



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE SERVICIO SOCIAL
POR INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Temperaturas cardinales en la germinación de *Gmelina arborea* y *Enterolobium
cyclocarpum*

QUE PRESENTA EL ALUMNO

Buenaventura Francisco Jesús Antonio

Matrícula:

2183025678

Asesores:

Asesora interna:

M. en C. Dorys Primavera Orea Coria

No. Económico. 16435

Departamento de Producción Agrícola y Animal,
DCBS, UAM-X

Asesor externo:

Dr. Andrés Flores García

Cédula Profesional. 2954764

Departamento de Plantaciones Forestales,
CENID-COMEF, INIFAP

Ciudad de México

Abril de 2025

Índice

Resumen	2
Introducción	2
Planteamiento del problema y justificación	3
Objetivos	4
Objetivo general.....	4
Objetivos particulares.....	4
Antecedentes	4
Materiales y métodos	6
Resultados	9
Discusión	17
Conclusiones	19
Referencias	20

Resumen

Los árboles de parota (*Enterolobium cyclocarpum*) y melina (*Gmelina arborea*) son especies maderables de importancia económica para la producción forestal en México, ya que se encuentran distribuidas en un amplio rango latitudinal y altitudinal a lo largo del país. También son especies clave para contribuir a la restauración ecológica de áreas degradadas por medio de la reforestación por dispersión y germinación de semillas. Sin embargo, el cambio climático, como el aumento de la temperatura ambiental, es una de las causas que afectan la germinación de semillas de las especies forestales tropicales; y existen pocas investigaciones enfocadas a evaluar el desempeño germinativo de las dos especies en un rango determinado de temperaturas constantes. El objetivo de esta investigación fue evaluar las temperaturas cardinales para la germinación de semillas de *G. arborea* y *E. cyclocarpum* de dos localidades diferentes. Este proyecto se realizó en la UBIPRO de la FES-I, UNAM; se evaluó la germinación de semillas colocadas en cámaras de germinación, a temperaturas constantes entre 10 ± 0.5 y 45 ± 0.5 °C, se analizó la respuesta germinativa de las especies con regresiones lineales y no lineales. Se observó una relación positiva entre el incremento del porcentaje de germinación y el aumento de las temperaturas constantes, hasta alcanzar la temperatura óptima (T_o); y también se distinguió una tendencia negativa entre el incremento de la temperatura después de T_o y la germinación total de las dos especies, ya que ésta disminuía con las temperaturas más altas. La temperatura óptima varió entre las dos especies entre 26.67 y 35.02 °C, y hubo varianza en las temperaturas cardinales de las semillas de las dos procedencias de *E. cyclocarpum*. Adicionalmente, una de las procedencias de *G. arborea* no mostró respuesta de germinación. Entonces, con los resultados de este estudio es importante continuar con más vías de investigación con el mismo enfoque con más especies forestales de importancia comercial, ya que son especies cruciales por el aprovechamiento de sus recursos naturales.

Palabras clave: *Enterolobium cyclocarpum*, *Gmelina arborea*, germinación de semillas, temperatura.

Introducción

Las semillas son de importancia fundamental en la práctica forestal. En la actualidad el mundo ha progresado en la producción de semillas por las grandes inversiones e investigaciones asociadas que demanda esta actividad (Doria, 2010), ya que es uno de los medios más utilizados de propagación y de restauración vegetal. Las investigaciones sobre la germinación de semillas contribuyen a analizar mejor los conceptos biológicos como son, las estrategias reproductivas de las plantas, características de las historias de vida, y la adaptación a hábitats y procesos moleculares y fisiológicos (Baskin y Baskin, 2014). No obstante, el cambio climático es una de las causas que afectan la tasa de germinación de las semillas, que afectan a su vez su distribución geográfica (Baumbach *et al.*, 2021). De acuerdo con las extrapolaciones en las condiciones climáticas, ante escenarios de cambios la intensidad y la frecuencia de este indicador de estrés abiótico (temperaturas extremas, precipitaciones irregulares, emisiones de CO₂, radiación UV) aumentará a futuro en la mayoría de los ecosistemas forestales tropicales (Baumbach *et al.*, 2021; Maisuria *et al.*, 2023).

Los árboles de parota (*Enterolobium cyclocarpum* Griseb.), nativa de México, y melina (*Gmelina arborea* Roxb.), nativa de Asia, son especies consideradas como buenas productoras de madera debido a su adaptabilidad, durabilidad, y rápido crecimiento (Hidayati *et al.*, 2017). Además, son valoradas de forma ecológica porque ayudan a recuperar zonas deforestadas en los bosques secos subtropicales. Su madera es generalmente comercializada e industrializada, así como usada por sus aplicaciones agrícolas y domésticas tales como para el silvopastoreo, control de la erosión, conservación del suelo, construcción de viviendas, botes, muebles, entre otras aplicaciones (Martínez *et al.*, 2015; Muñoz *et al.*, 2016; Thomas *et al.*, 2016).

La germinación de las semillas de estas especies es influenciada por la temperatura (Romero, 2004), debido al estrés por calor y la sensibilidad a la desecación y al contenido de humedad, producto de la temperatura ambiental que presentan (Doria, 2010; Magnitskiy y Plaza, 2007). Adicionalmente, la germinación de semillas de especies tropicales también es afectada por mecanismos propios durante esta etapa de su ciclo de vida, como la latencia y el desarrollo embrionario ineficiente (Masilamani *et al.*, 2022; Sukariyan *et al.*, 2020; Venkatesan *et al.*, 2023), lo que dificulta aún más su desarrollo cuando se encuentran en condiciones de temperaturas ambientales extremas.

El rendimiento de las semillas de estas especies ha sido estudiado para conocer y describir su desarrollo germinativo (Owoh *et al.*, 2011; Romero, 2004) y para determinar el comportamiento germinativo que presentan bajo condiciones abióticas específicas (Siregar *et al.*, 2020; Trindade *et al.*, 2015; Viveros *et al.*, 2015). Sin embargo, ya que la temperatura tiene efectos sobre el crecimiento y desarrollo germinativo de las semillas es imperativo evaluar el desempeño que tienen bajo diferentes rangos de temperatura con el fin de conocer sus temperaturas bases, óptimas y máximas (temperaturas cardinales) que presentan. Esto permitirá identificar sus necesidades de germinación y extrapolar la información generada para determinar su potencial de distribución geográfica ante escenarios de cambio climático (Sampayo *et al.*, 2019; Sampayo *et al.*, 2021).

Planteamiento del problema y justificación

A pesar de que existe una gran cantidad de literatura sobre la identificación, siembra y germinación de semillas de *Enterolobium cyclocarpum* y *Gmelina arborea*, es necesario hacer más investigaciones enfocadas hacia la influencia de las temperaturas extremas y sus efectos en el desarrollo germinativo que permitan mejorar e identificar la capacidad y tiempo más conveniente para su aprovechamiento. Este tipo de estudios solo se han hecho en especies herbáceas y de importancia económica, como *Solanum tuberosum* y *Brassica oleracea*; o para diferentes etapas de crecimiento, y hay poca información sobre las temperaturas cardinales en la germinación de semillas de especies forestales.

Variables como las altas temperaturas y la entrada de una alta proporción de radiación solar en la biósfera son críticas porque afectan el desarrollo y crecimiento de las semillas. Adicionalmente, la capacidad de germinación durante esta etapa específica de desarrollo presenta dificultades por la latencia morfológica y la baja viabilidad. Esto conlleva a que las semillas tengan muchas

probabilidades de ser vulnerables ante cambios climáticos drásticos, y la tasa de mortalidad incrementa en esta fase de su ciclo de vida.

Al ser un tema de preocupación ambiental y socioecológico, tanto por el impacto en las áreas de distribución natural como por los efectos en el aprovechamiento de sus recursos naturales, es necesario conocer las estimaciones de sus valores de temperaturas cardinales, para la planeación del establecimiento de plantaciones forestales. Por otra parte, es necesario buscar alternativas tecnológicas basadas en el mejoramiento genético de las especies o la determinación de territorios óptimos de distribución.

Objetivos

Objetivo general.

Evaluar las temperaturas cardinales en la germinación de semillas de *Gmelina arborea* y *Enterolobium cyclocarpum*, a partir de ensayos de germinación.

Objetivos particulares.

- Determinar la viabilidad de las semillas de las especies.
- Realizar ensayos de germinación bajo un rango de temperatura de 10 a 45 °C.
- Estimar las temperaturas cardinales de germinación de las especies.

Antecedentes

Sobre la germinación de especies, Cabrera *et al* (2021; 2022) realizaron dos ensayos con *Salvia hispanica* L. En una primera experimentación se incubaron semillas *in vitro* a temperaturas de 10, 20 y 30 °C para explorar los cambios de peso con respecto a las tres fases de la germinación durante la imbibición de estas semillas, así como su relación con el comportamiento de ácidos grasos y la velocidad de germinación (VG). Se observó que en todas las repeticiones realizadas las semillas alcanzaron un porcentaje promedio de germinación > 80 %, de los cuales el menor valor de los tratamientos fue a 10 °C y, que, por otra parte, las incubaciones a 20 y 30 °C registraron datos similares. La VG obtuvo diferencias similares a esos resultados en los tratamientos, es decir, el registro más bajo corresponde a la incubación a 10 °C y el valor más alto a 30 °C, lo que indica que en temperaturas inferiores a 20 °C existe un desfase en las fases de germinación, sobre todo la salida de la Fase II. Esto representa un obstáculo en la tasa de germinación de las semillas de esa especie.

En una segunda prueba con el mismo diseño experimental con incubaciones de 10-45 °C (con tratamientos cada 5 °C), de igual manera con *Salvia hispanica*, se determinaron las temperaturas cardinales mediante modelos de regresión no lineales. Los resultados fueron similares a la anterior experimentación respecto a las incubaciones con condiciones de temperatura de 10-35 °C, es decir, el porcentaje de germinación media al término de 14 días de observación fue superior al 80 %, observándose diferencias significativas con las incubaciones de 40 y 45 °C, tratamientos en los que se observó un porcentaje de germinación final de 44 y 11 %, respectivamente. La estimación de

sus temperaturas cardinales varió de acuerdo con cada modelo de regresión utilizado. El promedio aproximado de la temperatura base (T_b) fue entre 6.52 y 6.90 °C, para la temperatura óptima (T_o) de germinación fue de 32.60 a 36.97 °C, y para la temperatura máxima (T_m) la estimación media fue entre 41.34 a 44.96 °C.

Sampayo *et al.* (2019; 2023) llevaron a cabo estudios experimentales con semillas de Cedro rojo (*Cedrela odorata* L). En un primer estudio analizaron el porcentaje y la velocidad de germinación de las semillas de esa especie en un gradiente de temperatura de 5 a 45 °C (con tratamientos cada 5 °C) determinando las temperaturas cardinales por medio de modelos de regresión lineal. Se observó que las semillas alcanzaron el 50 % de germinación entre 18-47 días desde el inicio del ensayo, en los que los tratamientos en condiciones de bajas temperaturas tardaron más tiempo en alcanzar ese mismo porcentaje de germinación, mientras que las repeticiones expuestas a valores de > 20 °C la alcanzaron entre 3 a 5 días de haber iniciado los ensayos. Aunque los tratamientos de temperaturas altas germinaron en menos tiempo que los valores bajos, al final de las observaciones las semillas con condiciones de 40 y 45 °C obtuvieron los porcentajes más bajos de germinación. Los autores hallaron diferencias significativas entre la germinación de las semillas y el cálculo de sus temperaturas cardinales, de los cuales el valor más aproximado a sus resultados fue el de la T_o , ya que se asocia más directamente a las cifras de temperatura en las que el porcentaje y la velocidad de germinación fueron más altos.

Posteriormente, con el uso de dos modelos de circulación elaboraron proyecciones ante escenarios de cambio climático para estimar la temperatura acumulada por día, necesaria para alcanzar el 50 % de germinación (tiempo térmico) basado en áreas geográficas específicas en las que se desarrolla *C. odorata*, así como durante el mes de abril, que es cuando ocurre la dispersión de las semillas de los árboles. De acuerdo con sus resultados, en uno de los modelos se estimó que la temperatura incrementaría entre 1.3 y 2 °C y el tiempo térmico correspondiente de las semillas fue de 6.5 y 10 horas anticipadas de germinación, respecto a las condiciones climáticas actuales. Con el segundo modelo la estimación fue similar, dado que los valores de temperatura obtenidos fueron de 2 y 3.1 °C de incremento y con tiempos térmicos de 10 y 21.5 horas de anticipación, respecto al escenario climático actual.

De forma similar, en el segundo estudio con *C. odorata* y basado en los datos obtenidos de las temperaturas cardinales de la primera investigación, estimaron la distribución potencial en el territorio nacional y su probable germinación ante escenarios de cambio climático previstos para los años 2050 y 2070. Con esta finalidad, utilizaron datos de la distribución actual de la especie de acuerdo con los años 1970 a 2000, obtuvieron capas en formato vectorial proporcionadas por el geoportal de la CONABIO. Con la subsecuente depuración de los datos, hicieron uso de variables ambientales para modelar y proyectar los datos en sistemas de información geográfica, ésta última información también fue depurada con modelos y programas estadísticos para identificar y recabar aquellas variables que tenían mayor contribución relativa al modelado de la distribución del hábitat climático óptimo, también conocido como modelado del nicho ambiental o modelado del nicho climático; los resultados tiene relación con la primera experimentación en esta especie. A nivel nacional, se estimó que la distribución de las semillas de *C. odorata* tendría una expansión de entre 6.6 y 5.57 % en los escenarios menos y más drásticos de cambio climático, respectivamente, en comparación a las condiciones actuales; para el año 2070 los valores indicaron que el potencial de

distribución de la especie incrementaría entre 4.87 y 7.82 % correspondiente a los escenarios de menor y de mayores emisiones de CO₂, en contraste con el escenario climático actual. Incluso la distribución de las semillas y su germinación resultaron ser favorables en territorios cuya presencia estuvo ausente en el escenario climático actual, pero en las estimaciones su distribución mostró valores positivos, por ejemplo, en el estado de Guanajuato hubo registros escasos de su actual distribución en km² y el modelado señaló que para el año 2050 *C. odorata* expandiría su territorio entre 6.64 y 15.38 km², mientras que en las proyecciones para el año 2070 su expansión crecería entre 2.70 y 65.10 km², respecto a las estimaciones climáticas actuales.

Por otra parte, Mensah y Agbagwa (2004) describieron y utilizaron algunos tratamientos pregerminativos con semillas sin escarificar de *Gmelina arborea*, entre los que destaca la evaluación de temperaturas variables, a 30 °C por 16 horas y 45 °C por 8 horas, desde 1 hasta 12 ciclos diurnos. Demostraron que el porcentaje de germinación de *G. arborea* incrementa con el aumento del número de ciclos de exposición a temperaturas variables. Fornah *et al.* (2017) analizaron la germinación de semillas de *G. arborea* y su relación con el tamaño de las semillas y de diferentes procedencias de Sierra Leona; explicaron que las semillas de mayor tamaño obtuvieron el porcentaje de germinación y velocidad de germinación más altos, y que las semillas con procedencia del Este de Sierra Leona mostraron la velocidad de germinación más alta de las cuatro localidades de origen, y por otra parte, se observó que las semillas recolectadas de la región del Sur obtuvieron los valores de velocidad de germinación más bajos.

Salazar y Ramírez (2018) probaron tres métodos para observar el porcentaje y la tasa de germinación en semillas de *Enterolobium cyclocarpum*, los cuales consistieron en la escarificación mecánica, inmersión de las semillas en agua a temperatura de 92 °C por dos minutos y la imbibición en un cuarto de temperatura por 12 y 24 horas. Sus resultados indicaron que el mayor desempeño de germinación fue aplicando la escarificación mecánica con más del 90 % de germinación al final de las observaciones; por otra parte, la inmersión de semillas en agua caliente y en imbibición obtuvieron menos del 1 % de germinación en cada tratamiento. Arceo *et al.* (2022) también utilizaron semillas de *E. cyclocarpum* aplicando tratamientos de escarificación, imbibición en agua hirviendo por 5, 10 y 15 segundos y una prueba control con semillas intactas. El porcentaje final de germinación se obtuvo de 92 % con escarificación, y a los ocho días de realizarse las incubaciones se obtuvieron cifras de 35 y 36 % de germinación con los tratamientos con agua hirviendo, mientras que se obtuvo el 9 % de germinación con el tratamiento control de semillas intactas.

Materiales y métodos

Material vegetal.

Se emplearon 1,000 semillas de *Enterolobium cyclocarpum* y 1,500 de *Gmelina arborea* aproximadamente, para cada localidad de recolecta, con sitios de cosecha en ranchería El Corralillo, Tabasco; La Despensa, Nayarit y; El Verdineño, Nayarit (Cuadro 1). El germoplasma fue ingresado al laboratorio de semillas forestales del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en

Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID-COMEF) el día 13 de junio de 2024.

Cuadro 1. Localidades de recolecta del germoplasma.

Especie	Plantación	Ubicación
<i>Gmelina arborea</i>	• Predio La Despensa, ubicado en Sauta, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit.	21° 42' N 105° 07' O 70 m snm
	• Ranchería Corralillo, municipio de Nacajuca, Tabasco.	18° 04' 46.15" N 92° 54' 47.15" O
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	• Sitio Experimental El Verdineño, ubicado en El Verdineño, municipio de Santiago Ixcuintla, Nayarit.	21° 42' 13.12" N 105° 7' 45.23" O 254 m snm
	• Ranchería Corralillo, municipio de Nacajuca, Tabasco.	18° 00' 30.34" N 92° 57' 39.03" O

Tanto las pruebas iniciales y ensayos de germinación como el análisis estadístico de los datos se llevaron a cabo en el laboratorio de Fisiología Vegetal, dentro de las instalaciones de la Unidad de Investigación de Biotecnología y Prototipos (UBIPRO) en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM.

Pruebas de la calidad de los lotes de semillas.

Se hicieron pruebas para comprobar la calidad de las semillas de las tres especies, así como para la identificación de latencia morfológica. Las pruebas iniciales se llevaron a cabo con dos replicaciones con 13 semillas en cada caja de Petri acondicionadas con medio agar. Éstas fueron colocadas dentro de una cámara de germinación a una temperatura constante de 25 ± 2 °C y un fotoperiodo programado de 12 horas de luz fría y 12 horas de oscuridad, con luz de lámparas halógenas. Se realizó la escarificación de las semillas de *G. arborea* para extraer el embrión de la semilla de forma manual, con cautela para evitar dañar los tejidos embrionarios y tener mayores probabilidades de germinación; por otra parte, la escarificación de las semillas de *E. cyclocarpum* consistió en eliminar una fracción de la testa de las semillas para que el embrión absorbiera mayor cantidad de agua y del medio agar.

También fue realizada una prueba de viabilidad con tetrazolio a las semillas de *G. arborea* del sitio de origen de Nayarit debido a los resultados de germinación en las pruebas iniciales.

Incubación de las semillas y tratamiento pregerminativo.

Se aplicó un tratamiento pregerminativo solo a las semillas de *E. cyclocarpum*, el cual consistió en dejarlas reposando en imbibición durante 30 minutos antes de llevar a cabo los ensayos de germinación.

La germinación fue evaluada a ocho temperaturas constantes, entre 10 ± 2 y 45 ± 2 °C, en un intervalo de 5 °C. Los ensayos se conformaron con cinco réplicas de 21 semillas (unidad experimental) en *G. arborea*, y 10 réplicas con 10 semillas por unidad experimental para *E. cyclocarpum*. Se usaron incubadoras de temperatura controlada de los modelos Luzeren SHHB-D6000 Serials y Lumistell IBT-155 programadas para un fotoperiodo de 12 h de luz fría y 12 h de oscuridad, con lámparas halógenas de intensidad lumínica de $25 \mu \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Quantum Meter Apogee Mod. QMSW-SS).

Evaluación de ensayos.

Los ensayos de germinación iniciaron el día 2 de octubre del 2024 y concluyeron el 13 de diciembre del 2024 (71 días de observación); el conteo de las semillas germinadas y no germinadas fue hecho diariamente en orden para determinar el porcentaje de germinación total.

Análisis de los datos.

Germinación total (%)

En cada repetición de cada temperatura se contó el número de semillas consideradas germinadas, es decir, cuando la longitud de la radícula fue > 2 mm. El valor de germinación total fue obtenido con la ecuación sugerida por Sampayo *et al.* (2017):

$$G (\%) = \frac{n}{N} * 100$$

Donde: $G (\%)$, porcentaje de germinación; n , es el número de semillas germinadas; N , el número total de semillas por replicación experimental.

Velocidad de germinación

La velocidad de germinación fue evaluada a partir de las observaciones registradas diariamente según el número de semillas germinadas por día. Se utilizó la ecuación utilizada por Calzada *et al.* (2014):

$$VG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_i}{N_i} + \dots + \frac{G_b}{N_n} = \sum_{i=1}^n \frac{G_i}{N_i}$$

Donde: VG , velocidad de germinación; G_i , número de semillas germinadas en el tiempo i ; N_i , tiempo i (días) desde que las unidades experimentales se colocaron en las incubadoras.

Determinación de temperaturas cardinales

La obtención de las temperaturas base (T_b), óptima (T_o) y máxima (T_m) se realizó por estimación mediante una ecuación de regresión lineal simple con base en las sugerencias establecidas por Ellis *et al.* (1986) y Hardegree (2006), y dos modelos de regresión no lineal; un modelo de dos pares de segmentos (o segmentado) y un modelo curvilíneo (o Beta 5), de acuerdo con las recomendaciones de Cabrera *et al.* (2022) y Sampayo *et al.* (2025). Se calcularon los modelos

regresión no lineales y el modelo lineal por percentiles, para lo cual se utilizó el programa GraphPad Prism 9.4.1, graficando los valores inversos de la velocidad de germinación como una función de temperatura para observar la tendencia de los datos e identificar los puntos de inflexión para determinar las temperaturas subóptimas y supraóptimas.

La temperatura base (T_b) es un punto interceptor de una ecuación de regresión positiva cuando el tiempo inverso de germinación es graficado como una función de temperatura, lo cual define el rango subóptimo de temperatura. Se calculó el valor promedio de la ordenada al origen (β_0) para indicar que éste es el valor de la temperatura base.

La temperatura máxima (T_m) es un punto de intercepción de una ecuación de regresión negativa que se obtuvo graficando el tiempo inverso de germinación como una función de temperatura, que define el rango supraóptimo de temperatura. También fue calculado el valor medio de la ordenada al origen (β_0) para representar el valor de la temperatura máxima de germinación. El valor de temperatura óptima (T_o) fue estimado por el punto de intersección entre las líneas rectas obtenidas por las ecuaciones de regresión lineal positiva y negativa de T_b y T_m .

Resultados

Calidad de semilla.

Para las pruebas sobre calidad de semilla, *Enterolobium cyclocarpum* El Corralillo, Tabasco obtuvo el 100 % de germinación, y 76.92 % para El Verdineño, Nayarit; mientras que *Gmelina arborea* El Corralillo obtuvo 100 % de germinación. Por otra parte, las muestras de *G. arborea* de La Despensa, Nayarit mostraron un 3.84 % de germinación en dos pruebas iniciales que se realizaron; por lo cual fue realizada una prueba de viabilidad con azul de tetrazolio. Esta indicó que el porcentaje de viabilidad de las semillas fue del 33.3 %, lo que promovió que este lote de semillas (La Despensa) fuera descartado.

Germinación en rango de temperatura.

Para *Enterolobium cyclocarpum* El Corralillo, después de 54 días de observación, la gran mayoría de los porcentajes de germinación final se registró por arriba del 80 %, el valor más alto de germinación fue de 100 % para las temperaturas de 30 y 35 °C, mientras que el valor más bajo fue de 88 % para las temperaturas de 10 y 15 °C (Figura 1A). En la temperatura de 45 °C no hubo germinación.

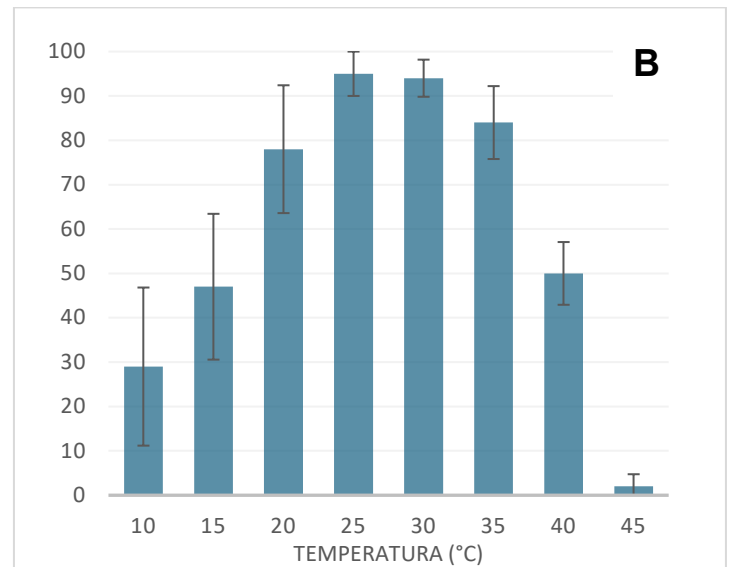
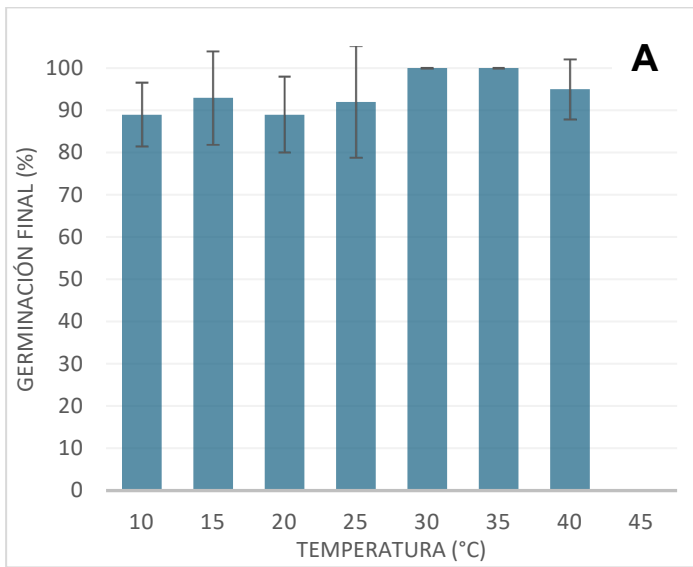


Figura 1. Porcentajes de germinación total de cada temperatura de las poblaciones de semillas de *E. cyclocarpum* El Corralillo (A) y El Verdineño (B). Las barras de error representan la DS de los promedios de germinación final de cinco unidades experimentales independientes.

Se distinguió un incremento en la germinación de acuerdo con el aumento de la temperatura, aunque el ensayo a 15 °C mostró un valor final de 93 %, el cual es superior a las de 20 y 25 °C. No obstante, la velocidad de germinación de éstas últimas dos temperaturas fue superior a la de 15 °C, porque la de 20 °C alcanzó 89 % de germinación en el día 11 y la de 25 °C llegó al 92 % en el día 10; mientras que la temperatura de 15 °C obtuvo el 93 % hasta el día 23 (Figura 2A). Por lo tanto, es clara la relación entre el incremento de la temperatura y el tiempo requerido para obtener el mayor porcentaje de germinación; tal es la magnitud, que no hubo disminución en la germinación con el aumento de temperatura, al menos hasta 40 °C de temperatura, puesto que el valor de germinación fue de 95 % y se registró el día 7 al igual que los ensayos de 30 y 35 °C cuando alcanzaron su máximo porcentaje.

Por otro lado, la población de semillas de *Enterolobium cyclocarpum* El Verdineño, después de 71 días de monitoreo, se obtuvo el valor más alto con 95 % de germinación a 25 °C de temperatura, y el valor más bajo se registró a 45 °C con el 2 % (Figura 1B). En este caso, el patrón de comportamiento de los datos de este lote de semillas es diferente al de la población de El Corralillo porque cinco temperaturas tuvieron como resultado menos del 80 %, tres de los cuales no alcanzaron el 50 % de germinación. Adicionalmente, los tiempos requeridos para obtener el valor máximo de germinación en las temperaturas de 10 y 15 °C son diferentes porque éstos ocurrieron a los 60 días para alcanzar el 29 %, y 47 días para obtener el 47 % de germinación total, respectivamente (Figura 2B).

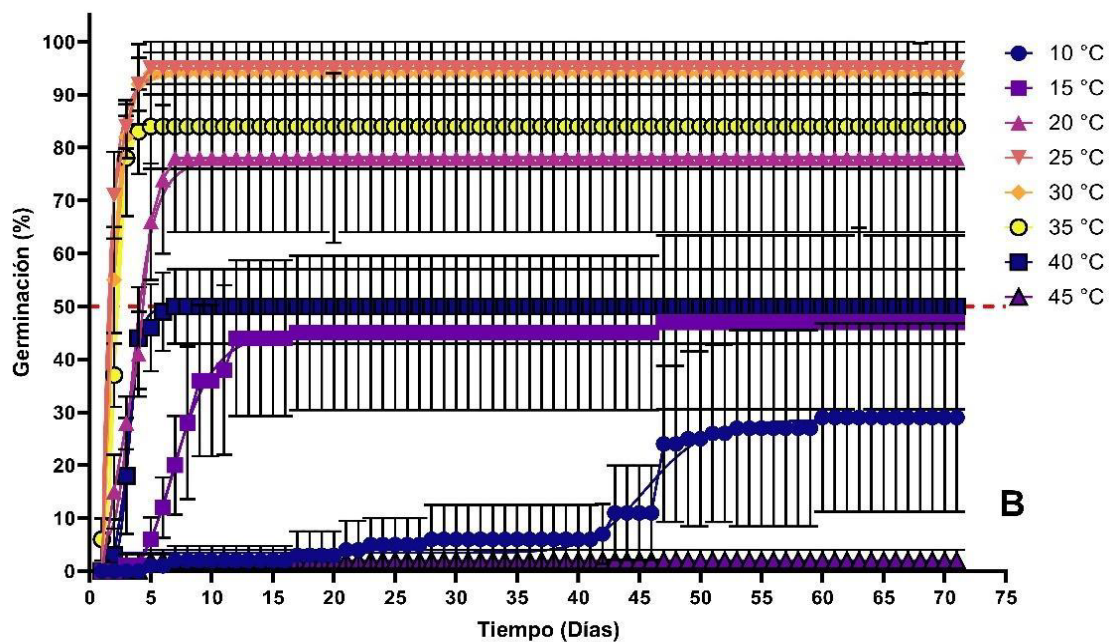
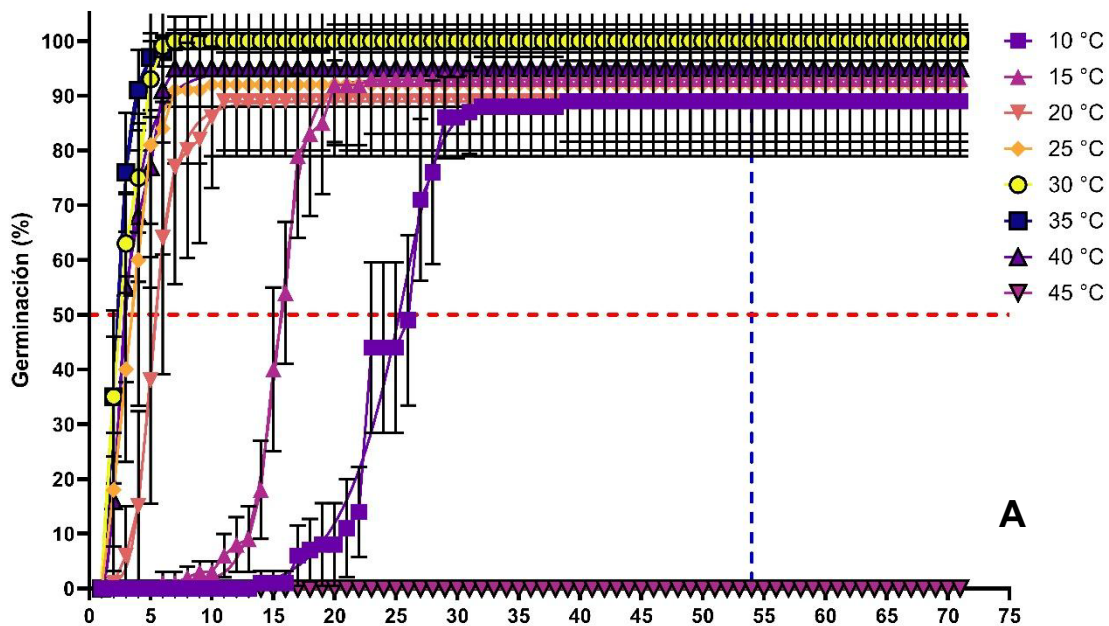


Figura 2. Germinación acumulativa a diferentes temperaturas de las poblaciones de semillas de *E. cyclocarpum* El Corralillo (A) y El Verdineño (B). La línea discontinua de color rojo representa el tiempo requerido para que ocurra el 50 % de germinación; la línea discontinua de color azul indica el término de los registros de germinación diaria para la población de El Corralillo.

También hubo una relación positiva entre el incremento del porcentaje de germinación total con el incremento de las temperaturas hasta los 25 y 30 °C con 95 y 94 %, respectivamente. Pero después de esta tendencia, se observa la disminución de los valores de germinación final con las temperaturas más altas, lo cual expresa una relación negativa, debido a que se registró el 50 % de germinación total para la prueba de 40 °C, y 2 % en el caso de la temperatura de 45 °C.

Sobre las semillas de *Gmelina arborea* El Corralillo, después de 43 días de registro, se observó una relación positiva entre el incremento de temperatura y el porcentaje de germinación porque éste incrementa gradualmente desde 39.04 %, que corresponde a 10 °C de temperatura, hasta alcanzar un valor máximo en las temperaturas de 30 y 35 °C con un 80 % de germinación total (Figura 3).

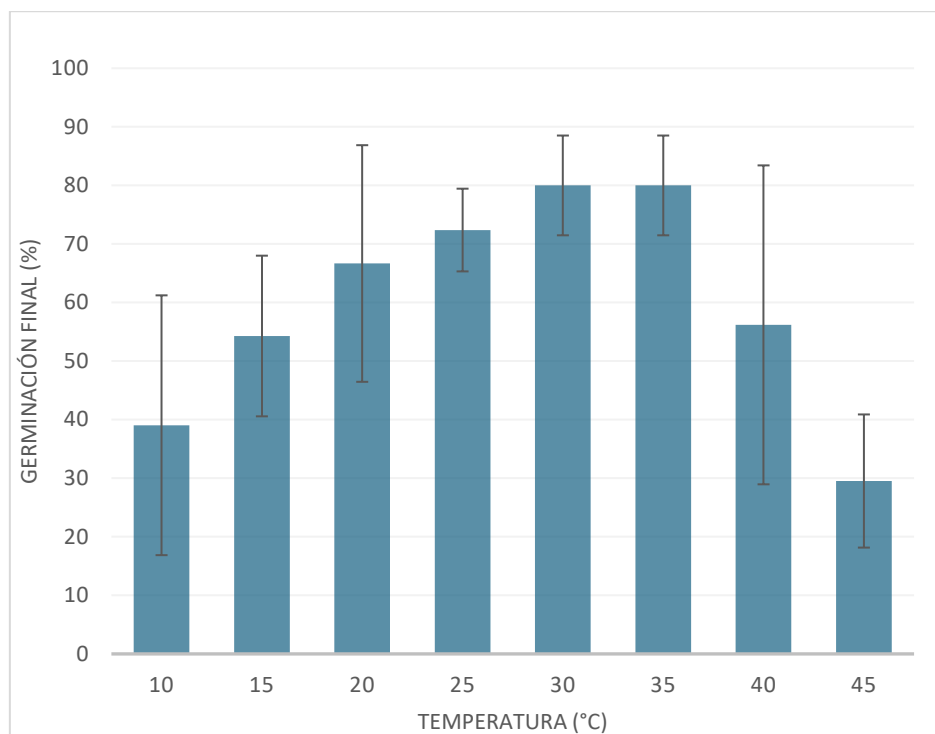


Figura 3. Porcentajes de germinación total a diferentes temperaturas de *G. arborea*. Las barras de error representan la DS de los promedios totales de germinación final, de cinco unidades experimentales independientes.

Asimismo, después de obtener el valor más alto, el porcentaje de germinación total disminuyó con las altas temperaturas, es decir, 56.19 % a 40 °C, valor que es inferior a los que se observaron en las temperaturas de 20 y 25 °C; y en la temperatura más alta, se registró el valor más bajo con 29.52 % de germinación total. En *G. arborea*, el tiempo requerido para alcanzar la máxima germinación fue menor en las temperaturas de 25, 30, 35, 40 y 45 °C (Figura 4); ya que en estos ensayos se registró el porcentaje de germinación acumulativa más alto en el día 7, mientras que, en las temperaturas de 10, 15 y 20 °C los valores de germinación más altos se registraron en los días 43, 36 y 13, respectivamente.

Temperaturas cardinales.

Los datos de la velocidad de germinación presentaron una distribución normal en las semillas de *Gmelina arborea* y *Enterolobium cyclocarpum* (Figura 5A; Figura 6A; Figura 7A). *E. cyclocarpum* El Corralillo obtuvo una temperatura base (T_b) de 9.93 ± 1.33 °C para el modelo de regresión lineal simple, 8.46 ± 0.58 °C con el modelo segmentado, y 8.35 ± 2.20 °C con base en el modelo curvilíneo (Cuadro 2); estas estimaciones coinciden con los datos registrados durante las observaciones diarias de germinación, ya que la velocidad de germinación más baja corresponde a los datos obtenidos en 10 °C porque la última germinación registrada fue después de 30 días de observación.

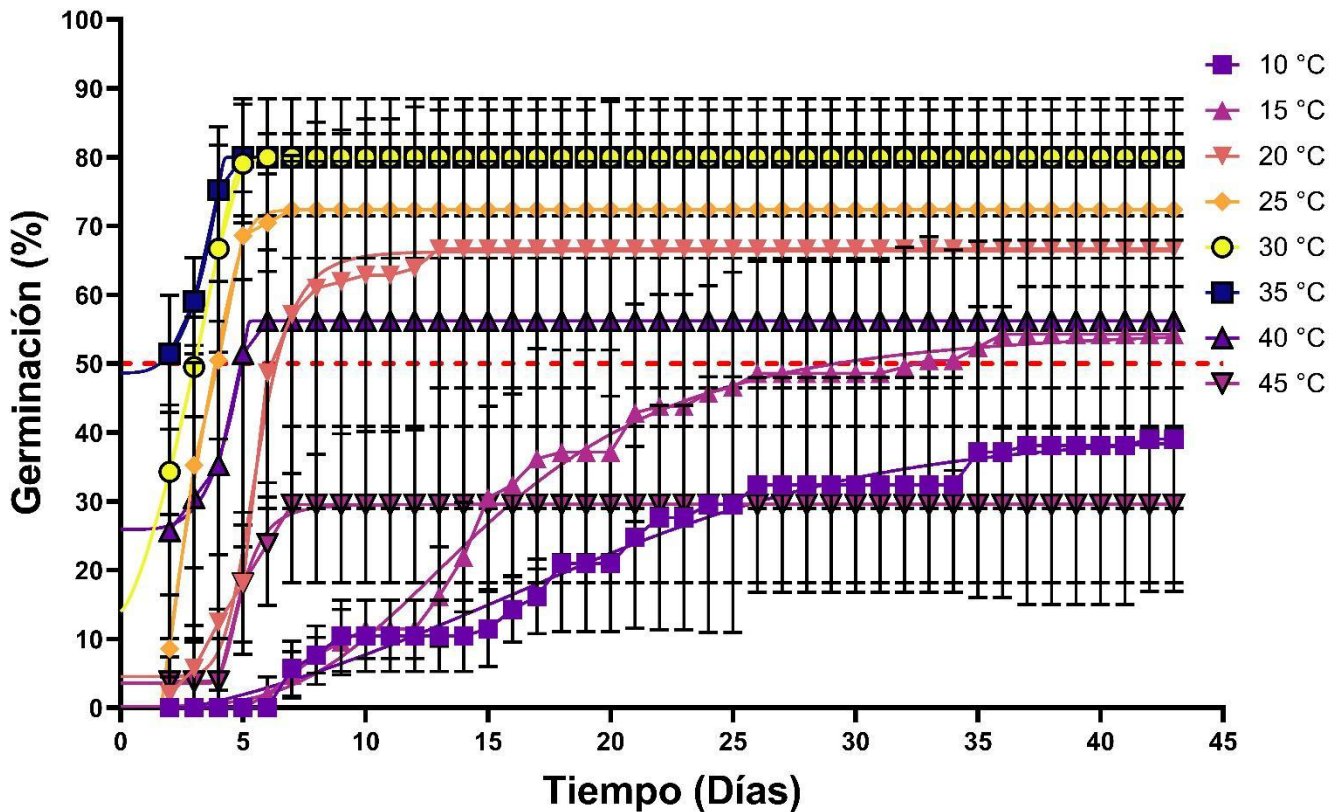


Figura 4. Germinación acumulativa de *G. arborea*. La línea discontinua de color rojo representa el tiempo requerido para que ocurra el 50 % de germinación.

Los valores de temperatura óptima (T_o) estimados fueron de 34.65 °C con el modelo lineal simple, 32.80 °C según el modelo segmentado y 35.02 °C de acuerdo con el modelo curvilíneo. Los valores calculados de la misma manera, concuerdan con la información que se registró durante los ensayos de germinación debido a que se logró un porcentaje de 100 % en las unidades experimentales de 30 y 35 °C. Finalmente, se obtuvo como resultado un valor de temperatura máxima (T_m) en el caso del modelo lineal sencillo de 45.83 °C, y tanto el modelo curvilíneo como el modelo de dos segmentos estimaron la temperatura máxima de *E. cyclocarpum* El Corralillo con el valor de 44.99 °C. Estos resultados son consistentes debido a que en los datos de 45 °C no se registró germinación después de que en los primeros 10 días de observación las semillas fueron eliminadas por estado de putrefacción fisiológica.

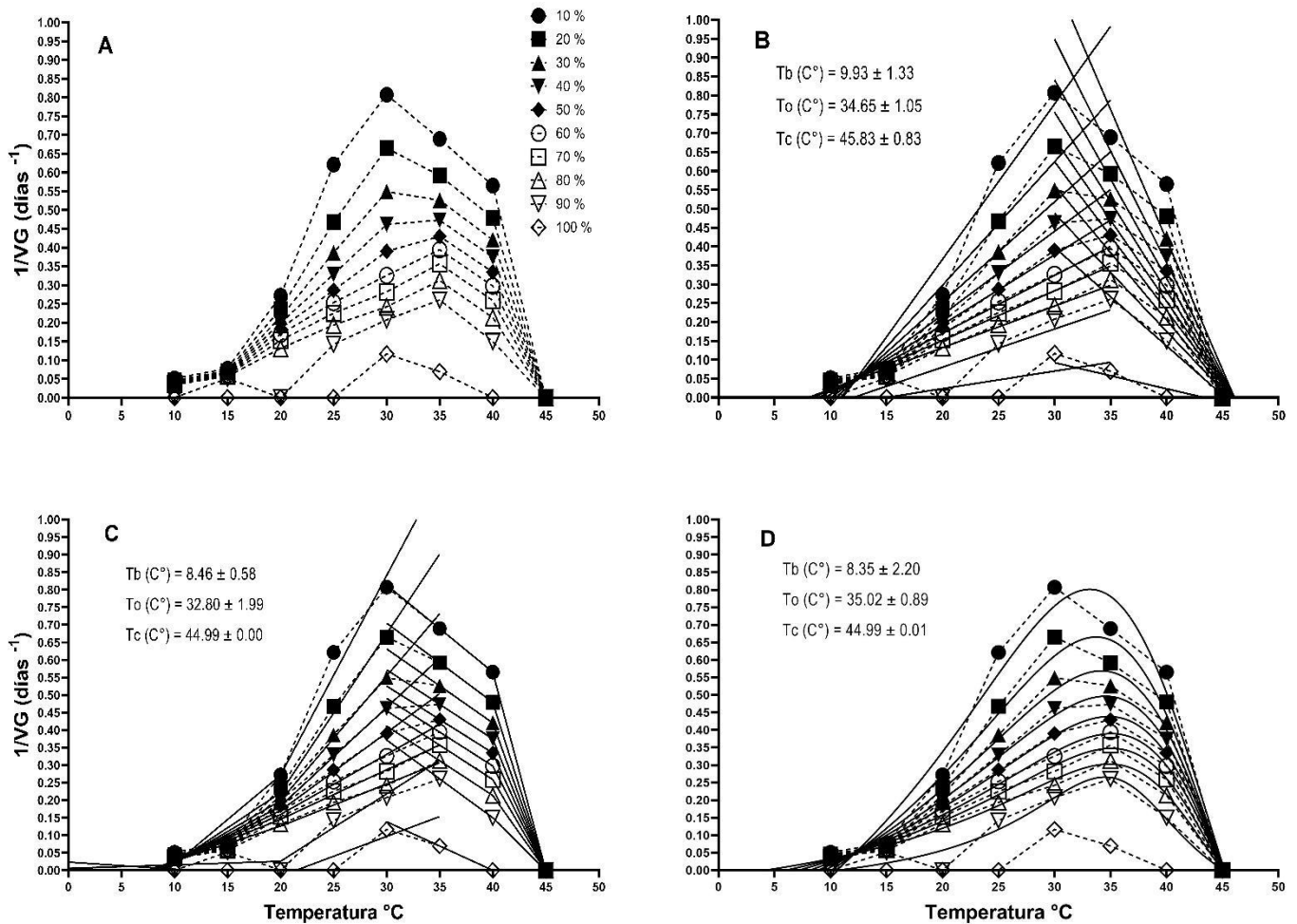


Figura 5. Velocidad de germinación y modelos de regresión de los rangos sub y supraóptimos de *E. cyclocarpum* El Corralillo. Los símbolos representan los datos experimentales y la línea discontinua la tendencia de los datos (A); las líneas continuas son las líneas de regresión lineal simple (B) y; de las líneas del modelo de regresión no lineal (segmentado) en un par de segmentos para el rango subóptimo (de 10 a 20 °C; y de 20 °C hasta el punto de intersección con las líneas de T_m) y el supraóptimo (de 45 a 40 °C; y de 40 °C hasta el punto de intersección con las líneas de T_b) (C); las líneas suavizadas corresponden a los valores calculados por el modelo curvilíneo (Beta 5) (D).

Para *E. cyclocarpum* El Verdineño, los valores que se obtuvieron de la temperatura base son diferentes a los valores de la población de El Corralillo (Cuadro 2); es decir, T_b tuvo como valor 12.13 ± 0.90 °C en el caso de los modelos lineal sencillo y segmentado, y 11.93 ± 1.13 °C de acuerdo con el modelo curvilíneo. Los resultados del modelo lineal simple se realizaron sin hacer modificaciones a la ecuación para obtener las temperaturas cardinales, no obstante, para la aplicación del modelo segmentado fue necesario analizar simultáneamente el modelo lineal simple para el segmento subóptimo y la ecuación segmentada para la parte supraóptima, de esta forma es como se estimó el punto interceptor que representa la temperatura óptima, el cual indica un valor de 26.67 ± 0.82 °C (Figura 6C). Sin embargo, los valores estimados de 11.93 ± 1.13 °C y 12.13 ± 0.90 °C de los tres modelos analizados, son debido a que hubo un porcentaje de germinación muy bajo a 10 °C de temperatura para *E. cyclocarpum* El Verdineño, ya que solo se registró una semilla germinada para los días 5, 7, 17, 21, 23, 28 y 42 (Figura 2B).

Cuadro 2. Parámetros estimados de los modelos de regresión lineal y no lineales, R² y R² ajustada de las poblaciones de semillas de *E. cyclocarpum*.

Lote de semillas	Modelo	Temperaturas cardinales (°C)						R ²	R ² ajustada
		T _b		T _o		T _m			
El Corralillo	Lineal simple	9.93	± 1.33	34.65	± 1.05	45.83	± 0.83	0.8992	0.8932
	Segmentado	8.46	± 0.58	32.80	± 1.99	44.99	± 0.00	0.9784	0.9765
	Funciones beta (curvilíneo)	8.35	± 2.20	35.02	± 0.89	44.99	± 0.01	0.9776	0.9751
El Verdineño	Lineal simple	12.13	± 0.90	26.94	± 0.61	45.15	± 1.88	0.8622	0.8552
	Lineal/Segmentado	12.13	± 0.90	26.67	± 0.82	44.21	± 0.93	0.8851	0.8778
	Funciones beta (curvilíneo)	11.93	± 1.13	28.51	± 0.34	46.09	± 1.47	0.9324	0.9246

Los valores de la temperatura óptima son similares entre los tres modelos para *E. cyclocarpum* El Verdineño. Esto fue debido a que las mayores cifras de velocidad de germinación ocurrieron a los cinco días de establecer los ensayos de germinación en las temperaturas de 25, 30 y 35 °C, pero los mayores porcentajes de germinación final corresponden a 25 y 30 °C con 95 y 94 %, respectivamente. Entonces, la tendencia de los datos indica que con el incremento de la temperatura hay una disminución en la velocidad de germinación de las semillas (Figura 6A). En ese sentido, en los valores estimados donde la germinación de semillas no ocurre, son de 44.21 ± 0.93 °C con base en el modelo lineal-segmentado. Este fue el valor más bajo para la estimación de la temperatura supraóptima, y 46.09 ± 1.47 °C según el modelo curvilíneo, cuya cifra es la más alta de los tres modelos y de los dos sitios de origen de obtención del germoplasma.

La estimación de las temperaturas subóptimas para los datos de *Gmelina arborea* fue de 12.14 ± 1.33 °C correspondiente al modelo lineal simple, el cual es el valor calculado más alto para esta especie, y 7.17 ± 1.42 °C de acuerdo con lo indicado por el modelo curvilíneo, que representa el valor más bajo de los tres modelos (Cuadro 3). En el análisis de las temperaturas óptimas (T_o), el modelo lineal-segmentado estimó el valor de 34.32 ± 1.17 °C, el cual es el número estimado más bajo de los tres modelos; y 34.75 ± 1.15 °C según lo calculado con el modelo lineal sencillo, valor que corresponde a la temperatura más alta de los modelos (Figura 7B).

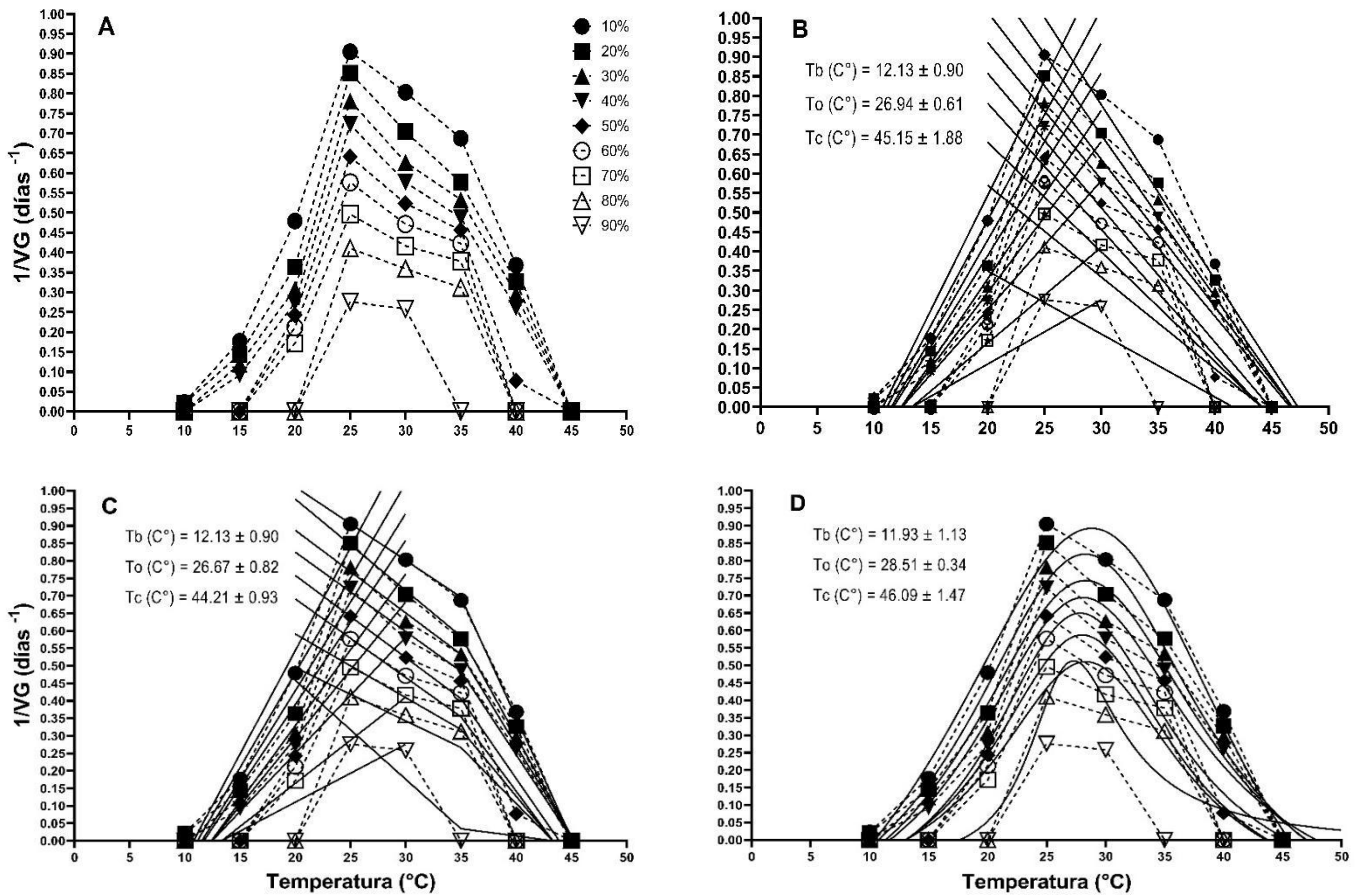


Figura 6. Velocidad de germinación y modelos de regresión de los rangos sub y supraóptimos de *E. cyclocarpum* El Verdineño. Los símbolos representan los datos experimentales y la línea discontinua la tendencia de los datos (A); las líneas continuas representan las líneas de regresión lineal simple (B) y; de las líneas del modelo de regresión lineal simple para el rango subóptimo (de 10 a 25 °C), y en un par de segmentos en el rango supraóptimo (de 45 a 35 °C; y de 35 °C hasta el punto de intersección con las líneas de T_b) (C); las líneas suavizadas corresponden a los valores calculados por el modelo curvilíneo (Beta 5) (D).

Cuadro 3. Temperaturas cardinales de *Gmelina arborea*.

Modelo	Temperaturas cardinales (°C)					R ²	R ² ajustada	
	T_b		T_o		T_m			
Lineal simple	12.14	± 1.33	34.75	± 1.15	45.23	± 2.24	0.8923	0.8861
Lineal/Segmentado	10.87	± 1.21	34.32	± 1.17	45.23	± 2.24	0.9108	0.9040
Funciones beta 5 (curvilíneo)	7.17	± 1.42	34.56	± 1.21	41.37	± 2.84	0.9755	0.9727

En la parte supraóptima fueron calculados valores similares entre los tres modelos, donde 45.23 ± 2.24 °C correspondió al valor más alto, para los modelos lineal simple y lineal-segmentado. Lo anterior tiene sentido porque al menos en la prueba de 45 °C fue requerido menos tiempo para

alcanzar el 29.52 % de germinación en comparación con la prueba de 10 °C, que requirió al menos tres veces más tiempo para alcanzar el mismo valor, aunque el porcentaje de germinación total fue mayor en la temperatura de 10 °C que en el de 45 °C (Figura 4).

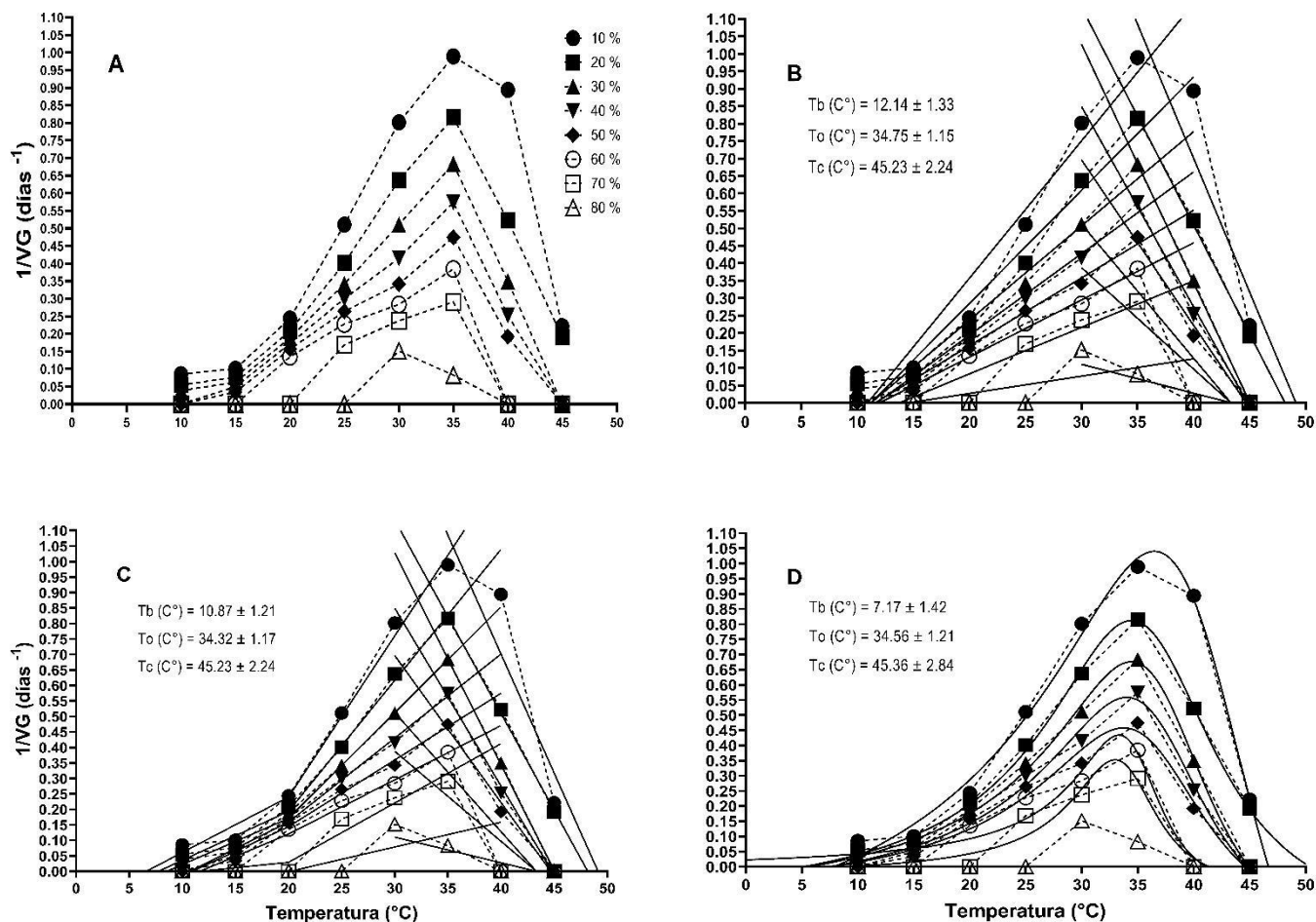


Figura 7. Velocidad de germinación y modelos de regresión de los rangos sub y supraóptimos de *G. arborea*. Los símbolos representan los datos experimentales y la línea discontinua la tendencia de los datos (A); las líneas continuas son las líneas de regresión lineal simple (B) y; de las líneas del modelo de regresión no lineal, en un par de segmentos en el rango subóptimo (de 10 a 20 °C, y de 20 °C hasta el punto de intersección con las líneas de T_m), y de regresión lineal simple para el rango supraóptimo (de 45 a 30 °C) (C); las líneas suavizadas corresponden a los valores calculados por el modelo curvilíneo (Beta 5) (D).

Discusión

Germinación.

La germinación de las poblaciones de semillas de *E. cyclocarpum* fue influida por la temperatura. Al menos en el rango de temperaturas analizado, las semillas provenientes de ambas localidades coincidieron en el porcentaje de germinación en la temperatura más alta, ya que se registró 0 y 2 % de germinación para las poblaciones de El Corralillo y El Verdineño, respectivamente. No obstante, se destaca la diferencia en el porcentaje de germinación total de los dos lotes de semillas por los altos valores que presentó la población de El Corralillo en las temperaturas mínimas y máximas en comparación a las cifras de germinación total de la población de El Verdineño. Por

ejemplo, es destacable mencionar la velocidad con la que progresaba la germinación de la población de semillas de El Verdineño a 10 °C, porque ésta cambió de tendencia hasta el día 47 y solo logró el 24 % de germinación, mientras que las semillas provenientes de El Corralillo ya contaban con el valor de 44 % de semillas germinadas en 23 días de observación, el cual supera al valor de germinación acumulada de la población de El Verdineño ya que en el mismo día de registro solo se contaba con el 6 % (Figura 2A y B). Por otro lado, a 40 °C *E. cyclocarpum* El Verdineño finalizó con el 50 % de semillas germinadas mientras que las semillas de El Corralillo ya contaban con el 55 % al día 7 de establecer los ensayos de germinación.

A pesar de las diferencias en los porcentajes de germinación total entre los dos sitios de recolecta, la temperatura óptima de germinación, de 25 a 35°C, concuerda con la información documentada (Peraza *et al.*, 2018). Adicionalmente, Viveros *et al.* (2017) describen que diferentes procedencias reportadas de *Enterolobium cyclocarpum* tanto de semillas como de individuos más maduros coincide con el rango de 25 a 30 °C, y que presentan un buen índice de germinación en todos los sitios de origen, de acuerdo con sus parámetros. Asimismo, algunos autores usan como referencia la aplicación de 25 ± 2 °C para diferentes aplicaciones experimentales, en los cuales obtienen un alto desempeño de germinación (Arceo *et al.*, 2022; Salazar y Ramírez, 2018; Viveros *et al.*, 2015)

Temperaturas cardinales.

La estimación de las temperaturas sub y supraóptimas suele presentar errores dependiendo del modelo utilizado para calcular T_b y T_m , o de las características fisiológicas de las especies (Alvarado y Bradford, 2002; Andreucci *et al.*, 2016; Battla y Benech, 2015). En las poblaciones de semillas de *Enterolobium cyclocarpum*, el margen de error en la estimación de T_b es mayor en el modelo curvilíneo que en los otros dos modelos porque la ecuación de Beta 5 sobreestima los valores de la velocidad de germinación de la parte subóptima para comprometer los datos a tocar el eje X a temperaturas más bajas que las que fueron registradas en los datos experimentales. Es decir, en el caso de los datos de *E. cyclocarpum* El Corralillo la menor cifra del modelo curvilíneo corresponde al percentil 80 con 4.16 °C y el valor más alto fue de 10.62 °C, que fue estimado con el percentil 90; y en cuanto a El Verdineño, el valor mínimo lo tiene el percentil 10 con 8.15 °C y el máximo es de 11.46 °C, que corresponde al percentil 50.

En las dos poblaciones de semillas de *E. cyclocarpum*, los tres modelos utilizados mostraron un bajo margen de error en los cálculos de T_m y los datos tienden a coincidir en un punto cercano del eje X en la parte supraóptima (Figura 5B, C y D; Figura 6B y C; Cuadro 2), lo cual disminuye la dependencia a la extrapolación de los datos, ya que obligan a los valores a tocar el eje X en el mismo punto en el cual no hubo germinación, o hubo cifras muy bajas, tal como sucedió con las semillas de El Verdineño. Solo el modelo curvilíneo en el análisis de *E. cyclocarpum* El Verdineño tuvo más variación en el margen de error, ya que en tres de ocho percentiles analizados se estimó 50 °C como temperatura máxima de germinación.

Sin embargo, todos los modelos presentaron un promedio de R^2 y R^2 ajustada similar, así que los valores fueron bien estimados a pesar de las diferencias en el margen de error. En ese sentido, los resultados de T_o de *E. cyclocarpum* concuerdan con la información reportada por Peraza *et al.* (2018), quienes hicieron pruebas de hidratación analizando el porcentaje de germinación con

semillas de parota a 25 °C y 35 °C con y sin escarificación, entre otros tratamientos pregerminativos, y obtuvieron porcentajes de germinación del 70 % para la mayoría de los tratamientos que utilizaron.

Los rangos de temperatura óptima de *Gmelina arborea* que fueron calculados en esta investigación concuerdan con la información documentada (Ramírez *et al.*, 2019; Romero, 2004), es decir, entre 28 a 36 °C. No obstante, también se contempló una fluctuación en el cálculo de las temperaturas cardinales en los tres modelos utilizados, lo cual podría sugerir que, si los ensayos de germinación de semillas de melina se expanden a un rango más amplio de temperaturas, la parte sub y supraóptima podría ser estimada sin mostrar tendencia a un margen de error tan amplio.

La longevidad de las semillas de *E. cyclocarpum* y *G. arborea* también puede ser un factor que está relacionado con los porcentajes de germinación de las semillas provenientes del estado de Nayarit, ya que las semillas de origen de El Corralillo, Tabasco, son al menos 2 meses más longevas que las de las localidades de Nayarit. Naithani *et al.* (2006) reportó porcentajes de germinación de semillas de *G. arborea* a diferentes periodos y temperaturas de almacenamiento, entre -20 a 20 °C, con diferentes contenidos de humedad, en cuyos resultados se destaca la relación entre los altos porcentajes de germinación de semillas más frescas y los bajos porcentajes de semillas más longevas, y que en todas las pruebas la influencia de la temperatura fue muy variable, incluso en valores de -20 y 0 °C.

Patil *et al.* (2018) explican que las temperaturas óptimas varían entre especies porque la actividad bioquímica de las semillas es alta en esos niveles y las constantes oscilaciones superiores o inferiores a la temperatura óptima afectan su actividad bioquímica, lo que podría impactar en la inhibición de la germinación de las semillas. Adicionalmente, la latencia puede ser otro factor por el cual las semillas no presentan germinación en las temperaturas extremas por el contenido de humedad o por las características propias de las semillas, porque los bajos valores del contenido de humedad o potencial hídrico están relacionados con las temperaturas altas, y cuando la temperatura incrementa y es constante, se induce latencia en las semillas y la germinación es inhibida (Alvarado y Bradford, 2002; Battla y Benech, 2015).

Conclusiones

Las semillas con mayor porcentaje de viabilidad para la elaboración de los ensayos de germinación fueron *Gmelina arborea* El Corralillo con 100 % de viabilidad en las pruebas iniciales; *Enterolobium cyclocarpum* El Corralillo con 100 % y El Verdineño con el 76.92 %. Los bajos porcentajes de germinación de semillas de *G. arborea* La Despensa en las pruebas preliminares no permitieron realizar los ensayos de germinación en el rango de temperatura de 10 a 45 ± 2 °C, y por lo tanto, no pudo ser posible el análisis de las temperaturas cardinales de esa localidad.

Tanto el trabajo experimental como la parte estadística del presente proyecto de investigación coincidieron con la información previamente documentada respecto al rango de temperaturas óptimas en el cual se presenta la capacidad germinativa más alta para *E. cyclocarpum*, entre 25 a 35 °C, y para *G. arborea*, entre 28 a 36 °C. Los modelos mostraron una precisión aceptable al estimar los valores de T_b y T_m de las dos especies, a pesar de las diferencias en el porcentaje de germinación final de las semillas de El Corralillo y El Verdineño de *E. cyclocarpum*, y de las

diferencias en el margen de error en el rango sub y supraóptimo entre los modelos de regresión lineal y no lineal.

Aunque el objetivo general fue estimar y analizar las temperaturas cardinales de *E. cyclocarpum* y *G. arborea*, también es fundamental continuar este tipo de estudios para casos particulares de especies que presentan altos gradientes de latencia o baja calidad de semillas, como fue el caso con *G. arborea* La Despensa; ya que las especies forestales como las del presente estudio resultan de gran interés por el aprovechamiento de sus recursos naturales, debido a que se tiene más registro de información sobre el análisis de temperaturas cardinales en especies herbáceas. Entonces, es crucial abrir más vías de investigación con el mismo enfoque con más especies forestales de importancia socioecológica, así como expandir las líneas de estudio con antecedentes de especies forestales ya analizadas.

Referencias

1. Alvarado, V. y Bradford, K. (2002). A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment* 25, 1061–1069 pp. doi: 10.1046/j.0016-8025.2002.00894.x
2. Andreucci, M., Moot, D., Black, A. y Sedcole, R. (2016). A comparison of cardinal temperatures estimated by linear and nonlinear models for germination and bulb growth of forage brassicas. *Europ. J. Agronomy* 81, 52–63 pp. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.010>
3. Arceo, T., Robles, E., Manrique, M., Martínez, A., Aragón, J., Aguirre, F., Ramírez, J., Pérez, M., Robles, R., Reyes, J., Can, A., Gutiérrez, E., Sánchez, B. y Zamora, P., (2022). Pre-germinative treatments and morphophysiological traits in *Enterolobium cyclocarpum* and *Piscidia piscipula* (Fabaceae) from the Yucatan peninsula, Mexico. *Plants* 11(2844), 1-14 pp. doi: <https://doi.org/10.3390/plants11212844>
4. Baumbach, L., Warren, D., Yousefpour, R y Hanewinkel, M. (2021). Climate change may induce connectivity loss and mountaintop extinction in Central American forests. *Communications Biology* 4(869), 1-12 pp. doi: <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02359-9>
5. Baskin, C. y Baskin, J. (2014). *Seeds. Ecology, biogeography and evolution of dormancy and germination*: Capítulo 1: Introduction (pp. 1-3). Segunda edición. Estados Unidos: Elsevier.
6. Batlla, D. y Benech, R. (2015). A framework for the interpretation of temperature effects on dormancy and germination in seed populations showing dormancy. *Seed science research* 1-12 pp, doi: 10.1017/S0960258514000452
7. Cabrera, D., Ordoñez, C., Sampayo, S., Campos, J., Orozco, A. y Flores, C. (2021). Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed Soaking, Germination, and Fatty Acid Behavior at Different Temperatures. *Agriculture* 11(498), 1-16 pp. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture11060498>
8. Cabrera, D., Ordoñez, C., Sampayo, S. y Campos, J. (2022). Quantifying Cardinal Temperatures of Chia (*Salvia hispanica* L.) Using Non-Linear Regression Models. *Plants* 11(1142), 1-18 pp. doi: <https://doi.org/10.3390/plants11091142>
9. Calzada, S., Kohashi, G., Uscanga, J., García, E. y Yáñez, P. (2014). Cardinal temperatures and germination rate in husk tomato cultivars. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 1451-1458. [en línea] <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nspe8/2007-0934-remexca-5-spe8-1451-en.pdf>

10. Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: Su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos Tropicales* 31(1), 74-85 pp.
11. Ellis, R., Covell, S., Roberts, E. y Summerfield, R. (1986). The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *J. Exp. Bot.* 37, 1503–1515 pp.
12. Fornah, Y., Mattia, S., Otesile, A. y Kamara, E. (2017). Effects of provenance and seed size on germination, seedling growth and physiological traits of *Gmelina arborea* Roxb. *International Journal of Agriculture and Forestry* 7(1), 28-34 pp. doi: 10.5923/j.ijaf.20170701.05
13. Hardegree, S. (2006). Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97, 1115–1125 pp.
14. Hidayati, F., Ishiguri, F., Makino, K., Tanabe, J., Aiso, H., Prasetyo, V., Marsoem, S., Wahyudi, I., Iizuka, K. y Yokota, S. (2017). The Effects of Radial Growth Rate on Wood Properties and Anatomical Characteristics and an Evaluation of the Xylem Maturation Process in a Tropical Fast-Growing Tree Species, *Gmelina arborea*. *Forest products journal* 67(3/4), 297-303 pp. doi: 10.13073/FPJ-D-16-00027
15. Magnitskiy, S. y Plaza G. (2007). Fisiología de semillas recalcitrantes de árboles tropicales. *Agron. Colomb.* 25(1), 96-103 pp. [en línea]: http://www.scielo.org.co/scielo.php?sci_arttext
16. Maisuria, H., Dhaduk, H., Kumar, S., Sakure, A. y Thounaojam, A. (2023). Physiological and gene expression responses involved in teak (*Tectona grandis* L.) seedlings exposed to osmotic and salt stressors. *Molecular Biology Reports* 50, 4875–4886 pp. doi: <https://doi.org/10.1007/s11033-023-08437-x>
17. Martínez, P., Domínguez, M., Juárez, A., López, L., de la Cruz, V. y Álvarez, J. (2015). Índice de sitio y producción maderable en plantaciones forestales de *Gmelina arborea* en Tabasco, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 38(4), 415 - 425 pp.
18. Masilamani, P., Rajanbabu V., Venkatesan S., Alagesan A., Velanganni A. y Navamaniraj K. (2022). Effect of ageing on in vitro true seed and in vivo drupe germination and its dormancy mechanism in teak (*Tectona grandis* Linn.f). *Journal of Applied and Natural Science*, 14(3), 720-728 pp. Doi: <https://doi.org/10.31018/jans.v14i3.3501>
19. Mensah, S. y Agbagwa, I. (2004). Breaking dormancy in *Gmelina arborea* Roxb. through treatment of seeds with chemical substances and alternating temperatures. *Journal of biological research and biotechnology* 2(1), 59-66 pp.
20. Muñoz, H., Sáenz, J., Rueda, A., Castillo, D., Castillo, F., Avila, D. (2016). Areas with Potential for Commercial Timber Plantations of *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. in Michoacán, México. *Open Journal of Forestry* 6(5), 476-485 pp. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2016.65036>
21. Naithani, R., Varghese, B., Kant, K., Dulloo, M. y Naithani, S. (2006). Post harvest storage physiology of *Gmelina arborea* roxb. seeds. *Indian J. Plant Physiol* 11(1), 20-27 pp.
22. Owoh, P., Offiong, M., Udofia, S. y Ekanem, V. (2011). Effects of seed size on germination and early morphological and physiological characteristics of *Gmelina arborea*, Roxb. *African research review* 5(23), 422-433 pp. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/afrr.v5i6.33>
23. Palanisamy, K., Hedge, M., Yi, J. (2009). Teak (*Tectona grandis* Linn. f.): A Renowned Commercial Timber Species. *Journal of Forest Science* 25(1), 1-24 pp.

24. Patil, Y., Saralch, H., Mahale, S., Chauhan, S. y Sharma, R. (2018). Effect of Growing Environment, Fruit Maturity and Sowing Time on Germination and Seedling Growth of *Gmelina arborea* Roxb. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci* 7(12), 2543-2552 pp. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.712.289>
25. Peraza, H., Sánchez, M., Lindig, R., Tinoco, C., Velázquez, N., Cámara, L. y Orozco, A. (2018). Seed Priming Effects on Germination and Seedling Establishment of Useful Tropical Trees for Ecological Restoration. *Tropical Conservation Science* 11, 1–15 pp. doi: 10.1177/1940082918817886
26. Ramírez, G., Lozano, M. y Ramírez, J. (2019). Potential Areas for Growing *Gmelina arborea* Roxb., under Rainfed Conditions in Tabasco, Mexico. *Agricultural Sciences* 10, 1206-1216 pp. doi: 10.4236/as.2019.109090
27. Romero, J. (2004). A review of propagation programs for *Gmelina arborea*. *New forest* 28, 245-254 pp.
28. Salazar, A. y Ramírez, C. (2018). Mechanical scarification improves seed germination of *Enterolobium cyclocarpum*, a valuable neotropical tree. *Seed Technology* 39(1/2), 25-34 pp.
29. Sampayo, S., Cabrera, D., Dávila, P., Rodríguez, I., Orozco, A., Gianella, M., Bell, E., Way, M., Manson, R., Quintas, G., Flores, C. y Ulian, T. (2025). Using the optimal seed germination temperature approach to determine the potential distribution of Inga jinicuil in Mexico under climate change scenarios. *Scientific Reports* 15(3951), doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88171-5>
30. Sampayo, S., Castillo, C., Jiménez, C., Sánchez, M., Jasso, V. y López, J. (2017). Germinación *in vitro* de semillas de *Cedrela odorata* L. de genotipos extintos. *Agroproductividad* 10(8), 53-58 pp.
31. Sampayo, S., Ordonez, C., Mattana, E., Way, M., Castillo, E., Dávila, P., Lira, R., Téllez, O., Rodríguez, N. y Flores, C. (2019). Thermal time and cardinal temperatures for germination of *Cedrela odorata* L. *Forests* 10(841), 1-17
32. Sampayo, S., Ordoñez, C., Maitana, E., Way, M., Castillo, E., Dávila, P., Lira, R., Téllez, O., Rodríguez, N., Ulian, T. y Flores, C. (2021). Thermal niche for seed germination and species distribution modelling of *Swietenia macrophylla* King (Mahogany) under climate change scenarios. *Plants* 10(2377), 1-20 pp. doi: <https://doi.org/10.3390/plants10112377>
33. Sampayo, S., Ordonez, C., Mattana, E., Ulian, T., Way, M., Castillo, E., Dávila, P., Lira, R., Téllez, O., Rodríguez, N., Flores, C. y (2023). Potential distribution of *Cedrela odorata* L. in Mexico according to its optimal thermal range for seed germination under different climate change scenarios. *Plants* 12(150), 1-18 pp.
34. Siregar, I., Fauziah, K., Aris, Y. y Sudrajat, D. (2020). Seed germination characteristics in different storage time of *Gmelina arborea* treated with ultrafine bubbles priming. *Biodiversitas* 21(10), 4558-4564 pp. doi: 10.13057/biodiv/d211013
35. Sukariyan, Marjenah, Kustiawan, W. y Hartati, W. (2020). Breaking dormancy of seeds (*Enterolobium cyclocarpum* Grieb) using AC water media
36. Thomas, E., Gil, C., Gutiérrez, J., Alcázar, C., Moscoso, L., Becerra, L., Loo, J. y González, M. (2016). Genetic diversity of *Enterolobium cyclocarpum* in Colombian seasonally dry tropical forest: implications for conservation and restoration. *Biodivers Conserv* 26, 825-842 pp. doi: 10.1007/s10531-016-1274-8
37. Trindade, B., Nobre, J., Lobo, C., Melo, F. y Medeiros, S. (2015). Germinación y crecimiento de plántulas de *Enterolobium contortisiliquum* en función del peso de la semilla y las condiciones de temperatura y luz. *Agrociencia* 49(3), 315-327 pp.

38. Venkatesan, S., Masilamani, P., Eevera, T., Janaki, P., Sundareswaran, S. y Rajkumar, P. (2023). Biochemical mechanisms associated with dormancy in teak (*Tectona grandis*) drupes and true seeds. *Journal of Tropical Forest Science* 35(3), 299–310 pp. doi: <https://doi.org/10.26525/jtfs2023.35.3.299>
39. Viveros, H., Hernández, J., Velasco, M., Robles, R., Ruiz, C., Aparicio, A., Martínez, M., Hernández, J. y Hernández, M. (2015). Análisis de semillas, tratamientos pregerminativos de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. y su crecimiento inicial. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(30), 52-65 pp.
40. Viveros, H., Quino, K., Velasco, M., Sánchez, G. y Velasco, E. (2017). Variación geográfica de la germinación en *Enterolobium cyclocarpum* en la costa de Oaxaca, México. *Bosque* 38(2), 317-326 pp. doi: 10.4067/S0717-92002017000200009