



DOI: [10.29298/rmcf.v14i77.1345](https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i77.1345)

Artículo de Investigación

## Morfometría y viabilidad de semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. en Campeche

### Morphometry and viability of *Brosimum alicastrum* Sw. seeds in the state of Campeche

Alberto Santillán-Fernández<sup>1</sup>, Sandra Suguey Castañeda-Alonso<sup>2,3</sup>, Eugenio Carrillo-Ávila<sup>3</sup>, Alfredo Esteban Tadeo-Noble<sup>1</sup>, Jaime Bautista-Ortega<sup>3</sup>, Javier Enrique Vera López<sup>3</sup>, Fulgencio Alatorre-Cobos<sup>4\*</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 2 de marzo de 2023

Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de mayo del 2023

<sup>1</sup>Investigador por México Conahcyt. Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. México.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. México.

<sup>3</sup>BIOSAT. Colegio de Postgraduados, Campus Campeche. México.

<sup>4</sup>Investigador por México Conahcyt. Centro de Investigación Científica de Yucatán. México.

\*Autor para correspondencia; correo-e: fulgencio.alatorre@cicy.mx

\*Corresponding author; e-mail: fulgencio.alatorre@cicy.mx

#### Resumen

*Brosimum alicastrum* (ramón) es una especie endémica del sur de México, que por sus usos en la alimentación animal y humana, y su capacidad para regenerar ecosistemas degradados, la Comisión Nacional Forestal la ha incluido en los programas de reforestación, lo que ha incrementado la demanda de sus ejemplares, semillas y frutos. No obstante, el taxón se distribuye de manera natural con un incipiente manejo silvícola. Los objetivos de esta investigación fueron caracterizar la morfometría de semillas de poblaciones silvestres de ramón en Campeche, y determinar el efecto de la temperatura sobre la viabilidad y germinación de las semillas bajo condiciones controladas, mediante la prueba de tetrazolio. Se recolectaron semillas de cuatro distintas localidades del norte de Campeche: X-Mabén, Sahcabchén, Hopelchén y Calakmul. El análisis morfométrico reveló que las semillas con las mejores características (tamaño y peso) fueron las de Hopelchén y Calakmul. Para determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de las semillas recolectadas, se seleccionó el material de Calakmul. La viabilidad se prolongó hasta 70 días en temperaturas de almacenamiento de 4 °C, con 90 % de germinación, mientras que a 28 °C se redujo a 30 días. Se concluye que 4 °C es una temperatura de almacenamiento óptima para prolongar la viabilidad de las semillas y garantizar los mayores porcentajes de germinación en vivero. Esta información será importante en los planes futuros de manejo forestal de *B. alicastrum*, y contribuirá a la conservación y aprovechamiento sustentable de la especie.

**Palabras clave:** Árbol ramón, capomo, germinación de semillas, nuez Maya, ojite, prueba de tetrazolio.

## Abstract

Ramon tree (*Brosimum alicastrum* (ramón)) is a species endemic to southern Mexico. Due to its uses in animal and human food and its ability to regenerate degraded ecosystems, this tree has been included by the National Forest Commission in reforestation programs, increasing the demand for its specimens, seeds and fruits. Nevertheless, the species is distributed naturally with an incipient forestry management. The objectives of this research were to characterize the morphometry of seeds of wild populations of Ramon tree in the state of *Campeche*, and to determine the effect of temperature on the viability and germination of seeds under controlled conditions, through the tetrazolium test. Seeds were collected from four municipalities in the north of *Campeche*: *X-Mabén*, *Sahcabchén*, *Hopelchén* and *Calakmul*. Morphometric analysis revealed that the seeds with the best characteristics (size and weight) were those of *Hopelchén* and *Calakmul*. To determine the effect of storage temperature on the viability of the seeds collected, *Calakmul* seeds were used. Viability was found to last up to 70 days at storage temperatures of 4 °C with 90 % germination, while at 28 °C it was reduced to 30 days. It is concluded that 4 °C is an optimal storage temperature to prolong the viability of the seeds and guarantee the highest percentages of germination in the nursery. This information will be important in future forest management plans of the *Ramon* tree, contributing to the conservation and sustainable use of the species.

**Key words:** *Ramón* tree, *Capomo*, seed germination, Mayan nut, *Ojite*, tetrazolium test.

## Introducción

*Brosimum alicastrum* Sw. (ramón) es un árbol de la familia Moraceae, con amplia distribución en Mesoamérica, de donde se considera endémico, que crece de manera silvestre en selvas perennifolias y caducifolias (Vergara *et al.*, 2014). La especie produce frutos de noviembre a febrero, y de julio a septiembre, los cuales son bayas de 2 a 2.5 cm de diámetro, globosas con pericarpio carnoso, y coloración verde cuando son inmaduras y de verde-amarillento a anaranjado-rojizo al madurar; contienen una semilla de 1.5 a 2 cm de diámetro, cubierta por una testa papirácea amarillenta, con

dos cotiledones montados uno sobre el otro; son semillas recalcitrantes con porcentajes de germinación inferiores a 50 % (Morales y Herrera, 2009).

En México, *B. alicastrum* se distribuye desde el sur de Tamaulipas hasta Quintana Roo, y de Sinaloa a Chiapas (Pennington y Sarukhán, 2005). Es muy apreciado en la Península de Yucatán donde sus semillas llegaron a ser consideradas el maíz de los mayas (Espinosa-Grande *et al.*, 2023). En esta región, actualmente, la especie se distribuye de manera natural, y la recolección de semillas, frutos y forraje se destina a la alimentación animal (Rojas-Schroeder *et al.*, 2017). El taxón también tiene potencial para la alimentación humana y en la industria. El fruto es rico en compuestos fenólicos con actividad antioxidante; su almidón tiene propiedades espesantes y gelificantes adecuadas para alimentos procesados y la industria farmacéutica (Moo-Huchin *et al.*, 2019).

En 2019, por su capacidad para la restauración de suelos degradados, *B. alicastrum* se incluyó como una especie prioritaria en el Programa Federal Sembrando Vida de la Secretaría de Bienestar, cuyo objetivo es propagarla con fines de reforestación (Secretaría de Bienestar, 2020). Además, ante un contexto de cambio climático y seguridad alimentaria, se ha convertido en un recurso local de amplio uso para la alimentación animal y humana (Ramírez-Sánchez *et al.*, 2017). En virtud de ello, la demanda por ejemplares (planta, semilla y fruto) de *B. alicastrum* se ha incrementado, y con ello la necesidad de generar investigación respecto a su propagación (Santillán-Fernández *et al.*, 2021a).

En la literatura existen investigaciones para *B. alicastrum* en aspectos de botánica y ecología (Espinosa-Grande *et al.*, 2023), propiedades nutricionales en la alimentación animal y humana (Rojas-Schroeder *et al.*, 2017; Subiria-Cueto *et al.*, 2019) y recientemente, por su alto potencial económico, se han incorporado temas referentes a plantaciones forestales (Hernández-González *et al.*, 2015). Sin embargo, hay poco conocimiento sobre las condiciones de almacenamiento y sus

efectos sobre la viabilidad (capacidad para germinar) de sus semillas, debido al incipiente manejo forestal de la especie (Mendoza-Arroyo *et al.*, 2020).

En la propagación sexual de las especies forestales, un problema recurrente del manejo en vivero es la determinación del tiempo óptimo de almacenamiento sin que se afecte la viabilidad de las semillas (Mejenes-López *et al.*, 2019). Durante el periodo de almacenamiento, factores como la humedad, temperatura, luz y cantidad de oxígeno, afectan el deterioro de la semilla y condicionan, directamente, su viabilidad (Valverde-Rodríguez *et al.*, 2019). En las semillas que no toleran la deshidratación, denominadas recalcitrantes, el almacenaje se complica; estas, principalmente corresponden a taxa tropicales, pueden almacenarse por largos periodos si se les deshidrata ligeramente y tienen oxígeno disponible (De Vitis *et al.*, 2020). Valverde-Rodríguez *et al.* (2019) determinaron que, en el almacenamiento, la temperatura es el factor en el cual se puede incidir más rápido para prolongar la viabilidad de semillas recalcitrantes.

Para determinar la viabilidad de las semillas de manera rápida, la prueba de tetrazolio es la más apropiada por la simplicidad de su aplicación y la confiabilidad de sus resultados (Salazar *et al.*, 2020). Se ha utilizado con éxito en especies forestales como *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari (Dorta, 2020), *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (Siqueira *et al.*, 2020); *Coffea arabica* L. (Calla *et al.*, 2019), *Guaiacum sanctum* L. (Flores *et al.*, 2019), *Cedrela odorata* L. y *Cariniana pyriformis* Miers (Espitia-Camacho *et al.*, 2017).

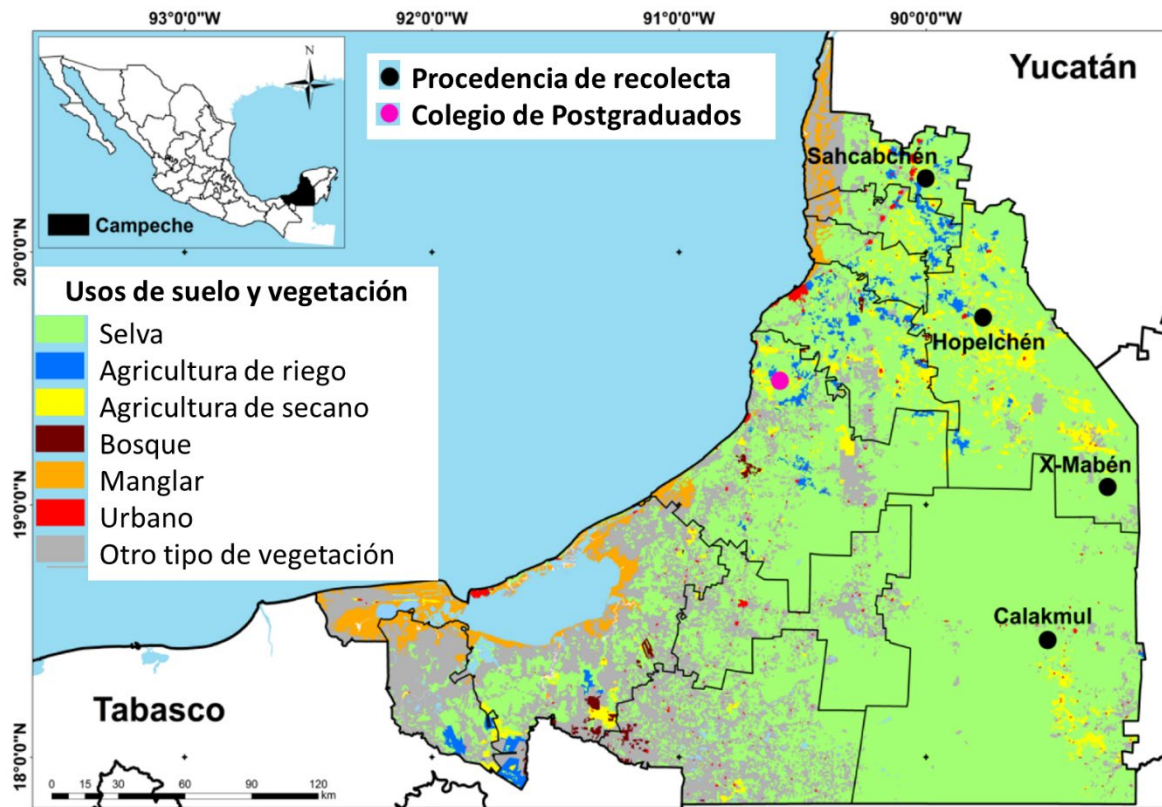
En este contexto, los objetivos de la presente investigación fueron caracterizar la morfometría de semillas de poblaciones silvestres de *B. alicastrum* en Campeche, y determinar el efecto de la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad y germinación de las semillas bajo condiciones controladas mediante la prueba de tetrazolio, con la finalidad de determinar la temperatura y el tiempo máximo de almacenamiento que garanticen altos porcentajes de germinación. La hipótesis

planteada es que existe una variación natural en la morfometría de las semillas y que la temperatura de almacenamiento es un factor que impacta directamente sobre la viabilidad de las semillas.

## **Materiales y Métodos**

### **Recolecta de frutos**

La primera semana de septiembre de 2019 se recolectaron frutos de *B. alicastrum* en cuatro localidades del norte de Campeche (Figura 1). Las procedencias de recolecta se caracterizan por una cobertura de selva media subperennifolia y selva alta perennifolia, con suelos arcillosos, precipitaciones de 600 a 4 000 mm, con épocas de estiaje de tres a siete meses, temperatura media anual de 18 a 27 °C y altitudes de 20 a 1 000 m (Inegi, 2021). Esta región ha sido descrita previamente por Santillán-Fernández *et al.* (2021b) como una región con alta distribución natural de *B. alicastrum*, homogénea en sus parámetros edafoclimáticos.



**Figura 1.** Ubicación espacial de las procedencias de recolecta de frutos de *Brosimum alicastrum* Sw. en el estado de Campeche.

La recolecta de frutos en X-Mabén y Hopelchén se realizó en zonas perturbadas por actividades antrópicas, a diferencia de Sahcabchén y Calakmul cuya recolecta fue en áreas menos perturbadas e incluso en la reserva de la biosfera, para el caso de Calakmul. La recolecta de los frutos se hizo con base en la metodología descrita por Vallejos *et al.* (2010); se seleccionaron 10 árboles por procedencia con las mejores características fenotípicas (dasométricas: mayor altura, mayor diametro a la altura del pecho y fuste recto), con una distancia mínima entre árboles seleccionados de 100 m; de cada individuo se obtuvo un promedio de 50 frutos, los cuales se almacenaron en bolsas esterilizadas de plástico para su traslado a las instalaciones

del Colegio de Postgraduados, campus Campeche (Champotón, Campeche, México). El fruto se despulpó dejando al descubierto la semilla, que se lavó con agua para retirar los residuos del pericarpio.

### **Morfometría de las semillas de *B. alicastrum***

Para el análisis morfométrico de las semillas, se eliminaron aquellas que estuvieran rotas, vanas, o con síntomas de daño por plagas y enfermedades. Se seleccionaron, aleatoriamente, cuatro muestras de 30 semillas por procedencia (480 semillas en total). Las variables cuantificadas fueron: largo (cm), ancho (cm) y la relación largo/ancho, medidas con ayuda de un vernier (*Mitutoyo 530-312CAL™*); peso (g), calculado mediante una balanza analítica (*Wellish™*); volumen (cm<sup>3</sup>) y densidad (g cm<sup>-3</sup>), con el método de desplazamiento de agua (Rashidi *et al.*, 2007), que consiste en colocar cada semilla dentro de una probeta de vidrio (*Cylinder-250mL-2PK-Glass™*) con un volumen conocido de agua (100 mL) y se registra el volumen desplazado.

Las diferencias estadísticas entre las variables morfométricas por lugar de procedencia, se determinaron con el *software* R (Venables y Smith, 2023) mediante una prueba de medias por *Tukey*, con una confiabilidad de 95 % ( $\alpha=0.05$ ).

### **Análisis de viabilidad de las semillas**

La viabilidad de las semillas se determinó con la técnica de cloruro de tetrazolio, la cual se utiliza para diferenciar tejidos metabólicamente activos de los inactivos (Berridge, 2005). Para ello, se empleó un diseño experimental completamente al azar, con cuatro réplicas de 30 semillas para cada sitio de recolecta (480 semillas). Debido a que no se encontraron trabajos previos para *B. alicastrum* en los que se analice la viabilidad de sus semillas con tetrazolio, la preparación de la solución y la evaluación de los patrones de tinción se hizo considerando lo que se ha citado para especies similares.

Se utilizó una solución de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (CTT) (*Sigma T8877-10G*) al 1 % en agua tridestilada estéril (Espitia-Camacho *et al.*, 2017). Las semillas se cortaron siguiendo el eje ecuatorial y se colocaron en 20 mL de solución de CTT en una caja Petri e incubadas (*Labnet*<sup>®</sup> modelo 222DS) en oscuridad a 28 °C durante 4 h. El tiempo de incubación fue previamente determinado a partir de una cinética de tinción de 24 h con intervalos de muestreo de 4 h.

De acuerdo a la metodología descrita por Rodríguez *et al.* (2008) y Orantes-García *et al.* (2013), cuando las células vivas del embrión de la semilla respiran activamente (tienen mayor probabilidad de germinación), la prueba de CTT las tiñe de color rojo, y en el caso de las células muertas conservan el color original del embrión. Para este análisis se consideraron tres categorías, conforme el sistema de clasificación de Pérez-Mendoza (2018): semillas totalmente teñidas (embriones viables y vigorosos), semillas parcialmente teñidas (embriones viables con medio vigor) y semillas no teñidas (embriones no viables); en todos los casos se contabilizaron y se expresaron en porcentaje por réplica y lugar de procedencia. Las diferencias estadísticas de la proporción de semillas que presentó una categoría de tinción por procedencia se determinaron con el *software* R (Venables y Smith, 2023) mediante una prueba de medias por *Tukey* con una confiabilidad de 95 % ( $\alpha=0.05$ ).



## **Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de las semillas**

Para analizar el efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de las semillas de *B. alicastrum*, se estableció un diseño experimental completamente al azar con 24 réplicas de cinco semillas para cada temperatura de almacenamiento. Los gradientes de temperatura fueron definidos en función de estudios preliminares para árboles tropicales como *B. alicastrum*; al respecto, la temperatura de 4 °C es una de las más evaluadas en estudios sobre el efecto de la temperatura en almacenamiento, mientras que la de 28 °C se considera una temperatura ambiente dentro del intervalo de 23 a 28 °C (Campbell-Martínez *et al.*, 2022; Park *et al.*, 2022). Para este experimento, se seleccionaron las semillas del lugar de procedencia que obtuvo los porcentajes más bajos en la prueba de CTT, con la finalidad de estudiar el efecto en los peores escenarios.

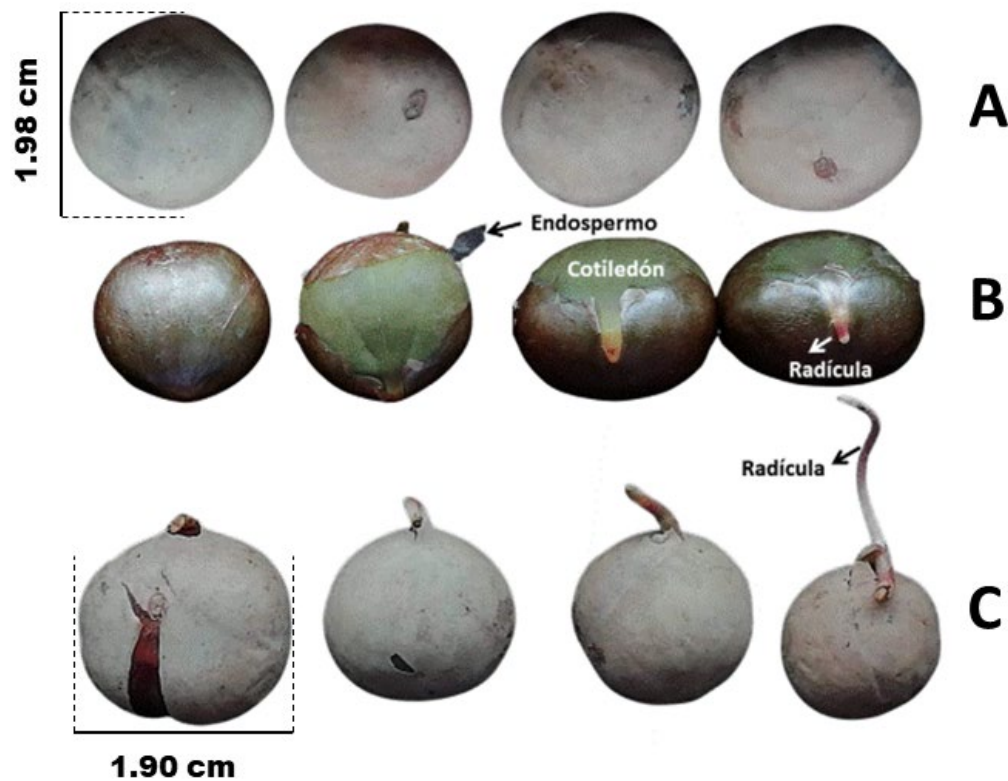
Las semillas se almacenaron a una temperatura de 4 °C en un refrigerador (*Samsung side by side*®) y 28 °C (cuarto de cultivo) por un periodo de 92 días. Cada 15 días se seleccionaron de manera aleatoria y sin reemplazo cuatro réplicas por gradiente de temperatura, a las que se les aplicó la prueba de CTT para determinar el porcentaje de semillas totalmente teñidas, semillas parcialmente teñidas y semillas no teñidas. Por el número de réplicas (24) y periodo de análisis (15 días), la prueba de CTT se efectuó seis veces. Además, se efectuó una prueba de germinación a 80 semillas (de la procedencia que tuvo los porcentajes más bajos en la prueba de CTT) almacenadas durante 30 días a 4 °C y 28 °C, se hicieron cuatro réplicas de 10 semillas para cada gradiente de temperatura, en cada una se

obtuvo el porcentaje de germinación. Las diferencias estadísticas de la proporción de semillas que presentó una categoría de tinción por periodo de análisis, y el porcentaje de germinación por gradiente de temperatura se determinaron en el *software* R (Venables y Smith, 2023) mediante una prueba de medias por *Tukey* con una confiabilidad de 95 % ( $\alpha=0.05$ ).

## **Resultados y Discusión**

### **Morfometría de las semillas de *B. alicastrum***

Un análisis exploratorio de las semillas recolectadas mostró que tienen una forma esférica o aplanada, cubiertas de una testa papirácea de color café-blanquecino que al secarse se desprende sola, con una semilla de dos cotiledones asimétricos de coloración verdosa (Brechú-Franco *et al.*, 2021) (Figura 2). Al analizar la morfometría de las semillas de las cuatro procedencias, los promedios más altos para el largo (cm) y ancho (cm) correspondieron al material de Hopelchén y los más bajos a Calakmul (Cuadro 1). Sin embargo, las semillas de Calakmul presentaron los mejores promedios en volumen (cm<sup>3</sup>) y peso (g).



A) Testa exterior de color café-gris que cubre a la semilla, B) Semilla sin testa mostrando el endocarpio, cotiledones y radícula del embrión, y C) Semilla con germinación inducida por alta humedad relativa.

**Figura 2.** Morfología de las semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. Se ilustran semillas con diferentes grados del desarrollo de la radícula.

**Cuadro 1.** Diferencias estadísticas entre las variables morfométricas de semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. por procedencia de recolecta en Campeche.

Procedencia de recolecta	Variables morfométricas					
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Largo/Ancho (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Peso (g)	Densidad (g cm <sup>-3</sup> )
Sahcabchén	1.65 B	1.64 B	1.01 B	2.27 B	2.70 B	1.32 A
X-Mabén	1.61 BC	1.63 B	0.99 B	2.08 B	1.84 C	1.02 B
Hopelchén	1.92 A	1.98 A	0.97 B	2.82 A	3.32 A	1.28 AB

Calakmul	1.50 C	1.38 C	1.10 A	3.03 A	3.16 A	1.15 AB
----------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

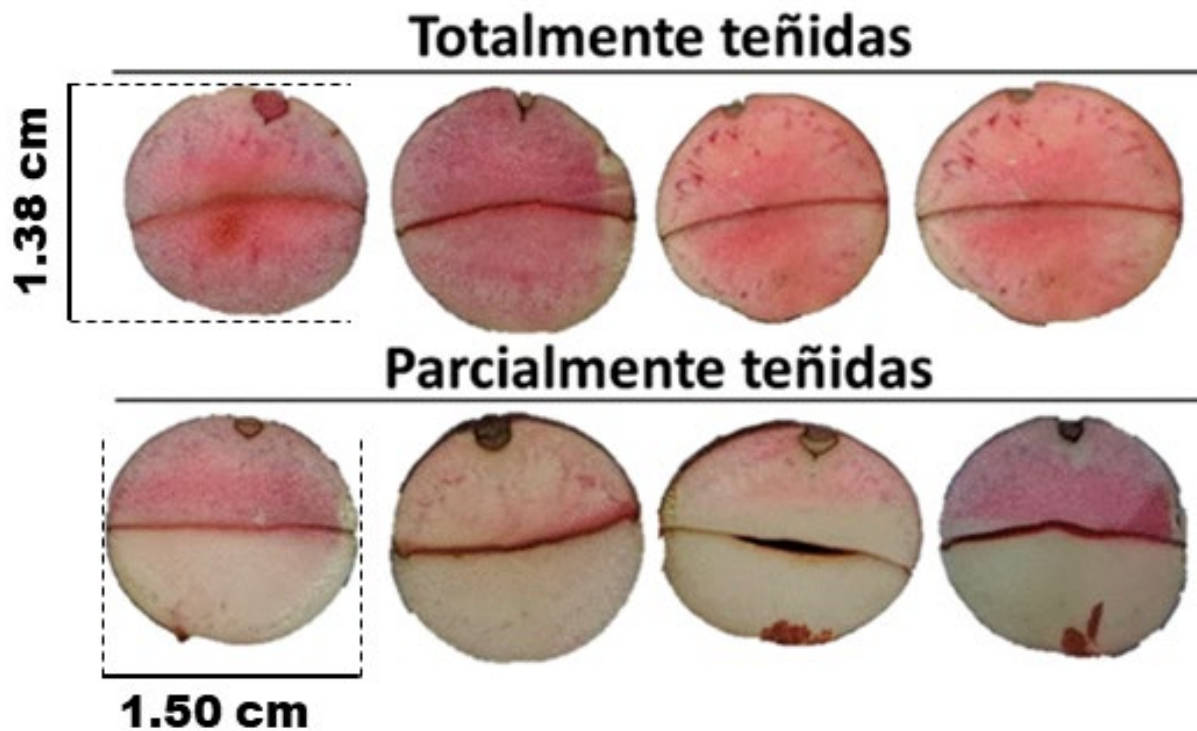
La proporción Largo ( $L$ )/Ancho ( $A$ ) es uno de los factores que definen la forma de una semilla:  $L/A < 1$  corresponde a una semilla aplanada,  $L/A = 1$  a una redonda, y  $L/A > 1$  a una oblonga (Bezerra *et al.*, 2015). En el presente estudio, aunque los análisis estadísticos mostraron diferencias significativas entre las procedencias, todos los valores de  $L/A$  son cercanos a 1 (Cuadro 1), es decir, corresponden a semillas redondas, como previamente se ha citado (Brechú-Franco *et al.*, 2021).

Las semillas de mayor volumen fueron las de Hopelchén y Calakmul, las cuales también registraron los pesos y densidades más altos (Cuadro 1). Estos datos morfométricos son ligeramente distintos a los registrados por Morales y Herrera (2009), quienes evaluaron semillas de árboles de ramón ubicados en Yucatán, con largos inferiores a 1.4 cm, anchos superiores a 1.8 cm, y pesos promedios de 2.8 g. La diferencia en tamaños de semillas puede deberse a factores genéticos y ambientales inherentes a las regiones donde se ubican las poblaciones de la especie (Vergara *et al.*, 2014).

### **Prueba de tinción con cloruro de tetrazolio (CTT)**

Se observaron embriones totalmente teñidos, y embriones parcialmente teñidos (Figura 3). De acuerdo con Mancipe-Murillo *et al.* (2018), la intensidad en la tinción

indica mayor probabilidad de germinación. Sin embargo, se debe considerar que por la propiedad recalcitrante de las semillas de *B. alicastrum* son más propensas a perder viabilidad en los primeros 30 días (Magnitskiy y Plaza, 2007).

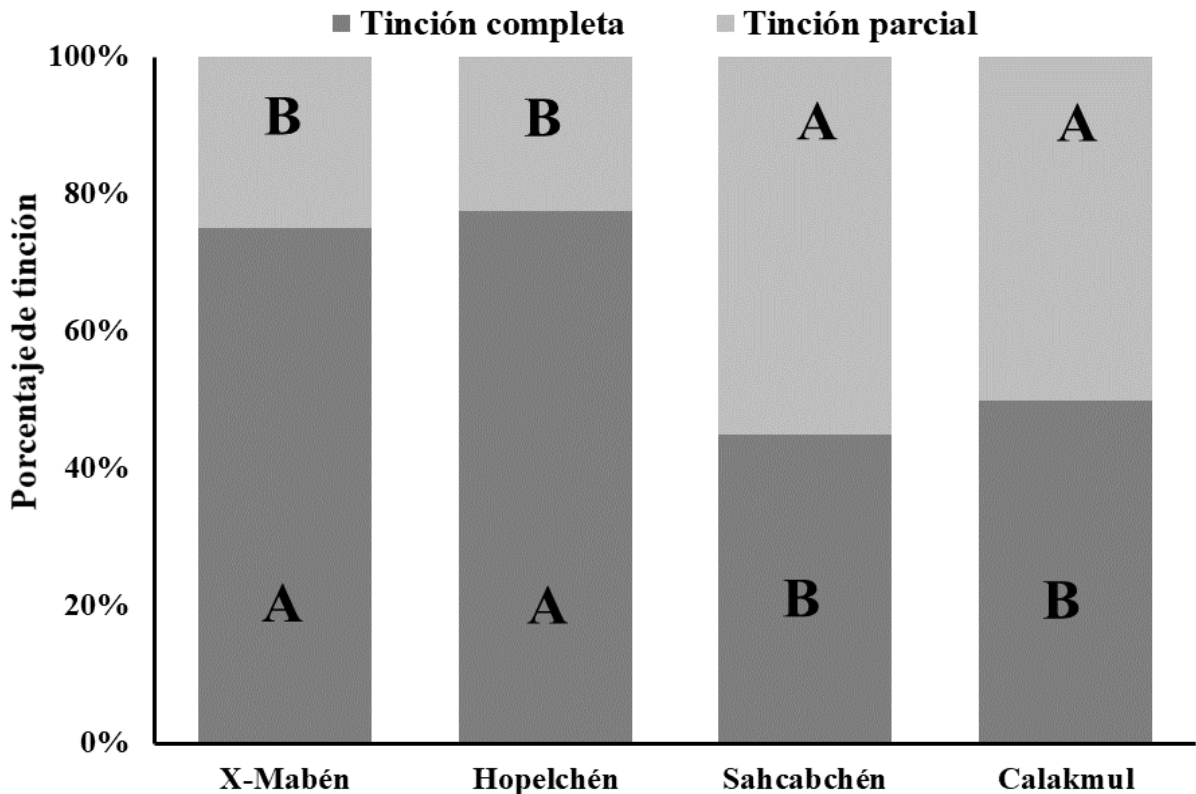


**Figur**

**a 3.** Tinción de semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. mediante la prueba de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (CTT).

La prueba de medias por *Tukey* ( $\alpha=0.05$ ) evidenció que las procedencias de X-Mabén y Hopelchén tuvieron las semillas con los porcentajes de tinción completa más altos y se diferenciaron estadísticamente de las procedencias de Sahcabchén y Calakmul (Figura 4). La recolecta en las procedencias de X-Mabén y Hopelchén se realizó en zonas perturbadas por actividades antropogénicas. De acuerdo con Romero-Saritama (2018), la viabilidad de una semilla es afectada por diversos factores, entre ellos la edad del árbol y las condiciones fisiográficas del área de

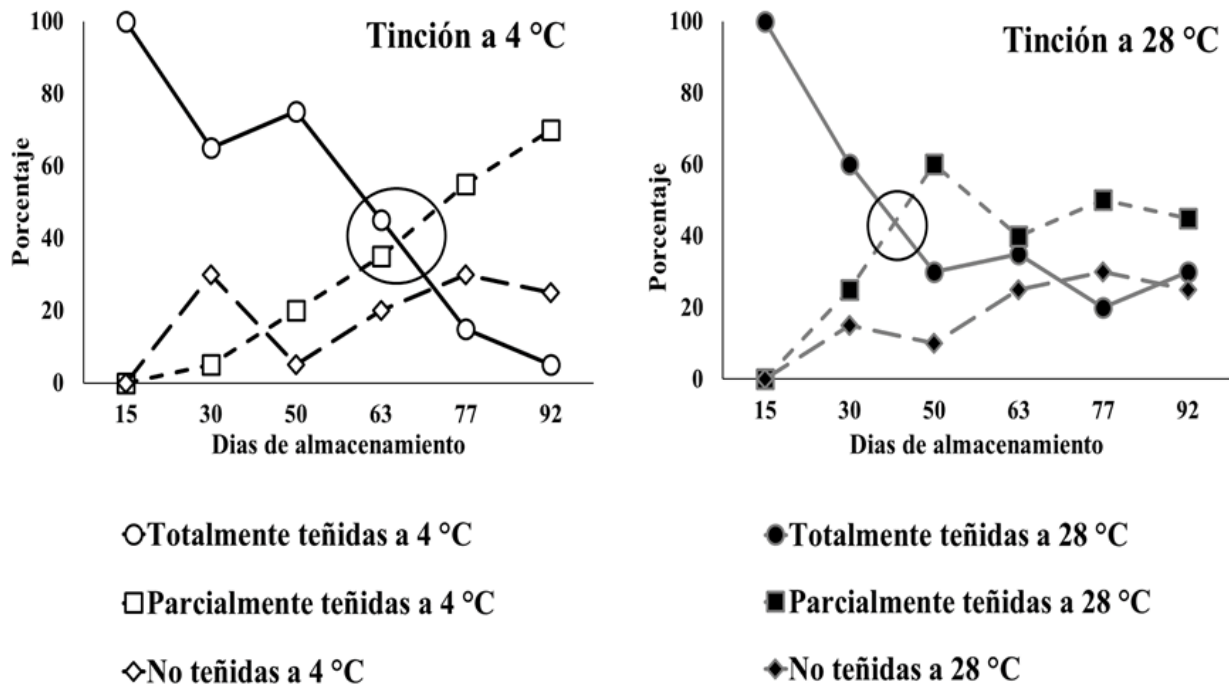
recolecta. Sin embargo, las especies forestales tienden a desarrollar mayor resiliencia en condiciones desfavorables, lo que ayuda a explicar por qué en sitios perturbados se registraron mayores porcentajes de viabilidad.



**Figura 4.** Diferencias estadísticas en el porcentaje de tinción de semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. por procedencia. Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (*Tukey*,  $\alpha=0.05$ ).

### **Efecto del tiempo y la temperatura de almacenamiento sobre la viabilidad de las semillas**

En condiciones de temperatura ambiente (28 °C) alrededor de los 30 días, el porcentaje de semillas parcialmente teñidas fue superior al de semillas totalmente teñidas, por lo que se consideró que a partir de los 30 días la viabilidad de las semillas se reduce considerablemente. Para el caso de las almacenadas a 4 °C, el porcentaje de semillas parcialmente teñidas superó al valor de aquellas totalmente teñidas después de los 70 días (Figura 5).



**Figura 5.** Efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la viabilidad de semillas de ramón (*Brosimum alicastrum* Sw.).

A partir del día 77, las semillas almacenadas a diferentes temperaturas registraron

los porcentajes de tinción más bajos. Por la propiedad recalcitrante de las semillas de ramón, se esperaba un incremento gradual en los porcentajes de aquellas parcialmente teñidas y de semillas no teñidas para ambas temperaturas de almacenamiento a lo largo del periodo de evaluación.

El efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la viabilidad de las semillas recalcitrantes lo han descrito Magnitskiy y Plaza (2007), quienes postularon que la temperatura es el factor que incide más rápido en el incremento de la viabilidad de las semillas recalcitrantes. Al respecto, Valverde-Rodríguez *et al.* (2019) señalaron que la longevidad en la viabilidad de semillas recalcitrantes es mayor con temperaturas de almacenamiento inferiores a 10 °C. Sin embargo, dado el nulo manejo forestal aplicado a *B. alicastrum*, existe poca información sobre el efecto de la temperatura en la viabilidad de sus semillas (Vergara *et al.*, 2014).

Finalmente, la prueba de germinación de semillas almacenadas durante 30 días a 4 °C y 28 °C reveló 90 % de germinación en las almacenadas a 4 °C, y 60 % para las almacenadas a 28 °C (Cuadro 2). El sistema radicular de las semillas almacenadas a 4 °C fue mayor que el de las semillas a 28 °C (Figura 6). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Del Amo *et al.* (2002), quienes documentaron porcentajes de germinación superiores a 75 % para la especie. Aunque, a diferencia del estudio que aquí se describe (ambiente controlado), dicho trabajo se llevó a cabo en vivero, con semillas sin un periodo previo de almacenamiento.

**Cuadro 2.** Diferencias estadísticas del efecto de la temperatura a los 30 días de almacenamiento en la germinación de semillas de *Brosimum alicastrum* Sw.

Temperatura	Germinadas (%)	No germinadas (%)
4 °C	90 A	10 B
28 °C	60 B	40 A



Medias con la misma letra por columna no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).



**Figura 6.** Semillas de *Brosimum alicastrum* Sw. germinadas a los 30 días de almacenamiento bajo temperaturas controladas: 4 °C y 28 °C.

## Conclusiones

En el norte de Campeche existe variabilidad morfológica entre las semillas de *Brosimum alicastrum*, cuya viabilidad se puede prolongar hasta 70 días cuando la temperatura de almacenamiento es de 4 °C. A pesar de que la prueba de germinación estuvo condicionada con muestras de semillas con los valores más bajos de viabilidad, se logró un porcentaje de germinación de 90 % cuando la

temperatura de almacenamiento fue de 4 °C, la cual corresponde, probablemente, a la temperatura óptima para mantener la viabilidad de las semillas de esta especie forestal y garantizar altos porcentajes de germinación en la etapa de vivero. Sin embargo, se debe considerar que en este estudio el factor humedad no se analizó. La información generada es valiosa para el manejo forestal de *B. alicastrum* dada la alta demanda de sus ejemplares, semillas y frutos, y a su escaso manejo silvícola.

### **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (Conahcyt), por la cátedra otorgada al primer autor. A las autoridades del Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza por las facilidades brindadas para la defensa de tesis de la Licenciatura en Ingeniería Forestal del segundo autor. Este trabajo forma parte del proyecto "Relación de la morfometría con la viabilidad en las semillas, calidad de plántula en vivero y adaptación a una plantación de *Brosimum alicastrum* Swartz en la Península de Yucatán, México" con clave CONV\_RGAA\_2023\_06, financiado por el Colegio de Postgraduados en el marco de la convocatoria 2023-03 para apoyar proyectos de investigación e incidencia orientados a fortalecer las actividades de conservación, preservación y uso sustentable de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura (RGAA).

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribución por autor**

Alberto Santillán-Fernández: conceptualización y diseño del estudio, análisis estadísticos y redacción del manuscrito final; Sandra Sugey Castañeda-Alonso: toma de datos en campo y análisis de la información; Eugenio Carrillo-Ávila: análisis de la información y redacción del manuscrito original; Alfredo Esteban Tadeo-Noble: elaboración de mapas cartográficos y revisión de datos; Jaime Bautista-Ortega: análisis de la información y redacción del manuscrito original; Javier Enrique Vera López: análisis estadístico y redacción del escrito final; Fulgencio Alatorre-Cobos: revisión, seguimiento de resultados y redacción del manuscrito final.

### **Referencias**

- Berridge, M. V., P. M. Herst and A. S. Tan. 2005. Tetrazolium dyes as tools in cell biology: New insights into their cellular reduction. *Biotechnology Annual Review* 11:127-152. Doi: 10.1016/S1387-2656(05)11004-7.
- Bezerra P., M. A., A. Torquato T., E. H. Costa S., A. Ferreira A., S. Márcio A. and I. Rodrigues N. 2015. Postharvest conservation of structural long shelf life tomato fruits and with the mutant rin produced, in edaphoclimatic conditions of the southern state of Tocantins. *Ciência e Agrotecnologia* 39(3):225-231. Doi: 10.1590/S1413-70542015000300003.
- Brechú-Franco, A. E., A. F. Larqué-Saavedra, G. Laguna-Hernández, K. Pasillas-Rodríguez and S. Espinosa-Matías. 2021. Morphology, structure, and histochemistry of the inflorescences, fruit, and seed of the Ramón nut, *Brosimum alicastrum* Sw.

subsp. *alicastrum* CC Berg (*Moraceae*). Brazilian Journal of Botany 44(2):457-466. Doi: 10.1007/s40415-021-00708-w.

Calla T., C., J. C. Huaracho N. y D. Cruz C. 2019. Determinación de concentración de tetrazolio y tiempo de tinción adecuado para el análisis de viabilidad en semillas de café. *Apthapi* 5(3):1671-1682. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/39>. (17 de noviembre de 2022).

Campbell-Martínez, G. E., C. Steppe, S. B. Wilson, M. Thetford and D. Miller. 2022. Effect of temperature, light, and seed provenance on germination of *Paronychia erecta* (squareflower): a native plant with ornamental potential. *Native Plants Journal* 23(1):56-64. Doi: 10.3368/npj.23.1.56.

De Vitis, M., F. R. Hay, J. B. Dickie, C. Trivedi, J. Choi and R. Fiegenger. 2020. Seed storage: maintaining seed viability and vigor for restoration use. *Restoration Ecology* 28(S3):S249-S255. Doi: 10.1111/rec.13174.

Del Amo R., S., M. C. Vergara T., J. M. Ramos P. y C. Sainz C. 2002. Germinación y manejo de especies forestales tropicales. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México. 182 p. <https://www.uv.mx/personal/sdelamo/files/2012/11/Germinacion-y-manejo-de-especies.pdf>. (14 de noviembre de 2022).

Dorta H., L. M. 2020. Influencia del tiempo de almacenamiento sobre la calidad fisiológica de semillas de *Pinus caribaea Morelet* var. *caribaea* Barret y Golfari del Huerto clonal Malas Aguas. *CIFAM Ciencias Forestales y Ambientales* 5(1):9-20. <https://cifam.upr.edu.cu/index.php/cifam/article/view/138/pdf>. (28 de noviembre de 2022).

Espinosa-Grande, E., A. Santillán-Fernández, B. M. Chávez-Vergara, A. A. Vargas-Díaz, A. E. Tadeo-Noble and J. Bautista-Ortega. 2023. Space-time analysis of scientific research on *Brosimum alicastrum* Swartz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 76(1):10247-10261. Doi: 10.15446/rfnam.v76n1.101008.

- Espitia-Camacho, M., H. Araméndiz-Tatis y C. Cardona-Ayala. 2017. Características morfológicas, anatómicas y viabilidad de semillas de *Cedrela odorata* L. y *Cariniana pyriformis* Miers. *Agronomía Mesoamericana* 28(3):605-617. Doi: 10.15517/ma.v28i3.26287.
- Flores B., A., L. Ferrufino A. y V. López C. 2019. Viabilidad de semillas de guayacán (*Guaiaacum sanctum* L., Zygophyllaceae) posterior a dos tratamientos pregerminativos. *Portal de la Ciencia* (16):25-37. Doi: 10.5377/pc.v0i16.8093.
- Hernández-González, O., S. Vergara-Yoisura y A. Larqué Saavedra. 2015. Primeras etapas de crecimiento de *Brosimum alicastrum* Sw. en Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27):38-48. Doi: 10.29298/rmcf.v6i27.279.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2021. *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII*. Portal de Geoinformación, Sistema de Información sobre Biodiversidad. [http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis\\_root/usv/inegi/usv250s7gw](http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/usv/inegi/usv250s7gw). (18 de junio de 2022).
- Magnitskiy, S. V. y G. A. Plaza. 2007. Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agronomía Colombiana* 25(1):96-103. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v25n1/v25n1a11.pdf>. (29 de julio de 2022).
- Mancipe-Murillo, C., M. Calderón-Hernández y L. V. Pérez-Martínez. 2018. Evaluación de viabilidad de semillas de 17 especies tropicales altoandinas por la prueba de germinación y la prueba de tetrazolio. *Caldasia* 40(2):366-382. Doi: 10.15446/caldasia.v40n2.68251.
- Mejenes-López, S. M. A, G. R. Chi-Sáenz, C. Flota-Bañuelos, B. Candelaria-Martínez y R. A. Chiquini-Medina. 2019. Germinación y características de plántulas de Uspí (*Couepia polyandra*: Chrysobalanaceae) en condiciones de vivero rústico en Campeche, México. *Polibotánica* 48:111-120. Doi: 10.18387/polibotanica.48.9.
- Mendoza-Arroyo, G. E., A. Morón-Ríos, M. González-Espinosa, J. A. Alayón-Gamboa y P. A. Macario-Mendoza. 2020. La supervivencia y desarrollo de plántulas de

*Brosimum alicastrum* (Moraceae) y *Psidium sartorianum* (Myrtaceae) difieren en condiciones de inundación. *Acta Botánica Mexicana* 127:e1548. Doi: 10.21829/abm127.2020.1548.

Moo-Huchin, V. M., J. C. Canto-Pinto, L. F. Cuevas-Glory, E. Sauri-Duch, E. Pérez-Pacheco and D. Betancur-Ancona. 2019. Effect of extraction solvent on the phenolic compounds content and antioxidant activity of Ramon nut (*Brosimum alicastrum*). *Chemical Papers* 73(7):1647-1657. Doi: 10.1007/s11696-019-00716-x.

Morales O., E. R. y L. G. Herrera T. 2009. Ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) protocolo para su colecta, beneficio y almacenaje. Comisión Nacional Forestal (Conafor). Mérida, Yuc., México. 15 p. [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1301RAMON%20\(Brosimum%20alicastrum%20Swartz.\)%20Yucat%C3%A1n.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/1301RAMON%20(Brosimum%20alicastrum%20Swartz.)%20Yucat%C3%A1n.pdf). (13 de octubre de 2022).

Orantes-García, C., M. Á. Pérez-Ferrera, 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. <https://www.scielo.org.mx/pdf/polib/n36/n36a8.pdf>. (15 de octubre de 2022).

Park, K., S. Yeob L., B. Ji, B. K. Jang, ... and J. S. Cho. 2022. Seed longevity and germinability of *Pulsatilla dahurica* (Fisch. ex DC.) spreng after storage and accelerated aging test. *Horticultural Science and Technology* 40(2):147-156. Doi: 10.7235/HORT.20220014.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica. Coyoacán, D. F., México. 523 p.

Pérez M., C. 2018. Conservación de semillas de algodón nativo (*Gossypium* spp.): análisis físico, fisiológico y bioquímico. Tesis de Doctorado. Programa de Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Texcoco, Edo. Méx., México. 178 p.

- [http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4198/1/Perez\\_Mendoza\\_C\\_DC\\_RGP\\_Produccion\\_Semilla\\_2018.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/4198/1/Perez_Mendoza_C_DC_RGP_Produccion_Semilla_2018.pdf). (18 de abril de 2023).
- Ramírez-Sánchez, S., D. Ibáñez-Vázquez, M. Gutiérrez-Peña, M. S. Ortega-Fuentes, L. L. García-Ponce y A. Larqué-Saavedra. 2017. El ramón (*Brosimum alicastrum* Swartz) una alternativa para la seguridad alimentaria en México. *Agroproductividad* 10(1):80-83. <https://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/943>. (13 de diciembre de 2022).
- Rashidi, M., K. Seyfi and M. Gholami. 2007. Determination of kiwifruit volume using image processing. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 2(6):17-22. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=182e39bed65bf443a71bc25b74c9448645feee5e>. (17 de mayo de 2022).
- Rodríguez, I., G. Adam y J. M. Durán. 2008. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura Revista Agropecuaria* (912):836-842. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/37372/1/articulo%20definitivo%20agricultura%20nov.pdf>. (11 de septiembre de 2022).
- Rojas-Schroeder, J. A., L. Sarmiento-Franco, C. A. Sandoval-Castro y R. H. Santos-Ricalde. 2017. Utilización del follaje de ramón (*Brosimum alicastrum* Swarth) en la alimentación animal. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20:363-371. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93953814001.pdf>. (10 de agosto de 2022).
- Romero-Saritama, J. M. 2018. Conservación de semillas: Una alternativa inmediata para almacenar germoplasma forestal y recuperar los bosques secos amenazados del Ecuador. *Neotropical Biology and Conservation* 13(1):74-85. Doi: 10.4013/nbc.2018.131.09.
- Salazar M., S. A., J. D. Quintero C. and J. P. Rojas S. 2020. Optimization of the tetrazolium test in three species of orchids of the Andean forest. *Australian Journal of Crop Science* 14(5):822-829. Doi: 10.21475/ajcs.20.14.05.p2276.

Santillán-Fernández, A., A. Calva-Castillo, N. Vásquez-Bautista, Z. G. Huicab-Pech, A. Larqué-Saavedra y J. Bautista-Ortega. 2021b. Balance hidro-climático de *Brosimum alicastrum* Sw. y su variabilidad ante escenarios de cambio climático en la península de Yucatán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 44(1):41-49. Doi: 10.35196/rfm.2021.1.41.

Santillán-Fernández, A., O. V. Santiago-Santes, E. Espinosa-Grande, Z. G. Huicab-Pech, F. A. Larqué-Saavedra y J. Bautista-Ortega. 2021a. Propagación sexual y asexual de *Brosimum alicastrum* Swartz en Campeche, México. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 34(2):105-116. Doi: 10.17163/lgr.n34.2021.07.

Secretaría de Bienestar (SB). 2020. *Programa Sembrando Vida*. <https://www.gob.mx/bienestar/acciones-y-programas/programa-sembrando-vida>. (27 de septiembre de 2022).

Siqueira W., L., M. Moreno G., M. Almeida da S., A. C. Nogueira and D. Kratz. 2020. Adjustments in the tetrazolium test methodology for assessing the physiological quality of *Jatropha mollissima* (Euphorbiaceae). *Bosque* 41(1):77-82. Doi: 10.4067/S0717-92002020000100077.

Subiria-Cueto, R., A. Larqué-Saavedra, M. L. Reyes-Vega, L. A. de la Rosa, ... y N. R. Martínez-Ruíz. 2019. *Brosimum alicastrum* Sw. (Ramón): An alternative to improve the nutritional properties and functional potential of the wheat flour tortilla. *Foods* 8(12):613. Doi: 10.3390/foods8120613.

Vallejos, J., Y. Badilla, F. Picado y O. Murillo. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 34(1):105-119. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v34n1/a11v34n1.pdf>. (10 de junio de 2022).

Valverde-Rodríguez, K., C. O. Morales y E. G. García. 2019. Germinación de semillas de *Crescentia alata* (Bignoniaceae) en distintas condiciones de temperatura,



luminosidad y almacenamiento. *Revista de Biología Tropical* 67(2):S120-S131. Doi: 10.15517/rbt.v67i2supl.37211.

Venables, W. N. and D. M. Smith. 2023. *An Introduction to R. Notes on R: A Programming Environment for Data Analysis and Graphics*. Version 4.3.0. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, W, Austria. 105 p. <https://cran.r-project.org/doc/manuals/r-release/R-intro.pdf>. (22 de abril de 2023).

Vergara Y., S., C. I. Briceño S., J. V. Pérez B., O. Hernández G., L. G. Rosado L. y A. Larqué S. (Comps). 2014. *Publicaciones de Brosimum alicastrum*. Ramón, Oox, Ojoche, Capomo, Mojote. Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Mérida, Yuc., México. 102 p.



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.