980. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.04.020>

- Probert, R. J., Daws, M. I., & Hay, F. R. (2009). Ecological correlates of *ex situ* seed longevity: a comparative study on 195 species. *Annals of Botany*, 104(1), 57-69. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp082>
- R Core Team. (2025). *Index of/bin/windows/base/old/4.5.2* [Software]. R Foundation for Statistical Computing. <https://cran.r-project.org/bin/windows/base/old/4.5.2/>
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 507-533. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>
- Rubio-de Casas, 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>
- Ruiz-Flores, S. I., & Castro-Castro, A. (2024). Distribución, riqueza, endemismo y conservación del género *Dasyllirion* (Asparagaceae, Convallarioideae). *Acta Botánica Mexicana*, 131, Artículo e2367. <https://doi.org/10.21829/abm131.2024.2367>
- Toribio-Ferrer, L. M., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Morán-Martínez, A. L., Toribio-Ferrer, E., & Rascón-Solano, J. (2025). Redistribución del valor bruto de producción como estrategia para estabilizar los ingresos comunitarios en zonas áridas: estudio de caso en el NCPE Nuevo San Pedro, Coahuila. *e-CUCBA*, 12(26), 61-68. <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi26.404>
- Villarreal-Quintanilla, J. A., Bartolomé-Hernández, J. A., Estrada-Castillón, E., Ramírez-Rodríguez, H., & Martínez-Amador, S. J. (2017). El elemento endémico de la flora vascular del Desierto Chihuahuense. *Acta Botánica Mexicana*, 118, 65-96. <https://doi.org/10.21829/abm118.2017.1201>



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.