



DOI: [10.29298/rmcf.v15i82.1409](https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i82.1409)

Artículo de investigación

## Variación física y parámetros germinativos de semillas de árboles superiores de *Cedrela odorata* L.

### Physical variation and germinative parameters of seeds from *Cedrela odorata* L. high quality trees

Jorge Reyes-Reyes<sup>1, 2\*</sup>, Juan Francisco Aguirre-Medina<sup>1</sup>, Agustín Merino-García<sup>2</sup>

Fecha de recepción/Reception date: 29 de septiembre de 2023.

Fecha de aceptación/Acceptance date: 29 de enero de 2024.

<sup>1</sup>Cuerpo Académico en Recursos Forestales, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

<sup>2</sup>Programa de Doctorado Internacional en Agricultura y Medioambiente para el Desarrollo, Escuela Politécnica Superior de Ingeniería, Universidad de Santiago de Compostela, España.

\*Autor para correspondencia; correo-e: [jorge.reyes@rai.usc.es](mailto:jorge.reyes@rai.usc.es)

\*Corresponding author; e-mail: [jorge.reyes@rai.usc.es](mailto:jorge.reyes@rai.usc.es)

#### Resumen

*Cedrela odorata* es una especie de importancia económica por la calidad de su madera; en la actualidad se planta mediante programas de reforestación y plantaciones forestales comerciales. Su propagación en los viveros forestales se realiza por semilla que se recolecta sin considerar su calidad física y procedencia. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la calidad física y parámetros germinativos de semillas de árboles superiores de *C. odorata*. Las semillas se recolectaron en 10 árboles superiores distribuidos en un gradiente altitudinal de 10 a 700 m en la región Soconusco, Chiapas, México. Después de 20 días de la recolecta se determinó la pureza, peso de 100 semillas, contenido de humedad y viabilidad de semillas, así como la capacidad germinativa, germinación media diaria, valor pico y valor germinativo. La calidad física y la viabilidad fue diferente ( $p \leq 0.0001$ ) entre los árboles. La capacidad germinativa promedio de las semillas fue de 65.8 %. La viabilidad, capacidad germinativa, germinación media diaria, valor pico y valor germinativo presentaron asociación positiva con la altitud; las semillas de los árboles ubicados en altitudes superiores a los 400 m presentaron mayores valores. Las semillas de los árboles superiores difieren en calidad física, viabilidad y parámetros germinativos, por lo que se establece la importancia del origen altitudinal en la recolecta de semillas.

**Palabras clave:** Análisis de semillas, capacidad germinativa, cedro rojo, prueba de Tetrazolio, recolecta de semillas, región Soconusco.

#### Abstract

*Cedrela odorata* is a species of economic importance due to the quality of its wood and is currently planted through reforestation programs and commercial forestry plantations. Propagation in forest nurseries is carried out by seed that is harvested regardless of its physical quality and origin. The objective of the present research was to assess the physical quality and germination parameters of seeds from *Cedrela odorata* plus trees. Seeds were collected from 10 trees distributed within an altitudinal gradient of 10 to 700 m in the Soconusco region of the state of Chiapas, Mexico. 20 days after collection, the purity, 100-seed weight, moisture content, and

viability of the seeds were determined, as were their germination capacity, average daily germination, peak value, and germination value. The seeds' physical quality and viability differed ( $p \leq 0.0001$ ) between trees. The average germination capacity of the seeds was 65.8 %. Viability, germination capacity, mean daily germination, peak value, and germination value were positively associated with the altitude; seeds from trees located at altitudes above 400 m recorded higher values. Seeds from higher trees differ in physical quality, viability, and germination parameters, a fact which establishes the importance of the altitudinal origin in seed collection.

**Key words:** Seed analysis, germination capacity, red cedar, Tetrazolium test, seed collection, *Soconusco* region.

## Introducción

El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) es originario de América Tropical (Pennington y Sarukhán, 2005) y se distribuye desde México, Centroamérica, las Antillas y el norte de Sudamérica hasta alcanzar Perú y Brasil (Patiño, 1997). En México habita en diversos ambientes con climas cálidos a subcálidos, en los trópicos húmedos y subhúmedos (Hernández-Ramos *et al.*, 2018; Sampayo-Maldonado *et al.*, 2019).

Su madera es de alto valor comercial y económico (Romo-Lozano *et al.*, 2017) debido a su calidad, belleza (Cruz-Jiménez *et al.*, 2017), durabilidad, color y aroma (Mader *et al.*, 2018). Se utiliza para fabricar muebles de lujo, instrumentos musicales y en la decoración de interiores (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2018), además provee servicios ambientales (Romo-Lozano *et al.*, 2017). Estas características inducen su aprovechamiento ilegal y, en consecuencia, sus poblaciones naturales se han fragmentado y reducido (Hernández-Ramos *et al.*, 2018). El valor de su madera contribuye en 0.2 % del Producto Interno Bruto Nacional del sector forestal (Conafor, 2020). En 2016, el precio estimado de la madera de los árboles en pie ascendió a USD \$288 328 788 (Romo-Lozano *et al.*, 2017).

El cedro rojo está catalogado como vulnerable por la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (Cites, 2023) y está en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

(Mark y Rivers, 2017). En México, está sujeta a protección especial de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (Semarnat, 2010) y a partir del 2011, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales estableció procedimientos para su aprovechamiento regulado (Ruiz-Jiménez *et al.*, 2018); asimismo, para establecer plantaciones con esta especie se debe registrar una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) sujeta a manejo intensivo (Secretaría de Gobernación, 2000).

Ante esta situación, en el estado de Chiapas se realizan programas de reforestación y se alienta el establecimiento de plantaciones forestales comerciales (Conafor, 2020). Lo anterior demanda grandes cantidades de semillas de calidad, sin embargo, en la región Soconusco no existen Unidades Productoras de Germoplasma Forestal certificadas de *C. odorata*. Además, los programas de reforestación y plantaciones forestales comerciales no cumplen con las consideraciones tecnológicas para identificar las procedencias de los sitios de recolecta, lo cual genera baja supervivencia y crecimiento lento de las plantaciones.

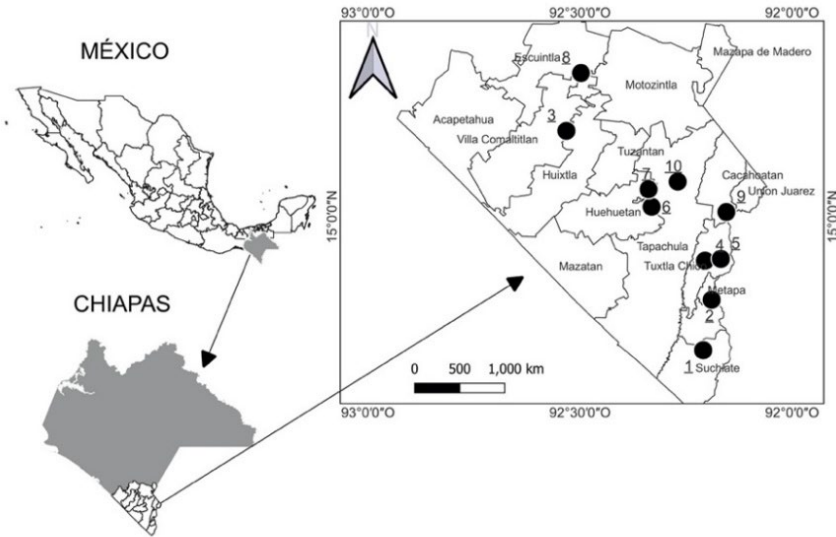
Las semillas de calidad garantizan una germinación rápida y homogénea (Márquez *et al.*, 2020), y para tal fin, es necesario seleccionar árboles semilleros de calidad superior para la recolecta de semillas. Las variaciones ambientales como el suelo, temperatura y precipitación en combinación con latitud y altitud influyen en la capacidad de germinación de las semillas (Viveros-Viveros *et al.*, 2017; Arce-Cordova *et al.*, 2018; Sampayo-Maldonado *et al.*, 2019). En *C. odorata*, Márquez *et al.* (2020) señalan que los sitios y progenies tienen influencia en el potencial productivo de las semillas en el estado de Veracruz, México; y Arce-Cordova *et al.* (2018) determinaron que la variación ambiental presenta efectos sobre la calidad de las semillas de *C. odorata* en dos regiones del estado de Chiapas. Asimismo, la altitud de las procedencias incide en los parámetros germinativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. en la Costa de Oaxaca, México (Viveros-Viveros *et al.*, 2017).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física, viabilidad y parámetros germinativos de semillas de árboles superiores de *C. odorata* en la región del Soconusco, Chiapas, México. Se espera que la calidad física y los parámetros germinativos de las semillas de los árboles sea diferente debido a que estos se ubican en diferentes altitudes, lo que puede tener relación con la calidad de las semillas.

## **Materiales y Métodos**

### **Selección de árboles superiores y recolecta de semillas**

Diez árboles de *C. odorata* se seleccionaron, los cuales tenían características fenotípicas deseables: fuste recto sin bifurcaciones, libre de plagas y enfermedades, y distribuidos en un gradiente altitudinal de 12 a 693 m en la región Soconusco, Chiapas, México (Figura 1). El método de selección fue mediante comparación de su superioridad en altura y diámetro en relación con los árboles vecinos en un radio inmediato de 10 a 15 m (Vallejos *et al.*, 2010).



**Figura 1.** Ubicación de los árboles superiores de *Cedrela odorata* L.

La recolecta de los frutos con semillas se realizó de diciembre de 2021 a enero de 2022, mediante el escalado de los árboles con el método descrito por Jara (1996). En el Cuadro 1 se presentan las características morfológicas de los árboles.

**Cuadro 1.** Descripción morfológica de los árboles y características ambientales para la recolecta de semillas.

Árbol	Diámetro normal (cm)	Altura (m)	Diámetro de copa (m)	Localidad	Municipio	Altitud (m)	Precipitación media anual (mm) <sup>1</sup>	Temperatura media anual (°C) <sup>2</sup>	Grupo de suelo <sup>3</sup>
1	63	22	9	Ejido Dorado Nuevo	Suchiate	12	1 500	28	Cambisol
2	50	21	12	Poblado El Arenal	Metapa de Domínguez	88	2 100	28	Cambisol
3	60	18	11	Ejido Nuevo Brasil	Villa Comaltitlán	119	2 500	28	Cambisol
4	48	20	8	Primera Sección de Medio Monte	Tuxtla Chico	190	2 700	27	Luvisol
5	52	21	12	Ejido Sur de Guillén	Tuxtla Chico	216	2 800	28	Luvisol
6	75	20	14	Ejido Belisario Domínguez	Huehuetán	295	2 700	28	Luvisol
7	65	16	9	Ejido Tepehuitz	Huehuetán	418	2 800	27	Acrisol
8	62	23	16	Comunidad Las Vegas	Escuintla	485	3 100	26	Luvisol
9	52	21	15	Ejido Rosario Ixtal	Cacahoatán	592	3 300	24	Cambisol
10	60	23	13	Fracción Santa Elena	Tapachula	693	3 500	21	Acrisol

Fuente: <sup>1,2</sup>SMN (2023); <sup>3</sup>INEGI (2007a, 2007b).

## Manejo de semilla

Después de la recolecta, los frutos con semillas se depositaron en costales con datos del árbol y fecha de recolecta para su transporte al Laboratorio de Semillas Forestales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas, en donde se extendieron sobre costales para secarse al sol e inducir la apertura de las drupas. Enseguida, se almacenaron en un cuarto frío a  $22\pm 3$  °C en bolsas de papel. El análisis de semillas se realizó 20 días posteriores a la recolecta, de acuerdo con la *International Seed Testing Association* (ISTA, 2016; Hurtado *et al.*, 2020).

## Análisis físico de semillas

**Pureza.** Para cada árbol se pesaron 100 semillas (g) con cinco repeticiones en un diseño completamente al azar; posteriormente, con la ayuda de una pinza se separaron para obtener su peso. El porcentaje de pureza se cuantificó con la siguiente Ecuación (ISTA, 2016):

$$\text{Pureza (\%)} = \frac{\text{Peso de semillas puras}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

**Peso de 100 semillas.** Para estimar el peso de 100 semillas, se pesaron ocho repeticiones por árbol, y posteriormente se calculó el número de semillas que contiene un kilogramo (Ecuación 2) (ISTA, 2016). Se utilizó un diseño completamente al azar.

$$\text{Peso de 1 000 semillas} = \sum \text{de los pesos de ocho repeticiones} \times 1.25 \quad (2)$$

**Contenido de humedad.** Por árbol se pesaron 100 semillas en fresco (g) con cinco repeticiones en un diseño completamente al azar. A continuación, las semillas se colocaron en papel estraza e introdujeron en una estufa de secado (marca *VWR International*<sup>®</sup> *Sheldon Manufacturing USA*, modelo 1390FM) a 75 °C hasta alcanzar un peso constante para obtener el peso seco (g), que se determinó mediante la diferencia de pesos con la siguiente Ecuación (ISTA, 2016):

$$\% \text{ de Contenido de humedad (CH)} = \frac{(\text{Peso con humedad} - \text{Peso seco})}{\text{Peso con humedad}} \times 100 \quad (3)$$

Para obtener los pesos en el análisis de pureza, peso de 100 semillas y contenido de humedad, se utilizó una balanza analítica *Denver Instruments*<sup>®</sup> modelo M310 USA con precisión de 1.0 mg.

## Viabilidad y parámetros germinativos

**Viabilidad de las semillas.** La prueba de viabilidad se hizo con un ensayo topográfico de Tetrazolio (2, 3, 5 cloruro trifenil tetrazolio; *Sigma-Aldrich*® T8877, USA) (Ortiz-Bibian *et al.*, 2019). Por árbol, cinco repeticiones de 50 semillas (total de 250 semillas por árbol) se depositaron en agua por 24 h en un diseño completamente al azar. A cada semilla se le efectuó un pequeño corte en el extremo contrario al micrópilo para facilitar la absorción del reactivo. Posteriormente, las 50 semillas se colocaron en cajas de *Petri* (4.5 cm de diámetro y 1.5 cm de profundidad) y se agregaron 10 gotas de Tetrazolio diluido al 1 %. Después de tratadas las semillas, se llevaron a incubación por 24 h. La tinción de color rojo indicó que el tejido estaba vivo (ISTA, 2016; Ortiz-Bibian *et al.*, 2019). La viabilidad (%) por cada repetición se calculó con la siguiente Ecuación:

$$Viabilidad (\%) = \frac{\text{Número de semillas teñidas}}{\text{Número total de semilla}} \times 100 \quad (4)$$

**Parámetros germinativos.** Por árbol se obtuvieron cinco repeticiones de 100 semillas (total de 500 semillas por individuo). Se germinaron en papel húmedo con agua purificada mediante la prueba del método de germinación en papel o prueba del taco (ISTA, 2016) en charolas de aluminio de 15×12×4.6 cm a temperatura ambiente (28±2 °C) con un diseño completamente al azar. Se consideró germinación cuando emergió la radícula y alcanzó al menos 2 mm (Trindade-Lessa *et al.*, 2015).

Los parámetros germinativos que se evaluaron fueron: capacidad germinativa, germinación media diaria, valor germinativo y valor pico. La capacidad germinativa se consideró como el porcentaje de semillas que germinaron hasta el final del



periodo de prueba [(Número de semillas germinadas/Número total de semillas)×100]. La germinación media diaria resultó de dividir los porcentajes de germinación acumulados por día entre el número de días requeridos para la germinación del total de semillas (ISTA, 2016); y el valor pico fue la máxima germinación acumulada (Viveros *et al.*, 2015). Mientras que el valor germinativo (VG) se estimó con dos ecuaciones: VG1 (Czabator, 1962) y VG2 (Djavanshir y Pourbeik, 1976).

$$VG1 = \text{Germinación media diaria} \times \text{el valor pico} \quad (5)$$

$$VG2 = \left( \frac{\sum DGS}{N} \right) (GP) (10) \quad (6)$$

Donde:

*DGS* = Velocidad de germinación diaria

*N* = Frecuencia del número de *DGS* que se calcularon durante la prueba

*GP* = Porcentaje de germinación al final de la prueba

*10* = Constante

**Análisis estadístico.** El supuesto de normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de *Shapiro-Wilk* (Rahman y Govindarajulu, 1997) y la homogeneidad de varianzas con *Levene* (Bisquerra, 1987). Todas las variables no cumplieron con ambos supuestos estadísticos ( $p \leq 0.0175$ ), excepto el peso de 100 semillas ( $p > 0.0690$ ) y el valor pico ( $p > 0.2847$ ) que solamente tuvieron varianzas homogéneas, pero no cumplieron con el supuesto de normalidad. Para determinar las diferencias entre árboles en la calidad física, viabilidad y parámetros

germinativos de semillas se realizaron pruebas no paramétricas y comparaciones múltiples de rangos de RT1 (Conover, 2012). Se aplicó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij} \quad (7)$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Valor observado de la  $ij$ -ésima variable

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo árbol

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental

Para determinar la asociación entre la calidad física, viabilidad y los parámetros germinativos con la altitud se obtuvieron los coeficientes de correlación de *Spearman* (adecuado para variables que no cumplen con los supuestos estadísticos) mediante el procedimiento *CORR* en el programa *SAS*® versión 9.3 (SAS Institute Inc., 2011).

## **Resultados y Discusión**

### **Análisis físico de semillas**

El porcentaje de pureza de semillas de *C. odorata* presentó diferencias estadísticas entre los árboles ( $p < 0.0001$ ) con valores superiores a 99.00 % (Cuadro 2). Los

árboles 8, 9 y 10 que se ubican a más de 480 msnm registraron los mejores valores de pureza. El menor porcentaje de pureza se obtuvo en las semillas recolectadas en los árboles 4, 5 y 6 que se ubican en una zona altitudinal de 150 a 300 m. Las impurezas fueron restos de alas de la semilla y semillas vanas, mismas que se consideran de bajo impacto en la recolecta. Resultados similares de pureza citan Arce-Cordova *et al.* (2018) con valores entre 80-90 % de pureza en 90 % de 60 árboles de *C. odorata* procedentes de diferentes ambientes de Chiapas. Hurtado *et al.* (2020) indican que la pureza de un lote de semillas muestra la presencia de daño mecánico o infestación patogénica.

**Cuadro 2.** Valores promedios ( $\pm$ error estándar) de las comparaciones múltiples de rangos del análisis físico de semillas de *Cedrela odorata* L.

Árbol	Pureza (%)	Peso de 100 semillas (g)	Número de semillas kg <sup>-1</sup>	Contenido de humedad (%)
1	99.37 $\pm$ 0.00 c	1.95 $\pm$ 0.01 c	49 302.6 $\pm$ 590.94 d	6.52 $\pm$ 0.12 b
2	99.37 $\pm$ 0.00 c	1.93 $\pm$ 0.00 cd	50 842.9 $\pm$ 462.13 c	7.87 $\pm$ 0.61 a
3	99.28 $\pm$ 0.00 d	1.71 $\pm$ 0.01 e	56 376.7 $\pm$ 1 003.82 b	6.97 $\pm$ 0.29 ab
4	99.18 $\pm$ 0.00 ef	1.48 $\pm$ 0.01 f	66 489.7 $\pm$ 754.42 a	7.73 $\pm$ 0.26 a
5	99.19 $\pm$ 0.00 e	1.51 $\pm$ 0.01 f	65 572.8 $\pm$ 893.07 a	8.07 $\pm$ 0.83 a
6	99.16 $\pm$ 0.00 f	1.45 $\pm$ 0.01 g	66 551.1 $\pm$ 613.22 a	6.58 $\pm$ 0.19 b
7	99.36 $\pm$ 0.01 c	1.91 $\pm$ 0.03 d	51 170.7 $\pm$ 781.22 c	5.66 $\pm$ 0.13 c
8	99.48 $\pm$ 0.00 a	2.35 $\pm$ 0.01 a	41 952.0 $\pm$ 391.31 f	6.46 $\pm$ 0.24 b
9	99.47 $\pm$ 0.00 b	2.31 $\pm$ 0.01 b	42 855.9 $\pm$ 357.95 e	6.63 $\pm$ 0.50 b
10	99.47 $\pm$ 0.00 ab	2.33 $\pm$ 0.00 b	42 465.8 $\pm$ 256.85 ef	5.75 $\pm$ 1.07 b

Letras diferentes en cada columna indican diferencias con  $p \leq 0.05$ .

El peso de 100 semillas presentó diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre los árboles superiores. Las semillas de los árboles 8, 9 y 10 que se ubican en altitudes superiores a 450 m tuvieron mayor peso y varió entre 2.31 a 2.35 g. Por el contrario, las semillas de menor peso se recolectaron en los árboles 4, 5 y 6 que se

localizan entre 150 a 300 m de altitud. Lo anterior representó 36.4 % más peso de semillas de los árboles 8, 9 y 10 en comparación a las recolectas de semillas de los árboles 4, 5 y 6, y 20.1 % con relación a los árboles 1, 2 y 3 que se ubican en una zona altitudinal de 10 a 130 m (Cuadro 2). Al respecto, Arce-Cordova *et al.* (2018) citan valores ligeramente superiores (1.6 a 2.5 g) en recolectas de *C. odorata* en diferentes ambientes de Chiapas; sin embargo, Espitia-Camacho *et al.* (2017) señalan valores inferiores de peso de semilla (1.10 g) para la misma especie en Córdoba, Colombia. En este estudio, las semillas recolectas en árboles por arriba de los 400 m (Cuadro 1) crecieron en suelos cambisoles y luvisoles de origen volcánico y ricos en materia orgánica (Conabio, 2015), lo cual pudo influir en el peso de las semillas. Lauder *et al.* (2019) documentan que los sitios ricos en nutrientes benefician la producción de semilla.

El peso de la semilla es un atributo morfológico primordial en cualquier especie, esto debido a la capacidad para producir plantas con mayor vigor para establecerse en diversas condiciones bióticas y abióticas (Rodríguez, 2008).

Los árboles 1 y 2, ubicados en sitios donde predomina baja precipitación media anual (Cuadro 1), presentaron valores altos de peso de semillas. Lo anterior se atribuye a su asociación con cultivos anuales a los que se les aplican riegos en la temporada de estiaje. Al respecto, Viveros-Viveros *et al.* (2017) indican que, en especies tropicales, la temperatura deja de ser relevante y adquiere importancia la precipitación.

El número de semillas por kg fue de entre 41 952 y 65 572 semillas. El mayor número se presentó en los árboles 4, 5 y 6, lo que indica semillas de menor tamaño. La diferencia entre el número de semillas por kg de los árboles 4, 5 y 6 con los árboles 1, 2 y 3 fue de 14 030 semillas, y con relación a las semillas de los árboles 8, 9 y 10 fue de 23 779. Resultados contrastantes señalan Arce-Cordova *et al.* (2018) para 30 sitios, de los cuales 25 presentaron un promedio de 43 946 semillas y en cinco 78 846 semillas kg<sup>-1</sup>, en altitudes de 500 a 1 000 m. En cambio,

el número de semillas difiere a los registrados por Espitia-Camacho *et al.* (2017), quienes consignan 94 965 semillas kg<sup>-1</sup> en lotes comerciales a una altitud de 13 y 50 m. La variación en el número de semillas puede estar influenciada por la constitución genética de los árboles y por la disponibilidad de nutrientes (Pramono *et al.*, 2019). Ortiz-Bibian *et al.* (2019) consignan la importancia de la capacidad germinativa de las poblaciones en cada zona altitudinal en comparación con el número de semillas por kg.

El contenido de humedad de la semilla presentó diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) entre los árboles superiores (Cuadro 3). Los valores fluctuaron de 5.66 a 8.07 %. Las semillas presentaron mayor contenido de humedad en los árboles 5 (8.07 %), 2 (7.87 %) y 4 (7.73 %). El árbol 7 presentó el menor contenido de humedad de semillas (5.66 %). Los resultados fueron más altos a los registrados por Arce-Cordova *et al.* (2018), quienes señalan valores de 6.5 y 7.6 % de contenido de humedad de semillas de *C. odorata* en dos regiones del estado de Chiapas.

**Cuadro 3.** Valores promedios ( $\pm$ error estándar) de las comparaciones múltiples de rangos de parámetros germinativos de semillas de *Cedrela odorata* L.

Árbol	Viabilidad con Tetrazolio (%)	% de germinación	Germinación media diaria (%)	Valor pico	Valor germinativo <sup>1</sup>	Valor germinativo <sup>2</sup>
1	61.40±0.00 d	51.60±0.02 de	10.32±0.43 de	28.00±2.78 e	291.36±36.91 e	10.71±0.88 de
2	67.80±0.03 b	46.60±0.01 ef	9.32±0.29 ef	41.60±1.60 d	388.84±24.73 d	8.71±0.54 df
3	61.60±0.00 cd	40.00±0.01 g	8.00±0.20 g	23.00±1.83 e	184.96±18.36 fg	6.41±0.32 g
4	69.60±0.00 b	36.40±0.03 g	7.28±0.63 g	19.20±1.51 f	141.76±20.43 g	5.42±0.94 g
5	66.60±0.02 bc	44.80±0.02 f	8.96±0.50 ef	25.20±1.63 e	228.28±26.68 ef	8.11±0.87 f
6	70.00±0.01 b	57.40±0.03 d	11.48±0.75 d	33.80±1.91 d	392.56±45.16 d	13.36±1.63 d
7	94.00±0.01 a	90.60±0.01 c	18.12±0.37 c	52.40±2.70 c	952.08±65.34 c	32.88±1.36 c
8	92.40±0.00 a	98.00±0.00 a	19.60±0.12 a	60.40±0.90 a	1 183.88±20.02 a	38.42±0.47 a
9	93.60±0.00 a	97.40±0.00 ab	19.48±0.13 ab	59.20±2.24 ab	1 153.48±46.71 ab	37.95±0.52 ab
10	91.60±0.00 a	95.20±0.00 bc	19.04±0.17 bc	56.20±1.51 bc	1 069.92±28.80 bc	36.26±0.68 bc

Letras diferentes en cada columna indican diferencias con  $p \leq 0.05$ . Fuente:

<sup>1</sup>Czabator (1962); <sup>2</sup>Djavanshir y Pourbeik (1976).

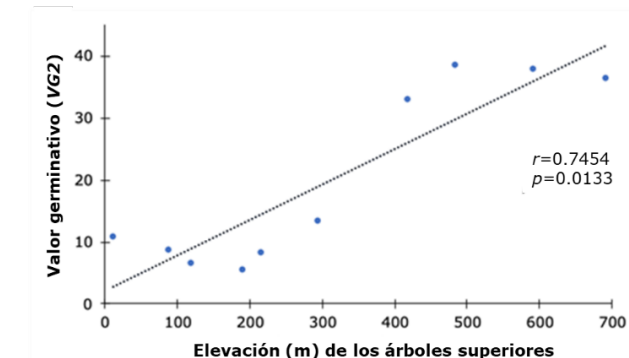
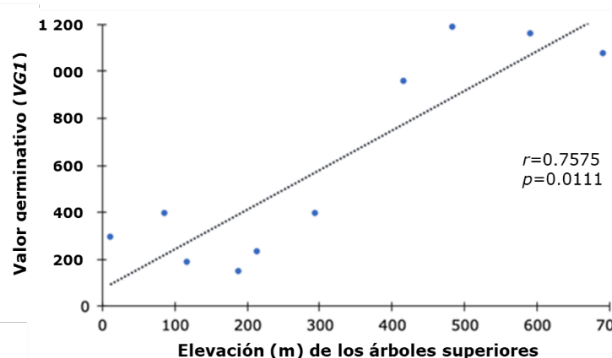
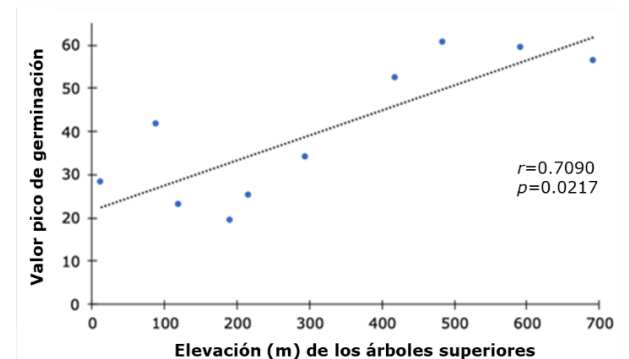
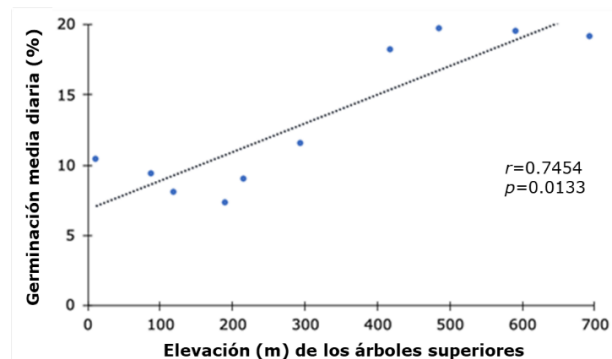
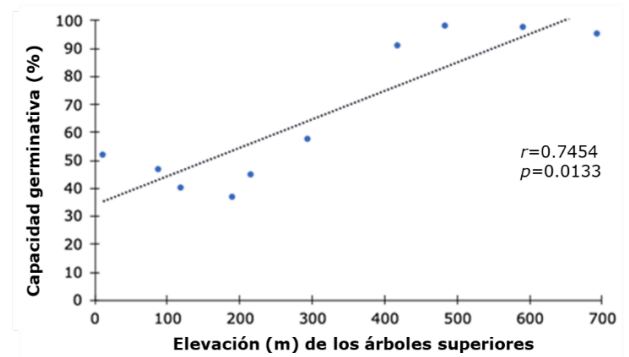
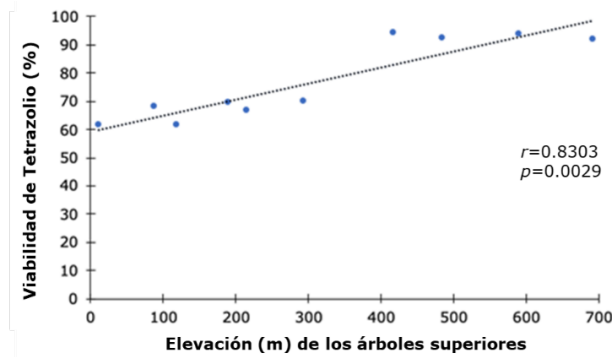
## Viabilidad y parámetros germinativos

El porcentaje de germinación de semillas presentó diferencias ( $p < 0.0001$ ) entre los árboles superiores (Cuadro 3). Los individuos 7, 8, 9 y 10 que se ubican en altitudes superiores a 400 m, presentaron valores entre 90.6 y 98.0 %, y en la prueba de viabilidad con Tetrazolio tuvieron una variación de 91.6 a 93.6 %. En ambas pruebas, las semillas con mayor peso registraron valores de germinación más altos. Al respecto, Arce-Cordova *et al.* (2018) observaron que la coloración rojiza representó 50 % del total de sus semillas. Los resultados del presente estudio superan a los de Andrés *et al.* (2011) quienes, en la región tropical seca de Nicaragua, obtuvieron valores de 55 a 66 % de germinación en semillas de *C. odorata* almacenadas en condiciones ambientales (25-30 °C) y en frío (5 °C). Conabio (2010) indica que las semillas de *C. odorata* presentan, en promedio, una germinación de 50 a 85 %. La variación que aquí se documenta pudiera ser de origen genético, además de su procedencia altitudinal, grupo de suelo y precipitación de la ubicación de los árboles donde se realizó la recolecta (Viveros-Viveros *et al.*, 2017; Márquez *et al.*, 2020).

Mendizábal-Hernández *et al.* (2016) mencionan que comparar la germinación de semillas de diferentes progenitores, siempre producirá valores diferenciales relacionados con la expresión de la variabilidad de los progenitores. La baja tasa de germinación de las semillas en los árboles 3 y 4 que se ubican en altitudes menores a 200 m, es atribuible a temperaturas más altas y menor precipitación durante el periodo de estiaje, que coincide con la época de floración, así como a los disturbios de su hábitat por actividades antropogénicas y al aumento de endogamia por la presencia de menor número de árboles (Juárez-Agis *et al.*, 2006). En altitudes bajas de la región Soconusco predominan los suelos cambisoles, acrisoles y nitosoles (Conabio, 2015) que pudiesen afectar la producción de semillas. Al respecto, Andrade-Gómez *et al.* (2021) señalan que algunas variables ambientales,

particularmente la precipitación, influyen en los procesos reproductivos que definen la formación y producción de semilla.

En general, la prueba de viabilidad con Tetrazolio ( $r=0.8303$ ,  $p=0.0029$ ) y la germinación a través del método en papel ( $r=0.7454$ ,  $p=0.0133$ ) evidenciaron un pronunciado patrón altitudinal (Figura 2). Los árboles 7, 8, 9 y 10, localizados por arriba de los 400 m de altitud, producen semillas con mayor porcentaje de germinación en comparación con el resto de los árboles en los cuales se realizó la recolecta.



Las líneas de puntos representan la línea de regresión lineal.

**Figura 2.** Asociación entre la viabilidad, capacidad germinativa, germinación media diaria, valor pico y valor germinativo con la elevación de los árboles superiores de *Cedrela odorata* L.

En cuanto a los parámetros germinativos, existieron diferencias estadísticas entre los árboles evaluados ( $p < 0.0001$ ), lo que coincide con trabajos previos en *C. odorata* (Andrés *et al.*, 2011; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2016; Arce-Cordova *et al.*, 2018) y *Enterolobium cyclocarpum* (Viveros-Viveros *et al.*, 2017).

El porcentaje promedio de la capacidad germinativa de las semillas fue de 65.8 %. Los árboles 7, 8, 9 y 10, ubicados en altitudes superiores a los 400 m, presentaron los mayores valores de capacidad germinativa (Figura 2). Por el contrario, los individuos de altitudes inferiores a los 300 m exhibieron menor valor. Lo anterior se atribuye a las condiciones ambientales prevalecientes en donde se realizó la recolecta. La germinación media diaria siguió la misma tendencia, las semillas de los árboles situados en altitudes superiores a los 400 m tuvieron valores de 18.02 a 19.60 %, y disminuyeron en las que se recolectaron en altitudes menores, cuya germinación fue 32.6 % menor respecto del promedio general (Cuadro 3, Figura 2).

En lo referente al valor pico de la germinación, las semillas de los árboles 7, 8, 9 y 10 presentaron el promedio más alto con 57.05, mientras que al árbol 4 le correspondió el menor valor con 19.20 (Cuadro 3). El valor pico presentó asociación positiva ( $r = 0.7090$ ,  $p = 0.0217$ ) con la ubicación de los árboles.

El valor germinativo de las semillas de los árboles 7, 8, 9 y 10, de acuerdo a la Ecuación de Czabator (1962), fue en promedio de 1 089.8, mientras que el árbol 4 ubicado a 190 m de altitud presentó el valor inferior (Cuadro 3). En cuanto al valor germinativo con la Ecuación propuesta por Djavanshir y Pourbeik (1976) siguió la misma tendencia entre los árboles, es decir, valores altos a mayor



altitud y disminución a menor altitud (Figura 2). Lo anterior indicó una asociación entre los valores germinativos y la ubicación de los árboles ( $r=0.7575$ ,  $p=0.0111$  y  $r=0.7454$ ,  $p=0.0133$ ) (Figura 2).

Las dos estimaciones del valor germinativo indicaron que las semillas de los árboles localizados en altitudes superiores a 400 m presentaron mejor calidad fisiológica, la cual se relaciona con una mayor capacidad de germinación en comparación con las semillas de los árboles ubicados en altitudes bajas.

## **Conclusiones**

Las semillas de los árboles superiores de *Cedrela odorata* en la región Soconusco difieren en calidad física, viabilidad y parámetros germinativos; las variables más contrastantes son pureza, peso de 100 semillas, número de semillas por kilogramo y contenido de humedad.

La germinación, viabilidad y los parámetros germinativos presentan una asociación positiva con la altitud, ya que las semillas recolectadas en altitudes superiores a 400 m tienen mejor calidad fisiológica y mayor capacidad germinativa.

## **Agradecimientos**

A Axel Antonio Ruíz Ramírez y Jorge Luis Salvador Castillo por el apoyo brindado en el Laboratorio de Semillas Forestales de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Al personal técnico del Despacho de Consultoría

Forestal y Ambiental, S. C. (Decofores) por el apoyo en la selección de los árboles superiores y recolecta de semillas.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### **Contribuciones por autor**

Jorge Reyes-Reyes: planteamiento, registro de datos y redacción del manuscrito; Juan Francisco Aguirre-Medina: análisis de los datos, elaboración de gráficas y corrección del manuscrito; Agustín Merino-García: seguimiento de los resultados, revisión y corrección del manuscrito.

### **Referencias**

- Andrade-Gómez, K. A., C. Ramírez-Herrera, J. López-Upton, M. Jiménez-Casas y R. Lobato-Ortiz. 2021. Indicadores reproductivos en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. Revista Fitotecnia Mexicana 44(2):183-190. Doi: 10.35196/rfm.2021.2.183.
- Andrés, P., C. Salgado and J. M. Espelta. 2011. Optimizing nursery and plantation methods to grow *Cedrela odorata* seedlings in tropical dry agroecosystems. Agroforestry Systems 83:225-234. Doi: 10.1007/s10457-011-9404-5.
- Arce-Cordova, D., S. Espinosa-Zaragoza, J. F. Aguirre-Medina, A. Wong-Villarreal, C. H. Avendaño-Arrazate y J. Cadena-Iñiguez. 2018. Características morfológicas y germinación de semillas de *Cedrela odorata* L.

Agroproductividad 11(3):82-89. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/221/164>. (9 de diciembre de 2022).

Bisquerra, R. 1987. La prueba de *Levene* para la homogeneidad de varianza en el BMDP. Revista Investigación Educativa 5(9):79-85. [https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/186760/Prueba\\_Levene\\_Homogeneidad\\_Varianzas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://redined.educacion.gob.es/xmlui/bitstream/handle/11162/186760/Prueba_Levene_Homogeneidad_Varianzas.pdf?sequence=1&isAllowed=y). (22 de noviembre de 2023).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2020. El sector forestal mexicano en cifras 2019. Bosques para el bienestar social y climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Conafor. Zapopan, Jalisco, México. 96 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/1/7749El%20Sector%20Forestal%20Mexicano%20en%20Cifras%202019.pdf>. (24 de febrero de 2023).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2010. *Cedrela odorata*. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info\\_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/36-melia2m.pdf). (14 de marzo de 2023).

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). 2015. *Soconusco*. [http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp\\_032.html](http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_032.html). (27 de junio de 2023).

Conover, W. J. 2012. The rank transformation-an easy and intuitive way to connect many nonparametric methods to their parametric counterparts for seamless teaching introductory statistics courses. Computational Statistics 4(5):432-438. Doi: 10.1002/wics.1216.

Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (Cites). 2023. Apéndices I, II y III (25 de noviembre de 2023). Cites. <https://cites.org/sites/default/files/esp/app/2023/S-Appendices-2023-11-25.pdf>. (23 de noviembre de 2023).

- Cruz-Jiménez, H., J. Márquez-Ramírez, J. Alba-Landa, L. del C. Mendizábal-Hernández, E. O. Ramírez-García y R. Lavallo-Mortera. 2017. Variación en la producción de semillas de *Cedrela odorata* L. en dos pruebas de procedencias/progenie. *Foresta Veracruzana* 19(2):49-56. <https://www.redalyc.org/journal/497/49753656010/html/>. (6 de enero de 2023).
- Czabator, F. J. 1962. Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8(4):386-396. Doi: 10.1093/forestscience/8.4.386.
- Djavanshir, K. and H. Pourbeik. 1976. Germination value -A new formula. *Silvae Genetica* 25(2):79-83. [https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae\\_Genetica/1976/Vol.\\_25\\_Hef t\\_2/25\\_2\\_79.pdf](https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/1976/Vol._25_Hef t_2/25_2_79.pdf). (20 de febrero de 2022).
- Espitia-Camacho, M., H. Araméndiz-Tatis y C. Cardona-Ayala. 2017. Características morfométricas, 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.
- Hernández R., J., R. Reynoso S., A. Hernández R., X. García C., ... y D. Sumano L. 2018. Distribución histórica, actual y futura de *Cedrela odorata* en México. *Acta Botánica Mexicana* 124:117-134. Doi: 10.21829/abm124.2018.1305.
- Hurtado T., L., N. Urgiles G., V. H. Eras G., J. Muñoz C., M. Encalada C. y L. Quichimbo S. 2020. Aplicabilidad de las Normas ISTA: Análisis de la calidad de semillas en especies forestales en el Sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 10(2):44-57. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/825>. (28 de enero de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007a. Conjunto de datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Huixtla (D 15-2). <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235062>. (26 de noviembre de 2023).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2007b. Conjunto de datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional

- Tapachula (D 15-5).  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235086>. (26 de noviembre de 2023).
- International Seeds Testing Association (ISTA). 2016. Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas 2016. Introducción a las Reglas ISTA Capítulos 1-7,9. ISTA. Bassersdorf, ZH, Suiza. 192 p.  
[https://vri.umayor.cl/images/ISTA\\_Rules\\_2016\\_Spanish.pdf](https://vri.umayor.cl/images/ISTA_Rules_2016_Spanish.pdf). (7 de marzo de 2022).
- Jara N., L. F. 1996. Sistemas de escalamiento de árboles forestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Turrialba, C, Costa Rica. 80 p.  
[https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4003/Sistema\\_de\\_escalamiento\\_de\\_arboles\\_forestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y-](https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/4003/Sistema_de_escalamiento_de_arboles_forestales.pdf?sequence=1&isAllowed=y-). (30 de noviembre de 2023).
- Juárez-Agis, A., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández y C. Sáenz-Romero. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Agrociencia* 40(6):783-792.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30240610>. (8 de enero de 2023).
- Lauder, J. D., E. V. Moran and S. C. Hart. 2019. Fight or flight? Potential tradeoffs between drought defense and reproduction in conifers. *Tree Physiology* 39(7):1071-1085. Doi: 10.1093/treephys/tpz031.
- Mader, M., B. Pakull, C. Blanc-Jolivet, M. Paulini-Drewes, ... and B. Kersten. 2018. Complete chloroplast genome sequences of four Meliaceae species and comparative analyses. *International Journal of Molecular Science* 19(3):701. Doi: 10.3390/ijms19030701.
- Mark, J. and M. C. Rivers. 2017. Spanish Cedar. *Cedrela odorata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2017:e.T32292A68080590.  
<https://www.iucnredlist.org/species/32292/68080590>. (19 de diciembre de 2023).
- Márquez R., J., H. Cruz-Jiménez, J Alba-Landa, L. del C. Mendizábal-Hernández y E. O. Ramírez-García. 2020. *Cedrela odorata* L. Variación en la producción de semillas

- en dos sitios de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 22(1):25-30. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49765033008>. (18 de febrero de 2023).
- Mendizábal-Hernández, L. del C., J. Alba-Landa, M. C. Rodríguez-Juárez, E. O. Ramírez-García, J. Márquez R. y H. Cruz-Jiménez. 2016. Germinación de familias selectas de *Cedrela odorata* L. *Foresta Veracruzana* 18(1):55-62. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49746888006.pdf>. (20 de marzo de 2023).
- Ortiz-Bibian, M. A., D. Castellanos-Acuña, M. Gómez-Romero, R. Lindig-Cisneros, M. Á. Silva-Farías y C. Sáenz-Romero. 2019. Variación entre poblaciones de *Abies religiosa* (H. B. K.) Schl. et Cham a lo largo de un gradiente altitudinal. I. Capacidad germinativa de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana* 42(3):301-308. Doi: 10.35196/rfm.2019.3.301.
- Patiño, V. F. 1997. *Swietenia y Cedrela en los Neotropicos*. <https://www.fao.org/3/AD111S/AD111S02.htm#ch2.2.1>. (18 de diciembre de 2023).
- Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México: Manual para la identificación de las principales especies. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. Coyoacán, D. F., México. 523 p.
- Pramono, A. A., D. Syamsuwida and K. P. Putri. 2019. Variation of seed sizes and its effect on germination and seedling growth of mahogany (*Swietenia macrophylla*). *Biodiversitas* 20(9):2576-2582. Doi: 10.13057/biodiv/d200920.
- Rahman, M. M. and Z. Govindarajulu. 1997. A modification of the test of Shapiro and Wilk for normality. *Journal of Applied Statistics* 24(2):219-236. Doi: 10.1080/02664769723828.
- Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa. Coyoacán, D. F., México. 156 p.
- Romo-Lozano, J. L., J. J. Vargas-Hernández, J. López-Upton y M. L. Ávila A. 2017. Estimación del valor financiero de las existencias maderables de cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) en México. *Madera y Bosques* 23(1):111-120. Doi: 10.21829/myb.2017.231473.

- Ruiz-Jiménez, C. A., H. M. De los Santos-Posadas, J. F. Parraguirre-Lezama y F. D. Saavedra-Millán. 2018. Evaluación de la categoría de riesgo de extinción del cedro rojo (*Cedrela odorata*) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 89(3):938-949. Doi: 10.22201/ib.20078706e.2018.3.2192.
- Sampayo-Maldonado, S., C. A. Ordoñez-Salanueva, E. Mattana, T. Ulian, ... and C. M. Flores-Ortíz. 2019. Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. *Forests* 10(10):841. Doi: 10.3390/f10100841.
- SAS Institute Inc. 2011. Base SAS® 9.3 Procedures Guide: Statistical Procedures. SAS Institute Inc. Cary, NC, United States of America. 528 p. <https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/base/procstat93m1.pdf>. (12 de marzo de 2023).
- Secretaría de Gobernación. 2000. Ley General de Vida Silvestre (LGVS). Diario Oficial de la Federación. 3 de julio del 2000. Última Reforma el 20 de mayo de 2021. México, D. F., México. 76 p. [https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146\\_200521.pdf](https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/146_200521.pdf). (28 de noviembre de 2023).
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2010. NORMA Oficial Mexicana NOM-059-Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. 30 de diciembre de 2010. México, D. F., México. 78 p. [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf). (11 de marzo de 2023).
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). 2023. Normales Climatológica por Estado: Chiapas. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=chis>. (24 de noviembre de 2023).
- Trindade-Lessa, B. F., J. P. Nobre-de Almeida, C. Lobo-Pinheiro, F. Melo-Gomes y S. Medeiros-Filhos. 2015. Germinación y crecimiento de plántulas of *Entelobium contortisiliquum* en función del peso de la semilla y las condiciones de temperatura

y luz. Agrocienca 49(3):315-327. <https://agrocienca-colpos.org/index.php/agrocienca/article/view/1149/1149>. (2 de febrero de 2023).

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>. (28 de noviembre de 2023).

Viveros V., H., J. D. Hernández P., M. V. Velasco G., R. Robles S., ... y M. L. Hernández H. 2015. Análisis de semilla, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(30):52-65. Doi: 10.29298/rmcf.v6i30.207.

Viveros-Viveros, H., K. Quino-Pascual, M. V. Velasco-García, G. Sánchez-Viveros y E. Velasco-Bautista. 2017. Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque* 38(2):317-326. Doi: 10.4067/S0717-92002017000200009.



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.