



GERMINACIÓN Y EMERGENCIA DE *Bursera linanoe* (La Llave)

Rzedowski, Calderón & Medina

GERMINATION AND EMERGENCE OF *Bursera linanoe* (La Llave)

Rzedowski, Calderón & Medina

Areli M. Guzmán-Pozos¹, Carlos Ramírez-Herrera^{1*}, Arnulfo Aldrete¹ y Efraín Cruz-Cruz²

¹Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5 Carr. México-Texcoco, 56230, Montecillo, Texcoco, Edo. de México. Tel. 01(595)952-0200, ext. 1468. ²Campo Experimental Zacatepec, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), km 0.5 Carr. Zacatepec-Galeana, Col. Centro, 62780, Zacatepec, Morelos, México.

*Autor para correspondencia (kmrcramcolpos@gmail.com)

RESUMEN

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina es una especie que tiene valor económico y social. La germinación de las semillas es un problema para la propagación de esta especie. Los objetivos del presente estudio fueron determinar el efecto de escarificación, temperatura y periodo de almacenamiento sobre la germinación de semillas de *B. linanoe* y estimar la variación en características de emergencia entre árboles de esta especie. Las semillas se recolectaron de 20 árboles en el ejido Huautla, Tlaquitenango, Morelos, México y se almacenaron a 15 °C. Un ensayo se estableció inmediatamente después de la recolección de semillas. El segundo ensayo se realizó usando semillas que se almacenaron a -10, 4 y 25 °C por cuatro y ocho meses. Dos tratamientos de escarificación se aplicaron a las semillas en ambos ensayos. La capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico se registraron. Adicionalmente, un ensayo se estableció para evaluar emergencia de plántulas. En el primer ensayo las capacidades germinativas fueron 2 y 18.5 % para las semillas no escarificadas y escarificadas, respectivamente. El valor pico fue 0.09 y se alcanzó en 19 días para semillas no escarificadas, mientras que éste fue 0.46 y se alcanzó en 40 días para semillas escarificadas. En el segundo ensayo, la capacidad germinativa mayor (10.14 %) se encontró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 4 °C por 4 meses, mientras que el valor menor (0.48 %) se registró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 25 °C por ocho meses. Existe variación alta en la capacidad de emergencia de las plántulas entre árboles de *B. linanoe*. La germinación de semillas y la emergencia de plántulas fue baja y lenta.

Palabras clave: *Bursera linanoe*, capacidad de germinación, emergencia, escarificación.

SUMMARY

Bursera linanoe (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina is a species with economic and social value. Germination of seeds is a problem for the propagation of this species. The objectives of this study were to determine the effect of scarification, temperature and storage period on seed germination of *B. linanoe* and to estimate the variation in emergence traits among trees of this species. Seeds were collected from 20 trees at ejido Huautla, Tlaquitenango, Morelos, Mexico and were stored at 15 °C. One trial was established immediately after the seed collection. A second trial was performed using seeds that were stored at -10, 4 and 25 °C for four and eight months. Two scarification treatments were applied to the seeds in both trials. Germinative capacity, peak value and number of days to reach the peak value were recorded. In addition, a trial was established to evaluate seedling emergence. In the first trial, the germinative capacities were 2 and 18.5 % for non-scarified seeds and scarified seeds, respectively. The highest value

was 0.09 and was reached in 19 days for non-scarified seeds, while scarified seeds reached the highest value of 0.46 in 40 days for. In the second trial, the highest germination capacity (10.14 %) was found in seeds that were scarified and stored at 4 °C for four months, while the lowest value (0.48 %) was recorded in seeds that were scarified and stored at 25 °C for eight months. There is large variation between *B. linanoe* trees in the emergence capacity of the seedlings. Seed germination and seedling emergence were low and slow.

Index words: *Bursera linanoe*, germinatiion capacity, emergence, scarification.

INTRODUCCIÓN

El linaloe [*Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón & Medina] se distribuye en México en los estados de Puebla, Guerrero, Morelos y Oaxaca (Rzedowski et al., 2005). Esta especie tiene un valor económico, social y ambiental alto (Hernández et al., 2013). Los frutos de *B. linanoe* se aprovechan para extraer el aceite que se utiliza en la industria de la perfumería y farmacéutica (Solares-Arenas et al., 2009); la madera se usa para la elaboración de artesanías y postes para cercas vivas (Torres et al., 2008). No obstante, las poblaciones de *B. linanoe* tienen un deterioro alto por las actividades económicas de los pobladores en las regiones de la distribución de la especie (Cruz-Cruz et al., 2009b).

Las semillas de las especies tropicales presentan latencia como adaptación para sobrevivir a condiciones extremas de temperatura alta y precipitación baja después de su dispersión (Rodríguez, 2008). Las semillas del trópico se caracterizan por presentar latencia física, que se rompe con las fluctuaciones de temperatura o con el fuego (Fenner y Thompson, 2005). Las semillas de *B. linanoe* manifiestan latencia física y fisiológica (Cruz-Cruz et al., 2009a). Adicionalmente, las condiciones ambientales y ecológicas influyen en el tamaño y forma de las semillas de muchas especies que crecen en la selva baja caducifolia (Ortiz-Pulido y Rico-Gray, 2006; Ruano, 2008). La variación en el tamaño de las semillas puede ocurrir entre

árboles dentro de la población, en la planta y en los frutos (Fenner y Thompson, 2005). Las condiciones de temperatura, la intensidad de luz, duración del día, las condiciones de sequía y la disponibilidad de nutrientes durante el desarrollo de la semilla en la planta madre antes de su dispersión influyen en la germinación (Ortiz-Pulido y Rico-Gray, 2006; Ruano, 2008).

Las semillas de la mayoría de las especies del género *Bursera* tienen el endocarpio lignificado, lo que permite disminuir el daño de insectos (Ramos-Ordoñez et al., 2012), adaptación presente en las semillas de *B. linanoe*; sin embargo, el endocarpio lignificado también constituye una barrera física que impide la imbibición de agua, obstaculiza el crecimiento del embrión y por lo tanto su germinación (Baskin y Baskin, 2001; Ramos-Ordoñez et al., 2012).

La regeneración natural de la especie *B. linanoe* es escasa, con un predominio de individuos adultos, condición que pone en riesgo de desaparecer a las poblaciones de esta especie (Castellanos-Bolaños et al., 2009). La propagación asistida de *B. linanoe* es importante para la reforestación y establecimiento de plantaciones locales y asegurar la repoblación en su área de distribución natural (Durán et al., 2014). Esta especie se puede propagar a través de estacas y por semilla (Hernández et al., 2013); sin embargo, la reproducción sexual de *B. linanoe* se ve limitada por presentar asincronía en la maduración de los frutos y períodos largos entre años semilleros, lo que se refleja en una baja disponibilidad de semilla (Ramos-Ordoñez et al., 2012). Además, *B. linanoe* ha registrado un porcentaje alto de semillas abortadas, lo que incrementa la dificultad de su propagación sexual (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002).

Aunado a los problemas de latencia y disponibilidad de semilla, la información acerca del almacenamiento de semillas de *B. linanoe* es escasa; por lo cual, los objetivos del presente estudio fueron: 1) determinar el efecto de escarificación, temperatura y periodo de almacenamiento sobre la germinación de semillas de *B. linanoe*, 2) estimar la variación en características de emergencia entre árboles de *B. linanoe*, bajo las hipótesis de que las semillas de *B. linanoe* recién recolectadas responderán favorables al tratamiento de escarificación, que la capacidad germinativa disminuirá al estar expuestas a extremos de temperatura alta o baja conforme el tiempo de almacenamiento se prolonga y que la emergencia de plántulas de *B. linanoe* registrará una amplia variabilidad por la procedencia de sus familias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Recolección y beneficio de la semilla

Los frutos se recolectaron de 20 árboles de *Bursera linanoe* en el ejido Huautla, Tlalquitzenango, Morelos, México en agosto de 2015. Esta población pertenece a la Reserva de la Biosfera Sierra de Huautla, localizada al sur del estado de Morelos y está cubierta principalmente por selva baja caducifolia. Los frutos se recolectaron en árboles con alturas entre 6 y 10 m y diámetros entre 15 y 50 cm a una altura de 1.30 m, sin evidencias de ataque de plagas y enfermedades. Una etiqueta con un número consecutivo se colocó en cada árbol y de igual forma se registró su ubicación geográfica con un receptor de Sistema de Posicionamiento Global (GPS, Garmin Ltd., Sijih City, Taipei, Taiwán). La recolección de los frutos se realizó cuando éstos tuvieron una coloración rojiza y un tamaño mayor de 7 mm (Cruz-Cruz et al., 2009a). Las semillas de algunos frutos estuvieron expuestas al momento de la recolección. Información sobre distancia de dispersión del polen de *B. linanoe* es nula en la literatura; sin embargo, Dumphy y Hamrick (2007) reportaron una distancia de dispersión entre 320 y 361 m para el polen de *Bursera simaruba* (L.) Sarg. La distancia mínima fue 30 m entre árboles con base en la Norma Mexicana para el Establecimiento de Unidades Productoras y Manejo de Germoplasma Forestal - Especificaciones Técnicas (NMX-AA-169-SCFI-2016) donde se recomienda una distancia mínima de 20 m entre árboles seleccionados para la recolección de germoplasma (Secretaría de Economía, 2016).

Alrededor de 4 mil frutos se recolectaron y colocaron en bolsas de papel Kraft, las cuales se etiquetaron con el número de árbol asignado. Las bolsas con los frutos se transportaron al laboratorio de semillas del INIFAP, Campo Experimental Zacatepec; éstos se extendieron sobre papel periódico y permanecieron dentro del laboratorio por una semana para la apertura de las valvas y separación de las semillas. Los frutos se removieron todos los días para evitar el desarrollo de hongos. Las semillas se separaron de valvas y hojas mediante tamices de diferentes diámetros. Las semillas de cada uno de los árboles con un contenido de humedad del 10 % se almacenaron a 15 °C en frascos de vidrio debidamente etiquetados. Sólo las semillas negras se seleccionaron debido a que son semillas con embriones y endospermos con posibilidad de germinar (Cruz-Cruz et al., 2009a).

Germinación de semillas recién recolectadas

Inmediatamente después de que las semillas se secaron y limpiaron antes de almacenar, una muestra de 400

semillas se seleccionó del compuesto general. Doscientas semillas se escarificaron con ácido sulfúrico a una concentración del 98 % por 30 min (Cruz-Cruz et al., 2009a). Las otras 200 semillas no se sometieron a algún tratamiento de escarificación. Los dos tratamientos se colocaron en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Cada repetición consistió de 50 semillas. Las semillas se colocaron sobre papel absorbente en cajas de plástico de 11.5 × 19.5 cm. El papel absorbente se humedeció con 200 mL de agua. Las cajas de plástico con las semillas se colocaron en una cámara de ambiente controlado a 25 °C por 60 d.

Las variables evaluadas en esta fase fueron capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico. La capacidad germinativa es el porcentaje final de germinación. El valor pico es el valor máximo de la sumatoria del porcentaje de germinación dividido por el número de días y representa la velocidad de germinación (Czabator, 1962). El registro de la germinación se realizó diariamente. Una semilla se consideró germinada cuando su radícula alcanzó el tamaño aproximado de la semilla, la cual no se remplazó en el ensayo (Godínez-Álvarez y Flores-Martínez, 1999).

Germinación de semilla almacenada en dos períodos diferentes

Muestras de semillas con un contenido de humedad del 10 % del compuesto general se almacenaron en recipientes de vidrio que se colocaron en cámaras con ambiente controlado a temperaturas de -10, 4 y 25 °C. Una muestra de 414 semillas se seleccionó del compuesto por cada temperatura. Doscientas siete semillas se escarificaron con ácido sulfúrico a una concentración del 98 % por 30 min. Las otras 207 semillas no se sometieron a tratamiento alguno de escarificación. Las semillas en la cámara con ambiente controlado se germinaron sobre papel absorbente en cajas de plástico a los cuatro y ocho meses después de su almacenamiento. El papel absorbente se humedeció con 200 mL de agua. Los tratamientos se colocaron en un diseño de bloques completos al azar con 23 repeticiones. Una solución de Captan® [N-(triclorometiltio) ciclohex-4-ene-1,2-dicarboximida] al 1 %, se agregó a cada caja para evitar la proliferación de hongos (Belcher y Carlson, 1968). Las cajas de plástico se colocaron en la cámara de ambiente controlado a una temperatura de 25 °C por 60 d. El registro de la germinación se realizó diariamente. Una semilla se consideró germinada cuando su radícula alcanzó el tamaño aproximado de la semilla, la cual no se remplazó en el ensayo (Godínez-Álvarez y Flores-Martínez, 1999).

Emergencia de plántulas

Se usaron semillas almacenadas en frascos de vidrio por 4 meses a 4 °C. Cuatrocienas semillas de cada uno de los 20 árboles de *B. linanoe* se separaron en ocho muestras de 50 semillas, las cuales se colocaron en vasos de precipitados. Las semillas en el vaso se cubrieron con 25 mL de jabón líquido por 30 min. Posteriormente, las semillas se lavaron en una canasta metálica y el arilo de la semilla se eliminó. La escarificación de las semillas sin arilo se realizó con ácido sulfúrico al 98 % por 30 min (Cruz-Cruz et al., 2009a). El ácido sulfúrico se removió y las semillas se lavaron con agua corriente por 5 min. Las semillas se dejaron en agua potable por 12 h antes de la siembra. Subsecuentemente, las semillas se sembraron en charolas de plástico (37 × 47 cm) en un sustrato elaborado con la mezcla de turba (peat moss) (60 %), agrolita (30 %) y vermiculita (10 %). Las semillas se colocaron en un diseño de bloques completos al azar con 26 repeticiones y 15 semillas por unidad experimental. Las charolas se colocaron en un túnel de plástico. La emergencia se registró diariamente por 110 d. Una plántula se consideró emergida cuando fue visible sobre el sustrato con el epicótilo y cotiledones abiertos.

Viabilidad de semillas

La prueba se realizó después de observar una emergencia baja de las semillas de árboles *B. linanoe*. Las semillas estuvieron almacenadas a 15 °C por 14 meses. Noventa semillas de cada uno de 10 árboles se incluyeron en esta prueba por la disponibilidad de semillas. Las semillas se cortaron con un bisturí por la mitad a lo largo del embrión. La testa de cada semilla se removió con una aguja de disección.

Los embriones con sus endospermos se sumergieron en 50 µL de una solución de tetrazolio (cloruro de 2,3,5-trifenil tetrazolio, $C_{19}H_{15}ClN_4$) al 1 % en una placa de plástico con 96 cavidades (Leist et al., 2003). Los embriones con sus endospermos respectivos se colocaron en un diseño de bloques completos al azar con 10 repeticiones, y nueve embriones con sus endospermos constituyeron una unidad experimental. Las cajas de plástico se colocaron en una cámara de ambiente controlado a 25 °C por 6 horas. Los embriones se colocaron sobre un portaobjetos y se observaron con un estereoscopio. Un embrión se consideró viable cuando este se tiñó de rojo completamente (Leist et al., 2003).

Análisis estadístico

Germinación de semillas recién recolectadas

Los datos de capacidad germinativa (%) no tuvieron una distribución normal y homogénea por lo que éstos se analizaron como una variable binaria con el procedimiento LOGISTIC del programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2017). El valor pico y días para alcanzar el valor pico se analizaron con el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2017) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + S_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} es la observación en el i -ésimo bloque, en el j -ésimo tratamiento; μ es la media; B_i es el i -ésimo bloque, S_j es el j -ésimo tratamiento de escarificación y ε_{ijk} es el error experimental.

Germinación de semilla almacenada en dos períodos diferentes

Los datos para las características de germinación se analizaron con el procedimiento GLM del programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2017) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijklm} = \mu + P_i + B(P)_{j(i)} + S_k + S \times B(P)_{kj(i)} + T_l + T \times S_{lk} + \varepsilon_{ijklm}$$

donde: Y_{ijklm} es la observación i -ésimo periodo de almacenamiento en el j -ésimo bloque en el k -ésimo tratamiento en el i -ésimo ambiente de almacenamiento; μ es la media experimental, P_i es el efecto del i -ésimo periodo de almacenamiento, $B(P)_{j(i)}$ es el efecto del j -ésimo bloque anidado en el i -ésimo periodo de almacenamiento, S_k es el efecto del k -ésimo tratamiento de escarificación, $S \times B(P)_{kj(i)}$ es el efecto del j -ésimo bloque anidado en el i -ésimo periodo de almacenamiento por k -ésimo tratamiento de escarificación, T_l es el efecto de la l -ésima temperatura de almacenamiento, $T \times S_{lk}$ es el efecto de la l -ésima temperatura de almacenamiento por k -ésimo tratamiento de escarificación y ε_{ijklm} es el error experimental.

Emergencia de plántulas

Los datos para las características de emergencia se analizaron como una variable binaria con el procedimiento LOGISTIC del programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2017) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque en el j -ésimo

árbol; μ es la media experimental, B_i es el efecto del i -ésimo bloque, A_j es el efecto del j -ésimo árbol y ε_{ijk} es el error experimental.

Viability de semillas

Los datos de viabilidad no tuvieron una distribución normal y homogénea por lo que estos se analizaron como una variable binaria con el procedimiento LOGISTIC del programa SAS versión 9.4 para Windows (SAS Institute, 2017) con el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_i + A_j + \varepsilon_{ijk}$$

donde: Y_{ijk} es la observación i -ésimo bloque en el j -ésimo árbol; μ es la media, B_i es el efecto del i -ésimo bloque, A_j es el efecto del j -ésimo árbol y ε_{ijk} es el error experimental.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Germinación de semillas recién recolectadas

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre tratamientos para las variables capacidad germinativa y valor pico pero no entre tratamientos de escarificación para la variable días para alcanzar el valor pico ($P = 0.12$). La capacidad germinativa mayor fue 18.5 % para las semillas escarificadas mientras que, ésta fue de 2 % para las semillas no escarificadas. El valor pico fue 0.46 para semillas escarificadas y de 0.09 para semillas sin escarificación. El número de días para alcanzar el valor pico fue de 40 para semillas escarificadas y de 19 para semillas no escarificadas.

Germinación de semilla almacenada en dos períodos diferentes

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre temperaturas de almacenamiento para las variables capacidad germinativa y días para alcanzar el valor pico, pero no se encontraron diferencias significativas entre temperaturas de almacenamiento ($P = 0.14$) para valor pico; tampoco hubo diferencias significativas entre períodos de almacenamiento ($P = 0.99$, $P = 0.44$ y $P = 0.06$) y tratamientos de escarificación ($P = 0.96$, $P = 0.87$ y $P = 0.83$) para capacidad germinativa, valor pico y días para alcanzar el valor pico, respectivamente. Los valores de la capacidad germinativa de las semillas de *B. linanoe* fueron bajos tanto a los cuatro como a los ocho meses en almacenamiento tanto para semillas escarificadas como no escarificadas, las cuales se almacenaron a temperaturas diferentes (Cuadro 1). El valor mayor de capacidad germinativa se encontró en las semillas que se escarificaron y almacenaron a 4 °C por cuatro meses (Cuadro 1). Por otro lado, el menor valor de

capacidad germinativa se encontró a los ocho meses para las semillas escarificadas y almacenadas a 25 °C.

Los valores de capacidad germinativa fueron menores para semillas que se almacenaron en períodos y temperaturas diferentes que los valores de esta variable para semillas recién recolectadas y escarificadas que se germinaron en el primer ensayo. La disminución de la capacidad germinativa se puede deber a un nivel mayor de latencia en la semilla como consecuencia de factores genéticos y de las condiciones ambientales en que las semillas maduran y se almacenan (Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo, 2009; Baskin y Baskin, 2001; Cruz-Cruz *et al.*, 2009a). Las semillas de *B. linanoe* fueron sensibles a los cambios extremos de temperatura en el almacenamiento (Alatorre-Cobos y Rodríguez-Trejo, 2009), como lo demostró la disminución de la capacidad germinativa de las semillas escarificadas y no escarificadas que se almacenaron bajo temperaturas diferentes por períodos diferentes.

En la presente investigación el ácido sulfúrico pudo dañar los tejidos internos de la semillas con testa delgada y con esto inducir un porcentaje bajo de germinación de las semillas de *B. linanoe*. El grosor de la testa de las semillas de *B. linanoe* puede ser variable como en semillas de *Cryptocarya alba* (Mol.) Looser (Chacón y Bustamante, 2001). La fluctuación en los valores de capacidad germinativa de las semillas de *Bursera linanoe* en la presente investigación fue semejante a las fluctuaciones de los valores de capacidad germinativa de semilla de *B. bicolor* (Willd. ex Schleidl.) Engl. (5.27 a 17.94 %), *B. bipinnata* (D C.) Engl. (0.93 a 11.06 %), *B. copallifera* (DC.) Bullock (0.17 a 6.79 %) y *B. glabrifolia* (H. B. K.) Engl. (3.91 a 13.38 %)

(Bonfil-Sanders *et al.*, 2008); sin embargo, valores mayores de capacidad germinativa se encontraron en semillas de *B. linanoe* (38 %) (Cruz-Cruz *et al.*, 2009a), *B. graveolens* (Kunth) Triana & Planch (30 %) (Morgan y Jose, 2013) y *B. simaruba* (40.8 %) (Dunphy y Hamrick, 2007).

La capacidad germinativa baja en las semillas de *B. linanoe* y en general del género *Bursera* se puede deber a la presencia de latencia física, pero también de otros tipos diferentes de latencia como fisiológica y morfológica (Baskin y Baskin, 2001; Cruz-Cruz *et al.*, 2009a; Rodríguez, 2008). La capacidad germinativa puede variar entre árboles, años de producción, procedencia y entre especies (Andersson y Milberg, 1998; Fenner, 1991; González, 1991). Los estudios sobre latencia fisiológica y morfológica de la semilla de *B. linanoe* son escasos, por lo que ésto representa un área de oportunidad. Los porcentajes de germinación bajos pueden contribuir al deterioro y posible pérdida de poblaciones naturales de *B. linanoe*, debido a las tasas bajas de reclutamiento de individuos jóvenes que puedan sustituir a los individuos maduros, como se documentó para poblaciones de *Silene regia* Sims, una especie con una tasa baja de reclutamiento debido a porcentajes bajos de germinación (Menges y Dolan, 1998); sin embargo, la latencia es una característica que permite a las semillas sobrevivir cuando las condiciones ambientales son adversas para la germinación (Baskin y Baskin, 2001).

Los valores pico fueron muy bajos para las semillas de *B. linanoe*, tanto a los cuatro como a los ocho meses en almacenamiento a temperaturas diferentes (Cuadro 1); además, estos valores fueron bajos tanto para semillas escarificadas como no escarificadas. El mayor valor pico

Cuadro 1. Valores promedio ± error estándar de las características germinativas de semillas de *B. linanoe*.

Período (meses)	Escarificación	Temperatura de almacén (°C)	Capacidad germinativa (%)	Valor pico	Días para alcanzar el valor pico
4	Si	-10	5.31 ± 1.69	0.27 ± 0.09	7.17 ± 2.24
		4	10.14 ± 2.70	0.42 ± 0.11	14.39 ± 3.57
		25	4.83 ± 1.53	0.21 ± 0.07	9.60 ± 3.11
	No	-10	4.35 ± 1.35	0.32 ± 0.13	8.13 ± 3.21
8	Si	4	5.80 ± 1.95	0.22 ± 0.08	11.34 ± 3.80
		25	9.66 ± 1.89	0.63 ± 0.14	10.00 ± 2.11
		-10	8.21 ± 1.88	0.52 ± 0.12	10.17 ± 2.29
8	No	4	9.18 ± 1.93	0.50 ± 0.11	11.08 ± 2.30
		25	0.48 ± 0.48	0.05 ± 0.05	0.39 ± 0.39
	No	-10	4.83 ± 1.17	0.28 ± 0.09	9.95 ± 2.83
8	No	4	7.25 ± 1.92	0.39 ± 0.10	10.0 ± 2.71
		25	0.97 ± 0.67	0.07 ± 0.05	1.39 ± 1.03

se encontró a los cuatro meses en las semillas no escarificadas y almacenadas a 25 °C. Por otro lado, el menor valor pico se registró a los ocho meses para las semillas escarificadas y almacenadas a 25 °C. El valor pico fue ligeramente mayor en semillas almacenadas a cuatro meses que en las semillas recién recolectadas. En general, las semillas de *B. linanoe* presentaron una velocidad de germinación muy baja y heterogénea con base en los valores pico, los cuales presentaron valores por debajo de 1.0; ésto mostró una calidad baja de semillas con posibles problemas de latencia (Sánchez et al., 2004). Los valores pico del presente estudio fueron menores (1.9 y 2) que aquellos para semillas de *B. linanoe* que se escarificaron con ácido sulfúrico por 30 min y se agregó ácido giberélico en una concentración de 500 y 1000 mg L⁻¹ por 24 h, respectivamente, por lo que las semillas de esta especie pueden presentar tanto latencia física como fisiológica (Cruz-Cruz et al., 2009a). Los valores en el presente estudio fueron menores que los valores pico aproximados (1.1, 1.2 y 2.6) para semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*, respectivamente (Bonfil-Sanders et al., 2008); sin embargo, los valores pico pueden ser mucho mayores para especies de clima templado con niveles bajos de latencia; por ejemplo, el valor pico fue 8.5 para semillas de *Pinus leiophylla* Schl. & Cham. (Gómez et al., 2010).

El número de días para alcanzar el valor pico fue variable en las semillas de *B. linanoe* a los cuatro y ocho meses en almacenamiento a temperaturas diferentes y con escarificación (Cuadro 1). El número mayor se registró a los cuatro meses con la temperatura de 4 °C con escarificación (Cuadro 1); el valor menor se encontró a los ocho meses con la temperatura de 25 °C y con escarificación (Cuadro 1). El número de días para alcanzar el valor pico fue menor para las semillas almacenadas a las temperaturas evaluadas que el número de días para alcanzar el valor pico para las semillas de reciente recolecta. El número de días para alcanzar los valores pico (7 y 11) fue mayor que el número requerido para semillas de *B. linanoe* que se escarificaron con ácido sulfúrico por 30 min y la adición de ácido giberélico en una concentración de 500 y 1000 mg L⁻¹ por 24 h, respectivamente (Cruz-Cruz et al., 2009a).

El número de días para alcanzar los valores pico fue menor para las semillas de *Bursera linanoe* que el requerido (18 d) para las semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia*, respectivamente (Bonfil-Sanders et al., 2008). La germinación de las semillas de *B. linanoe* terminó después de los 40 d de establecidos los ensayos de germinación. Resultados similares se reportaron para semillas de *B. bicolor*, *B. copallifera* y *B. glabrifolia* (Bonfil-Sanders et al., 2008). Por lo tanto, períodos largos de germinación pueden ser característicos para las semillas del género *Bursera*. El periodo de germinación es variable en semillas

de especies que crecen tanto en la selva baja caducifolia como en la selva alta perennifolia; por ejemplo, semillas de *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Baker, una especie que crece en la selva baja caducifolia, lograron 88 % de germinación en menos de 40 días (Sánchez y Hernández, 2004). De la misma manera, semillas de *Swietenia macrophylla* King, una especie con distribución en la selva alta perennifolia, alcanzaron 75 % de germinación en 28 d (Morris et al., 2000) y semillas de *Cedrela odorata* L. tuvieron 66 % de germinación en 25 d (González, 1991), mientras que semillas de *Dendropanax arboreus* (L.) Decne. & Planch. y de *Minquartia guianensis* Aub., dos especies con distribución en la selva alta perennifolia, mostraron 13 y 55 % de germinación a los 203 y 210 días, respectivamente (González, 1991).

Emergencia de plántulas

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron entre árboles para capacidad de emergencia de las plántulas de *B. linanoe*. La capacidad promedio de emergencia fue 15.28 % de los individuos de árboles de *B. linanoe*. El valor mayor para capacidad de emergencia se registró en las plántulas del Árbol 2, mientras que el valor menor para esta variable se observó en las plántulas del Árbol 9 (Figura 1). La capacidad promedio de emergencia de semillas almacenadas a 15 °C por 6 meses fue mayor que las capacidades germinativas promedio de las semillas escarificadas y no escarificadas que se almacenaron a -10, 4 y 25 °C por cuatro y ocho meses en la presente investigación; sin embargo, la capacidad de emergencia promedio fue 3 % menor que la capacidad germinativa promedio para las semillas recién recolectadas y escarificadas con ácido sulfúrico. La información en la literatura es escasa sobre emergencia de plántulas de *B. linanoe*. La capacidad promedio de emergencia de las plántulas de *B. linanoe* fue mayor que la capacidad promedio (< 5 %) de plántula de *B. aptera* Ramírez, *B. lancifolia* (Schltdl.) Engl., *B. schlechtendalii* Engl., *B. morelensis* Ramírez, *B. grandifolia* (Schltdl.) Engl., *B. longipes* Standl., *B. bicolor* y *B. grabrifolia*; sin embargo, la capacidad de emergencia promedio de plántulas de *B. linanoe* en la presente investigación fue menor que la capacidad promedio (28 y 38 %) de emergencia de las plántulas de la *B. submoniliformis* Engelm. y *B. copallifera*, respectivamente (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002).

A nivel de árbol, una variación alta se observó en esta característica con un valor de emergencia de las plántulas del Árbol 2 mayor a los promedios que se reportaron en otras especies del género *Bursera* (Andrés-Hernández y Espinosa-Organista, 2002). La variabilidad de la capacidad de emergencia que se registró entre las plántulas de los árboles de *B. linanoe* en el presente estudio puede ser

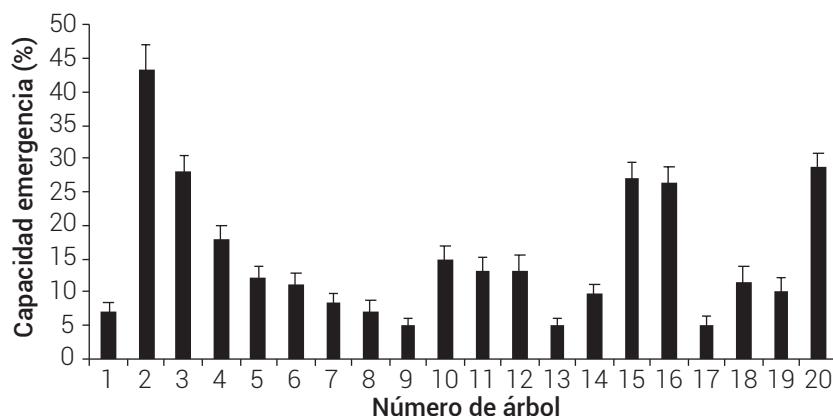


Figura 1. Valores promedio ± error estándar de la capacidad de emergencia de plántulas de 20 árboles de *B. linanoe*.

resultado de un nivel diferente de latencia de las semillas entre árboles diferentes de esta especie. La intensidad de latencia puede ser resultado de factores genéticos y ambientales (Baskin y Baskin, 2001). Una intensidad diferente de latencia puede ser una característica que permite a las especies asegurar la supervivencia en lugares con condiciones ambientales extremas (Fenner y Thompson, 2005; Vieira y Scariot, 2006). Las plántulas que emergen al inicio de la temporada de lluvia pueden tener una probabilidad mayor de supervivencia que las plántulas que emergen al final de la temporada de lluvias (Fenner y Thompson, 2005).

El promedio de la velocidad de emergencia fue 0.31 en semillas de árboles de *B. linanoe*. Los valores mayores para velocidad de emergencia se registraron en la semilla de los árboles 2, 3, 15, 16 y 20, mientras que los valores menores para esta variable se encontraron en la semilla de los árboles 1, 8, 9, 13 y 17. Los valores de la velocidad de emergencia en las plántulas de *B. linanoe* no registraron

gran variación entre los árboles, y coinciden en algunos valores con lo encontrado en la velocidad de germinación en laboratorio. García *et al.* (2007) mencionaron que la emergencia de las plántulas está influenciada por la temperatura y que las plántulas pueden emerger con mayor rapidez cuando éstas se establecen en condiciones similares a aquellas de su ambiente natural de distribución.

Viabilidad de semillas

Diferencias significativas ($P \leq 0.05$) se encontraron en la viabilidad de los embriones entre árboles. La viabilidad promedio fue 57 %. El porcentaje mayor de viabilidad se encontró en los embriones del Árbol 1, mientras que el porcentaje menor se encontró en los embriones del Árbol 6 (Figura 2).

La información es escasa sobre viabilidad de embriones de *B. linanoe*. La viabilidad fue mayor en los embriones de

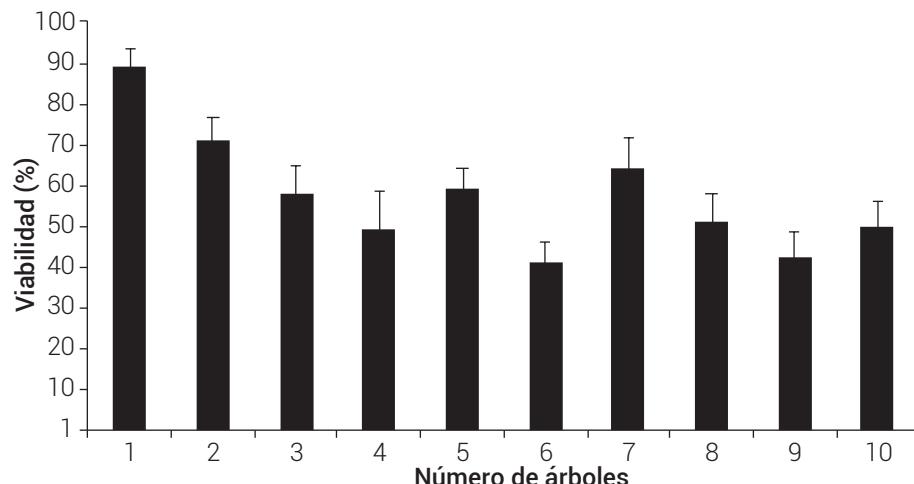


Figura 2. Valores promedio ± error estándar de la viabilidad de las semillas 10 árboles de *B. linanoe*.

semilla de esta especie que la viabilidad (15 %) de los embriones de semillas de *B. bipinnata* que estuvo almacenada a 25 °C por 12 meses (Orantes-García et al., 2013). Las condiciones ambientales de almacenamiento y factores genéticos pueden acelerar la pérdida de viabilidad de las semillas (Correa et al., 2013). La diferencia fue alta entre los porcentajes de emergencia y los porcentajes de viabilidad de los embriones de las semillas, aun cuando la prueba de viabilidad se realizó ocho meses después de que se estableció el ensayo de emergencia; por lo tanto, también la latencia fisiológica y latencia morfológica, además de la latencia física, pueden inhibir la germinación de las semillas de *B. linanoe*. Por ejemplo, la diferencia fue de 82 % entre el porcentaje de viabilidad de los embriones y el porcentaje de emergencia de la semilla del Árbol 1, lo que podría significar que las semillas de este árbol tuvieron un porcentaje alto de latencia morfológica o fisiológica.

CONCLUSIONES

Las semillas de *B. linanoe* recién recolectadas y escarificadas presentan capacidad germinativa mayor. La germinación y emergencia de las semillas de esta especie son lentas. Los valores de capacidad germinativa y velocidad de germinación disminuyen a través del tiempo para las semillas escarificadas y no escarificadas. Existe variación alta en la capacidad de emergencia de las plántulas entre árboles de *B. linanoe*.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre-Cobos J. y D. A. Rodríguez-Trejo (2009)** Concentración de carbohidratos y peso fresco durante la germinación de *Chamaedorea elegans* Mart. y factores que le afectan. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15:73-79.
- Andersson L. and P. Milberg (1998)** Variation in seed dormancy among mother plants, populations and years of seed collection. *Seed Science Research* 8:29-38, <https://doi.org/10.1017/S0960258500003883>.
- Andrés-Hernández A. R. y D. Espinosa-Organista (2002)** Morfología de plántulas de *Bursera* Jacq. ex L. (Burseraceae) y sus implicaciones filogenéticas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 70:5-12.
- Baskin C. C. and J. M. Baskin (2001)** Seeds. Ecology, Biogeography, and Evolution of Dormancy and Germination. Academic Press. San Diego, CA, USA. 666 p.
- Belcher J. and L. W. Carlson (1968)** Seed-treatment fungicides for control of conifer damping-off: laboratory and greenhouse tests, 1967. *Canadian Plant Disease Survey* 48:47-52.
- Bonfil-Sanders C., I. Cajero-Lázaro y R. Y. Evans (2008)** Germinación de semillas de seis especies de *Bursera* del centro de México. *Agrociencia* 42:827-834.
- Castellanos-Bolaños J. F., M. Gómez-Cárdenas, E. Cruz-Cruz, V. Serrano-Altamirano, F. Solares-Arenas, D. Vargas-Álvarez, S. Orozco-Sirilo, V. Mariles-Flores, M. E. Fuentes-López, A. Borja de la Rosa y D. Ayerde-Lozada (2009)** Caracterización silvícola de poblaciones naturales de linaloe en Guerrero, Oaxaca y Puebla. In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz C., V. Mariles F., M. Gómez C. y D. Vargas Á. (comps.). Libro Técnico No. 14. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Santo Domingo Barrio Bajo, Etila, Oaxaca. México. pp:85-104.
- Chacón P. and R. O. Bustamante (2001)** The effects of seed size and pericarp on seedling recruitment and biomass in *Cryptocarya alba* (Lauraceae) under two contrasting moisture regimes. *Plant Ecology* 152:137-144, <http://dx.doi:10.1023/A:1011463127918>.
- Correa E., M. Espitia, H. Araméndiz, O. Murillo e I. Pastrana (2013)** Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* L. f. en la conformación de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica* 16:379-389.
- Cruz-Cruz E., M. Gómez-Cárdenas, D. Vargas-Álvarez, F. Solares-Arenas, V. Mariles-Flores, D. Ayerde-Lozada, S. Orozco-Cirilo, M. E. Fuentes-López, A. Borja de la Rosa, J. F. Castellanos-Bolaños y V. Serrano-Altamirano (2009a)** Colecta de fruto, selección y germinación de semilla de *Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina. In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz C., V. Mariles F., M. Gómez C. y D. Vargas Á. (comps.). Libro Técnico No. 14. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Santo Domingo Barrio Bajo, Etila, Oaxaca. México. pp:140-164.
- Cruz-Cruz E., V. Mariles-Flores, F. Solares-Arenas, M. Gómez-Cárdenas, V. Serrano-Altamirano, D. Ayerde-Lozada, M. E. Fuentes-López, J. F. Castellanos-Bolaños, S. Orozco-Cirilo, D. Vargas-Álvarez y A. Borja de la Rosa (2009b)** Adaptación ecológica y climática de linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina). In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz C., V. Mariles F., M. Gómez C. y D. Vargas Á. (comps.). Libro Técnico No. 14. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Santo Domingo Barrio Bajo, Etila, Oaxaca. México. pp:1-31.
- Czabator F. J. (1962)** Germination value: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8:386-396, <https://doi.org/10.1093/forestscience/8.4.386>.
- Dunphy B. K. and J. L. Hamrick (2007)** Estimation of gene flow into fragmented populations of *Bursera simaruba* (Burseraceae) in the dry-forest life zone of Puerto Rico. *American Journal of Botany* 94:1786-1794.
- Durán G. O., A. Quintanar I., J. Villanueva D., A. T. Jaramillo-Pérez y J. Cerano P. (2014)** Características anatómicas de la madera de *Bursera lancifolia* (Schltdl.) Engl. con potencial dendrocronológico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5:76-87.
- Fenner M. (1991)** The effects of the parent environment on seed germinability. *Seed Science Research* 1:75-84, <https://doi.org/10.1017/S0960258500000696>.
- Fenner M. and K. Thompson (2005)** The Ecology of Seeds. 2nd. Edition. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 250 p.
- García P. J. F., Ó. Aguirre C., E. Estrada C., J. Flores R., J. Jiménez P. y E. Jurado Y. (2007)** Germinación y establecimiento de plantas nativas del matorral tamaulipeco y una especie introducida en un gradiente de elevación. *Madera y Bosques* 13:99-117.
- Godínez-Álvarez H. y A. Flores-Martínez (1999)** Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. *Polibotánica* 11:1-19.
- Gómez J. D. M., C. Ramírez H., J. Jasso M. y J. López U. (2010)** Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33:297-304.
- González J. E. (1991)** Recolección y germinación de semillas de 26 especies arbóreas del bosque húmedo tropical. *Revista de Biología Tropical* 39:47-51.
- Hernández V. R., E. Cruz C., G. O. Díaz Z., M. I. Pérez L., S. Lozano T. y V. A. Velasco V. (2013)** Efecto del nitrógeno, fósforo y potasio en estacas de linaloe (*Bursera linanoe*) Andresen. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1119-1128.
- Leist N., S. Krämer and A. Jonitz (2003)** ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing. Vol. II. Tree and Shrub Species. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland. 145 p.
- Menges E. S. and R. W. Dolan (1998)** Demographic viability of populations of *Silene regia* in Midwestern prairies: relationships with fire management, genetic variation, geographic location, population size and isolation. *Journal of Ecology* 86:63-78.
- Morgan M. and S. Jose (2013)** Increasing seed germination of *Bursera graveolens*, a promising tree for the restoration of tropical dry

- forests. *Tree Planters' Notes* 56:74-83.
- Morris M. H., P. Negreros-Castillo and C. Mize (2000)** Sowing date, shade, and irrigation affect big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King). *Forest Ecology and Management* 132:173-181, [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00224-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00224-8).
- Orantes-García C., M. A. Pérez-Farrera, T. M. Rioja-Paradela y E. R. Garrido-Ramírez (2013)** Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica* 36:117-127.
- Ortiz-Pulido R. and V. Rico-Gray (2006)** Seed dispersal of *Bursera fagroides* (Burseraceae) the effect of linking environmental factors. *The Southwestern Naturalist* 51:11-21.
- Ramos-Ordoñez M. F., M. del Coro A. and J. Márquez-Guzmán (2012)** The fruit of *Bursera*: structure, maturation and parthenocarpy. *AoB PLANTS* 2012:pls027, doi:10.1093/aobpla/pls027.
- Rodríguez T. D. A. (2008)** Indicadores de Calidad de Planta Forestal. Mundi-Prensa México. México, D.F. 156 p.
- Ruano M. R. J. (2008)** Viveros Forestales. 2^a edición. Ediciones Mundi Prensa, Madrid. 285 p.
- Rzedowski J., R. Medina L. y G. Calderón R. (2005)** Inventario del conocimiento taxonómico, así como de la biodiversidad y del endemismo regionales de las especies mexicanas de *Bursera* (Burseraceae). *Acta Botánica Mexicana* 70: 85-111.
- Sánchez J. A., B. C. Muñoz, L. A. Montejo, J. A. Fresneda y J. Reino (2004)** Estudio ecofisiológico de semillas de interés agroforestal. *Biotecnología Aplicada* 21:172-174.
- Sánchez S. O. y C. Hernández Z. (2004)** Estudio morfológico de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. *Forestá Veracruzana* 6:1-6.
- SAS, Statistical Analysis System (2017)** System Requirements for SAS® 9.4 Foundation for Microsoft Windows for x64. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. 36 p.
- Secretaría de Economía (2016)** Norma Mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016. Establecimiento de Unidades Productoras y Manejo de Germoplasma Forestal-Especificaciones Técnicas (Cancela la NMX-AA-169-SCFI-2014). Secretaría de Economía, Subsecretaría de Competitividad y Normatividad, Dirección General de Normas. Diario Oficial de la Federación. Publicado el 03 de octubre de 2016. Ciudad de México.
- Solares-Arenas F., E. Cruz-Cruz, M. Gómez-Cárdenas, D. Vargas-Álvarez, A. Borja-de la Rosa, V. Mariles-Flores, V. Serrano-Altamirano, M. E. Fuentes-López, S. Orozco-Cirilo, J. F. Castellanos-Bolaños y D. Ayerde-Lozada (2009)** El proceso de extracción de aceite de linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en los Estados de Morelos y Guerrero. In: Fundamentos Técnicos para el Manejo de Poblaciones Naturales de Linaloe (*Bursera linanoe* (La llave) Rzedowski, Calderón & Medina) en México. E. Cruz C., V. Mariles F., M. Gómez C. y D. Vargas Á. (comps.). Libro Técnico No. 14. Campo Experimental Valles Centrales de Oaxaca, INIFAP. Santo Domingo Barrio Bajo, Etla, Oaxaca. México. pp:177-196.
- Torres R. J. A., R. Castro F. y D. Grande C. (2008)** Cercas de uso pecuario en la cuenca del río La Antigua, México: inventario florístico y costo de construcción. *Zootecnia Tropical* 26:279-283.
- Vieira D. L. M. and A. Scariot (2006)** Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restoration Ecology* 14: 11-20, <http://dx.doi:10.1111/j.1526-100X.2006.00100.x>.