



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN AGRONOMÍA PARA LA
PRODUCCIÓN SUSTENTABLE**

TESIS

**“Influencia del peso en la germinación y viabilidad de semillas del árbol
Dalbergia palo-escrito en condiciones de vivero”**

Para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo Para La Producción Sustentable

PRESENTA

Flores Gutiérrez Raúl Emmanuel

Director de la tesis:

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

Codirectora de Tesis:

Dra. Iridiam Hernández Soto

Comité tutorial:

Dr. Oscar Arce Cervantes

M. en C. Gabriela De Vega Luttmann

M. en C. Ana Karen Zaldívar Ortega

Tulancingo de Bravo, Hgo, a 11 de noviembre del 2025.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 11 de noviembre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a él pasante de Licenciatura en Ingeniería en Agronomía para la Producción Sustentable, **Raúl Emmanuel Flores Gutiérrez**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"Influencia del peso en la germinación y viabilidad de semillas del árbol Dalbergia palo-escrito en condiciones de vivero"**, que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE

Dr. Oscar Arce Cervantes

SECRETARIO

M. en C. Gabriela de Vega Luttmann

VOCAL 1

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos

VOCAL 2

Dra. Iridiam Hernández Soto

VOCAL 3

M. en C. Ana Karen Zaldívar Ortega

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos
Coordinador de la Licenciatura en Ingeniería
en Agronomía para la Producción Sustentable



"Amor, Orden y Progreso"



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo.
C.P. 43775. Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero,
Hidalgo, México.
Teléfono: 7717172000 Ext. 42000
pelaeza@uaeh.edu.mx

uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos, por su guía, paciencia y valioso apoyo durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este trabajo. A mi co-directora, la Dra. Iridiam Hernández Soto, por sus valiosas observaciones, acompañamiento constante y motivación para fortalecer cada etapa del proceso.

De igual manera, agradezco profundamente al comité tutorial, conformado por el Dr. Arce Cervantes, la M. en C. Gabriela de Vega Luttmann y la M. en C. Ana Karen Zaldívar Ortega, por sus orientaciones académicas, aportes técnicos y sugerencias que enriquecieron la calidad científica de esta investigación.

A mi familia, por ser mi mayor fuente de fortaleza y amor. A mis padres, Isabel Gutiérrez Badillo y Raúl Flores Neri, quienes con su esfuerzo, apoyo incondicional y ejemplo me inspiraron a continuar hasta alcanzar esta meta. Cada logro obtenido es también fruto de su dedicación y confianza.

Agradezco profundamente al Instituto de Ciencias Agropecuarias por haberme brindado el espacio dentro del vivero, los recursos y la orientación necesarios para la realización de este trabajo de investigación, así como por fomentar en mí el compromiso con la ciencia y del apoyo al campo.

También agradezco a la familia García Santillán por el apoyo y consejo que me dieron durante los últimos meses de este proyecto, a mi novia Wendy por su cariño y apoyo incondicional, sin ella acompañándome en este proceso no hubiera podido terminar este proyecto.

Finalmente, agradezco a mis amigos Fernando Garcia, Isaura Gutierrez, Antonio tapia, Enrique Enciso y todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron con su tiempo, conocimiento o palabras de aliento al desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por haberme dado la fortaleza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa. Por guiar cada paso de mi camino y ponerme a las personas correctas en este proceso, por darme esperanza incluso en los momentos más difíciles.

A mis padres, Isabel Gutiérrez Badillo y Raúl Flores Neri, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y por ser mi mayor ejemplo de perseverancia y entrega. Gracias por brindarme los espacios, el tiempo y las oportunidades necesarias para realizar este trabajo; su apoyo y confianza fueron pilares fundamentales para alcanzar esta meta.

A mis hermanos, Ángel y Jaqueline, por su cariño, apoyo y comprensión a lo largo de este camino; A mis tíos Alfonso Neri, Olga Neri y Odalys Neri y a mi abuelita Joaquina, su presencia y ánimo constante fueron un impulso invaluable.

Al instituto de ciencias agropecuarias de la universidad autónoma del estado de Hidalgo por haberme brindado la formación académica, los recursos y el acompañamiento que hicieron posible este trabajo. A cada docente e investigador que formó parte de mi proceso educativo, gracias por su dedicación y compromiso con la enseñanza y los alumnos. A mis directores de tesis, el Dr. Sergio Rubén Pérez Ríos y la Dra. Iridiam Hernández Soto, así como a mis asesores, el Dr. Arce Cervantes, la M. en C. Gabriela de Vega Luttmann y la M. en C. Ana Karen Zaldívar Ortega, por compartir su conocimiento, tiempo y paciencia. Su guía académica y humana fue fundamental para la realización de este proyecto.

A la familia García Santillán, por su apoyo, compañía y generosidad durante los últimos meses de esta investigación. Su ayuda desinteresada y su calidez hicieron más llevadero este proceso. A mi novia Wendy por ser tan paciente y comprensiva conmigo en todo el proceso y motivarme a seguir a pesar de las adversidades.

Dedico este trabajo a todos ellos, con gratitud y afecto, dedico este trabajo que representa no solo un logro académico, sino también un testimonio de esfuerzo, fe y amor.

CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	4
2.1. Importancia económica y agronómica de la especie.....	4
2.1.1. Importancia económica.....	4
2.1.2. Importancia agronómica.....	4
2.2. Problemáticas de conservación	5
2.3. Regeneración y propagación de la especie	6
2.3.1. Regeneración natural	6
2.4. La Germinación de las semillas de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	7
2.4.1. Concepto general de germinación	7
2.4.2. Germinación en el género <i>Dalbergia</i> y en <i>Dalbergia palo-escrito</i>	7
2.4.3. Importancia del tamaño y peso de la semilla en la germinación	8
3. MARCO TEÓRICO	10
3.1. Taxonomía y Distribución de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	10
3.2. Morfología de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	10
3.2.1. Inflorescencia de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	10
3.2.2. Frutos (vainas) y semillas de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	11
3.3. Relaciones interespecíficas de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	12
3.4. Reproducción de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	13
3.4.1. Reproducción sexual <i>Dalbergia palo-escrito</i>	13
3.4.2. Reproducción asexual o vegetativa.....	14
3.5. Calidad de la semilla y características de una buena semilla.....	15
3.6. Condiciones Climáticas de Tulancingo, Hidalgo.....	16
3.7. Proceso de recolección y preparación de la semilla	17
3.8. Capacidad de charolas germinativas y tubetes; Posición de la semilla.	18
3.9. Diferencia entre germinación y emergencia	18
3.10. Sustrato para la germinación de la semilla.....	18

3.10.1. Peat moss (turba de musgo).....	19
3.10.2. Perlita.....	19
3.10.3. Vermiculita	20
3.11. Importancia del Hipoclorito de sodio	20
4. JUSTIFICACIÓN	21
5. HIPÒTESIS	22
6. OBJETIVOS	23
6.1. Objetivo general.....	23
6.2. Objetivos específicos	23
7. MATERIALES Y MÈTODOS.....	24
7.1. Descripción general del estudio.....	24
7.2. Recolección del material vegetal	24
7.3. Clasificación de las semillas	26
7.4. Desinfección del material vegetal <i>Dalbergia palo-escrito</i>	28
7.5. Preparación del sustrato	28
7.6. Preparación de tubetes y llenado.....	29
7.7. Siembra en tubetes.....	30
7.8. Manejo y condiciones del vivero.....	31
7.9. Estructura experimental y registro de emergencia	31
8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	32
9. RESULTADOS.....	33
9.1. Comportamiento general de la germinación y emergencia.....	33
10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	35
11. CONCLUSIONES	36
12. REFERENCIAS	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Inflorescencia de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	11
Figura 2: Vainas y semillas de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	12
Figura 3: Raíces adventicias de tallos mediante acodos aéreos de <i>Dalbergia palo-escrito</i>	15
Figura 4: Calidad de la semilla (aspectos físicos, fisiológicos y sanitarios).....	16
Figura 5: Recolección de material vegetal.....	17
Figura 6: Sitio experimental.....	24
Figura 7: Recolección de vainas con semilla de palo-escrito	25
Figura 8: Semillas de palo-escrito embolsadas para control de humedad	25
Figura 9: Pesaje de semilla con balanza analítica	26
Figura 10: Separación de semillas por peso y valores intermedios	27
Figura 11: Semillas con rango de peso	27
Figura 12: Mezcla homogénea de peat moss, perlita y vermiculita.....	29
Figura 13: Llenado de tubetes con sustrato.....	29
Figura 14: Siembra de charolas normales y testigo	30
Figura 15: Charolas de tubetes con malla de protección	30
Figura 16: Riego de tubetes a capacidad de campo	31
Figura 17: Total de semillas germinadas por tratamiento.....	33
Figura 18: Distribución de las categorías de respuesta	34

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Rango de peso de las semillas.....	26
Tabla 2: Total de unidades experimentales:.....	32

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito evaluar la viabilidad y el comportamiento germinativo de semillas de *Dalbergia palo-escrito* bajo condiciones controladas de vivero, con la finalidad de generar información técnica que contribuya a la propagación, manejo y conservación de la especie. La investigación se desarrolló en Tulancingo, Hidalgo, y comprendió etapas de recolección de material vegetal, clasificación de semillas por tamaño y peso, desinfección, preparación de sustratos, establecimiento en tubetes y registro detallado del proceso de germinación y emergencia. Las semillas fueron recolectadas de ejemplares maduros y posteriormente clasificadas en tres categorías (pequeñas, medianas y grandes) con base en rangos específicos de peso. Se aplicó un protocolo de desinfección con hipoclorito de sodio para eliminar posibles patógenos y garantizar un desarrollo adecuado del embrión. Para la siembra se empleó un sustrato homogéneo compuesto por peat moss, perlita y vermiculita, acondicionado a capacidad de campo. La germinación se llevó a cabo en tubetes previamente desinfectados y distribuidos en repeticiones experimentales tanto para tratamientos normales como para testigos. Durante el proceso se registraron las fechas de germinación y emergencia, además de las pérdidas y fallas asociadas al desarrollo embrionario. La información obtenida permitió analizar la influencia del tamaño y peso de la semilla, así como del manejo sanitario y del sustrato, en el desempeño germinativo inicial de *Dalbergia palo-escrito*. Los resultados generados aportan elementos técnicos para optimizar su propagación en vivero y fortalecer estrategias de manejo sostenible y conservación de esta especie de importancia ecológica, económica y cultural.

Palabras clave: *Dalbergia palo-escrito*; viabilidad de semillas; germinación; propagación forestal; clasificación por tamaño y peso.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the viability and germinative performance of *Dalbergia palo-escrito* seeds under controlled nursery conditions, in order to generate technical information that supports the propagation, management, and conservation of the species. The research was carried out in Tulancingo, Hidalgo, and included several stages: collection of plant material, classification of seeds by size and weight, disinfection procedures, substrate preparation, sowing in germination tubes, and detailed monitoring of germination and seedling emergence. Seeds were collected from mature and healthy trees, then classified into three categories (small, medium, and large) based on specific weight ranges. A disinfection protocol using sodium hypochlorite was applied to eliminate pathogens that could interfere with embryo development. A homogeneous substrate composed of peat moss, perlite, and vermiculite was prepared and adjusted to field capacity for use in germination tubes previously disinfected. Seeds from each size category were sown in controlled conditions using experimental repetitions and corresponding control treatments. Throughout the experiment, daily records were taken to document germination dates, emergence, failures, and seed losses. The data allowed the analysis of how seed size, weight, sanitary management, and substrate composition influenced the early germinative behavior of *Dalbergia palo-escrito*. The findings provide essential technical insights to improve nursery propagation practices and strengthen sustainable management and conservation strategies for this ecologically, economically, and culturally significant species.

Keywords: *Dalbergia palo-escrito*; seed viability; germination; nursery propagation; classification by size and weight.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista agronómico, el palo-escrito ha mostrado potencial como forraje para ganado debido a la calidad nutritiva de sus hojas y su capacidad de regeneración tras el pastoreo, características reportadas en varias especies del género *Dalbergia* dentro de sistemas silvopastoriles (Rueda et al., 2014; Sotelo-Montes & Weber, 1997). Su rápido crecimiento y adaptación a climas variables lo hacen una opción viable para sistemas agroforestales y programas de alimentación animal en regiones rurales (CONABIO, 2020; ReviveMX, s.f.). Además, la especie desempeña un papel ecológico crucial al contribuir a la fijación de nitrógeno en el suelo y mejorar la cobertura vegetal, funciones ampliamente documentadas para miembros de la familia *Fabaceae* (Azcón-Bieto & Talón, 2008; Rueda et al., 2014).

El palo-escrito es apreciado por su madera dura y resistente, utilizada tradicionalmente en la fabricación de muebles, artesanías y herramientas locales, gracias a sus propiedades anatómicas y su durabilidad natural (CITESwoodID, 2023; CONABIO, 2020). La importancia cultural se refleja en su presencia en tradiciones y prácticas comunitarias, en las que la madera y las semillas han sido empleadas históricamente en objetos ceremoniales y ofrendas (CONABIO, 2020).

Desde el punto de vista biológico, el *Dalbergia palo-escrito* pertenece a la familia *Fabaceae* y se caracteriza por ser un árbol caducifolio de tamaño mediano, con hojas compuestas pinnadas y flores pequeñas de color blanco o rosado. Sus frutos son legumbres que contienen semillas duras, cuyas características físicas y fisiológicas influyen directamente en la germinación y viabilidad (ReviveMX, s.f.; Azcón-Bieto & Talón, 2008). La comprensión de estos atributos taxonómicos, biológicos y ecológicos es fundamental para diseñar estrategias de propagación y conservación efectivas.

En conjunto, el estudio de la viabilidad de las semillas de palo-escrito no solo aporta información relevante para la restauración y manejo de la especie, sino que también contribuye a la conservación de los ecosistemas locales, al fortalecimiento de sistemas agroforestales y a la preservación del patrimonio cultural del estado de Hidalgo (CONABIO, 2020). Esta investigación busca, por tanto, ofrecer datos científicos que permitan optimizar los procesos de germinación y propiciar un aprovechamiento sostenible de esta valiosa especie forestal.

2. ANTECEDENTES

2.1. Importancia económica y agronómica de la especie

2.1.1. Importancia económica

La madera de *Dalbergia palo-escrito* posee un elevado valor comercial, tanto a nivel nacional como internacional, gracias a su apreciada calidad estética y física. Se le describe como una madera de duramen castaño a violáceo con vetas pronunciadas, muy demandada para la ebanistería fina y la fabricación de instrumentos musicales, hechos a mano en México, “los productos de esta especie se cotizan a altos precios en el mercado por su gran demanda” (CITES, 2022).

En el ámbito local, se encuentran ejemplos de guitarras artesanales hechas con palo-escrito que se cotizan por miles de pesos mexicanos, lo cual evidencia su potencial como producto de valor agregado en comunidades artesanales (Mayoreo Musical MX, 2025).

Por tanto, la especie no sólo representa un recurso forestal valioso, sino una fuente de ingresos para productores, artesanos y viveristas, siempre que se maneje bajo principios de sostenibilidad y legalidad.

2.1.2. Importancia agronómica

Como miembro de la familia *Fabaceae*, *Dalbergia palo-escrito* pertenece a un grupo de plantas leguminosas que suelen establecer relaciones simbióticas con bacterias rizobiales, lo que les permite fijar nitrógeno atmosférico y enriquecer la fertilidad de los suelos (Copeland & McDonald, 2001). Aunque no se ha publicado un estudio específico detallado para esta especie sobre nódulos rizobiales, la historiografía del género sugiere que abre la posibilidad de su uso en sistemas agroforestales como el silvopastoreo, (Meyrat, 2017).

En ese sentido, la especie puede desempeñar un papel en sistemas de asociación agraria, como cercas vivas, sombra para pastoreo, o enriquecimiento de potreros, contribuyendo al mejoramiento de suelo, a la diversificación productiva o al alimento para rumiantes, dado que muchas leguminosas arbóreas son utilizadas como forraje (Prof.EnLínea, 2025).

Por otro lado, su propagación investigada e implementación bajo condiciones de vivero permite generar plántulas de calidad para reforestación, restauración ecológica y producción sostenible, lo que incrementa su relevancia agronómica en el estado de Hidalgo y regiones similares con climas cálidos a templados (Revivemx, 2025).

En suma, su función agronómica se extiende más allá de la madera: mejora del suelo, diversificación productiva y sostenibilidad ecológica.

2.2. Problemáticas de conservación

Desde la perspectiva de la conservación, el género *Dalbergia* presenta múltiples retos: falta de datos taxonómicos y ecológicos para muchas especies, ausencia de monitoreo continuo, y vacíos legales en algunos casos. Sólo algunas especies mexicanas han sido evaluadas por la IUCN y listadas en la normativa nacional (NOM-059-SEMARNAT), lo que limita la asignación de recursos de conservación (Cervantes et al., 2019).

El comercio internacional de su madera, junto con la dificultad para diferenciar especies comercialmente similares, genera incertidumbre sobre las fuentes legales y compromete la trazabilidad. Esto obstaculiza la implementación de planes de manejo forestal, la certificación y la rehabilitación de poblaciones explotadas (CEC, 2020).

Asimismo, la regeneración natural limitada, la baja germinación y el establecimiento débil de plántulas en muchas especies del género dificultan los esfuerzos de restauración. La ausencia de protocolos de propagación específicos y la falta de viveros adaptados inhiben la reintroducción de individuos en poblaciones decrecientes (Martínez-Peralta et al., 2022).

En conjunto, la convergencia de los factores sociales, ambientales y de conservación exige una acción intersectorial que aborde no sólo la explotación maderable, sino también la restauración ecológica, la gobernanza de los recursos y la participación comunitaria.

2.3. Regeneración y propagación de la especie

2.3.1. Regeneración natural

La regeneración natural del palo escrito depende de diversos factores ambientales, fisiológicos y ecológicos. Las semillas se dispersan principalmente por anemocoria (viento), favorecida por el bajo peso y la morfología de las vainas secas, que actúan como estructuras de dispersión (Pennington & Sarukhán, 2005).

Una vez en el suelo, la germinación ocurre bajo condiciones específicas de humedad y temperatura, generalmente durante la temporada de lluvias, cuando la humedad del sustrato y la temperatura del suelo oscilan entre 25 y 30 °C (Hartmann et al., 2011).

Sin embargo, el establecimiento natural se ve limitado por varios factores:

- La impermeabilidad de la testa provoca dormancia física, reduciendo el porcentaje de germinación.
- La predación de semillas y plántulas por insectos o herbívoros.
- La competencia por luz y nutrientes en sitios degradados.
- La baja viabilidad de las semillas después de la dispersión, ya que su periodo de almacenamiento útil es corto.

Estas condiciones provocan que la regeneración natural del *Dalbergia palo-escrito* sea escasa en muchos sitios de su distribución actual. No obstante, cuando las condiciones del microclima son favorables, las plántulas muestran una alta capacidad de adaptación al estrés hídrico, lo que favorece su establecimiento en suelos semiáridos (Bewley et al., 2013).

2.4. La Germinación de las semillas de *Dalbergia palo-escrito*

2.4.1. Concepto general de germinación

La germinación es el proceso fisiológico mediante el cual una semilla viable retoma su actividad metabólica tras un periodo de latencia, y da inicio al desarrollo de una nueva plántula. Este proceso comienza cuando la semilla absorbe agua (imbibición), lo que activa enzimas hidrolíticas encargadas de movilizar las reservas del endospermo o de los cotiledones, permitiendo el crecimiento del embrión (Bewley et al., 2013; Copeland & McDonald, 2001). La aparición de la radícula es considerada el indicador fisiológico de germinación y marca el éxito del proceso (ISTA, 2020).

La germinación comprende tres fases:

- Fase I (Imbibición): absorción rápida de agua.
- Fase II (Activación metabólica): síntesis de enzimas, respiración activa y movilización de reservas.
- Fase III (Crecimiento): expansión celular y emergencia de la radícula (Baskin & Baskin, 2014).

En especies forestales tropicales, la eficiencia de estas fases depende de factores internos como el estado fisiológico del embrión, el contenido de reservas y la integridad de los tejidos, así como factores externos: humedad, sustrato, temperatura y manejo sanitario (Hartmann et al., 2011).

2.4.2. Germinación en el género *Dalbergia* y en *Dalbergia palo-escrito*

El género *Dalbergia* (*Fabaceae*) comprende árboles de madera densa y semillas duras, cuya germinación está influenciada por la dureza de la testa, el nivel de humedad ambiental y la calidad fisiológica de la semilla (Pennington & Sarukhán, 2005; CONABIO, 2020). Las semillas de *Dalbergia palo-escrito* presentan una testa relativamente resistente y un embrión

pequeño, con reservas limitadas si se compara con otras *Fabaceae* de mayor tamaño. Esto implica que las semillas requieren condiciones estables de humedad, un sustrato aireado y un manejo sanitario adecuado para evitar pérdidas por hongos, dada su susceptibilidad natural (ReviveMX, s.f.).

Estudios previos en otras especies del género, como *Dalbergia sissoo* o *Dalbergia retusa*, indican que la germinación ocurre entre los 10 y 25 días posteriores a la siembra, dependiendo de la temperatura, el nivel de humedad y el manejo previo de la semilla (Sasidharan et al., 2019). Este comportamiento puede ser observado en *Dalbergia palo-escrito*, donde la germinación inicia en la segunda semana posterior a la siembra, mostrando patrones fisiológicos del género y de la familia *Fabaceae*.

2.4.3. Importancia del tamaño y peso de la semilla en la germinación

El tamaño y peso de la semilla son indicadores esenciales de su calidad fisiológica, ya que determinan la cantidad de reservas disponibles para sostener el crecimiento inicial del embrión. En términos fisiológicos, las semillas más grandes y con mayor peso contienen proporciones superiores de carbohidratos, lípidos y proteínas, lo que favorece un crecimiento inicial más vigoroso y mayor probabilidad de emergencia exitosa (Bewley et al., 2013; Rastegar & Kandi, 2011).

Diferentes estudios han demostrado correlaciones positivas entre el tamaño de semilla y la germinación en especies cultivadas y forestales como: Frijol soya y especies forestales tropicales (Rastegar & Kandi, 2011; Luna-Niño, 2019). Estas relaciones se deben a que las reservas iniciales permiten superar condiciones adversas, tolerar tasas de imbibición desiguales y sostener la elongación inicial de la radícula; en *Fabaceae*, la importancia del peso es aún mayor debido a que muchas especies presentan testas endurecidas, lo que retrasa o limita el flujo de agua hacia el embrión. Por ello, las semillas de mayor peso y mejor conformación tienden a germinar primero y mantener una emergencia más consistente (Hartmann et al., 2011; Copeland & McDonald, 2001).

En *Dalbergia palo-escrito*, el peso de la semilla varía entre 0.03 g y 0.13 g, dependiendo del grado de madurez y la calidad del fruto (ReviveMX, s.f.). Esta variabilidad se traduce en diferencias significativas en la germinación:

- Semillas pequeñas: reservas limitadas y suelen tener menor vigor y menor probabilidad de emergencia.
- Semillas medianas: cuentan con un equilibrio entre el peso y las reservas con germinaciones más estables.
- Semillas grandes: tienen mayor contenido de reservas y por ende mayor probabilidad de completar la germinación y emergencia. Estos patrones coinciden con resultados ampliamente documentados en *Fabaceae*, donde las semillas de mayor biomasa presentan mejor desempeño germinativo (González et al., 2013; Hartmann et al., 2011). El uso de semillas clasificadas por peso y tamaño permite mejorar la uniformidad en germinación, optimizar el espacio de vivero y aumentar el porcentaje de plántulas aptas para trasplante (ISTA, 2020).

El estudio técnico de la germinación permite estandarizar prácticas de producción en vivero, mejorar la supervivencia de plántulas y fortalecer los programas de conservación y manejo sostenible de la especie.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Taxonomía y Distribución de *Dalbergia palo-escrito*

Dalbergia palo-escrito Rzed. & Guridi-Gómez es una especie del género *Dalbergia* (familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionoideae*) descrita como endémica de México, con ocurrencia documentada en la Sierra Madre Oriental y estados como Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, además de Guerrero, Oaxaca y Morelos (Figura 6), (Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988).

3.2. Morfología de *Dalbergia palo-escrito*

Dalbergia palo-escrito es un árbol que puede variar desde porte arbustivo hasta alcanzar dimensiones arbóreas considerables; registros y trabajos locales reportan alturas variables que en condiciones favorables pueden superar los 10–20 m (Tobón, 2025). A continuación se describen sus órganos principales:

3.2.1. Inflorescencia de *Dalbergia palo-escrito*

Se inflorescencias en racimos multifloros; flores papilionáceas típicas de *Fabaceae* con corola bilabiada, estandarte, alas y quilla; la coloración suele ser blanca a amarillo pálido (Figura 1), y la morfología floral favorece la polinización por insectos como abejas y mariposas (Sasidharan et al., 2019).



Figura 1: Inflorescencia de *Dalbergia palo-escrito*
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, et al. 2023)

3.2.2. Frutos (vainas) y semillas de *Dalbergia palo-escrito*

Frutos (vainas) y semillas: el fruto es una legumbre aplanada que contiene típicamente 1–3 semillas ovadas (Figura 2); las semillas son de testa dura, coloración marrón a pardo claro al madurar, superficie lisa y reservas internas que determinan su vigor. El tamaño y peso de la semilla son indicadores importantes de la calidad fisiológica (Rzedowski & Guridi-Gómez, 1988; Hartmann et al., 2011).



Figura 2: Vainas y semillas de *Dalbergia palo-escrito*

(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

3.3. Relaciones interespecíficas de *Dalbergia palo-escrito*

Como leguminosa, *Dalbergia palo-escrito* establece múltiples interacciones ecológicas que la integran funcionalmente en los ecosistemas donde ocurre. La simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium* y otros rizobios) permite el aporte de nitrógeno al suelo, beneficiando la productividad local y la sucesión ecológica (Meyrat, 2017). Sus flores atraen polinizadores (abejas, lepidópteros y ocasionalmente aves) que facilitan la polinización cruzada, importante para mantener la diversidad genética y la producción de frutos (Sasidharan et al., 2019). Asimismo, los frutos y semillas pueden ser consumidos o dispersados por fauna silvestre (aves y mamíferos), favoreciendo la regeneración natural en zonas impactadas por la deforestación.

Estas relaciones funcionales integran a *Dalbergia palo-escrito* en redes tróficas y mutualistas; la presencia de la especie puede mejorar la estructura del suelo, la retención hídrica y la disponibilidad de recursos para especies asociadas, lo que la convierte en candidata para sistemas agroforestales y proyectos de restauración ecológica (Barber et al., 2015; Meyrat, 2017).

3.4. Reproducción de *Dalbergia palo-escrito*

La reproducción en *Dalbergia palo-escrito* puede presentarse tanto por vía sexual, mediante la formación y dispersión de semillas viables, como por vía asexual o vegetativa, a través de estructuras que permiten la regeneración del tejido leñoso.

3.4.1. Reproducción sexual *Dalbergia palo-escrito*

La reproducción sexual es el principal mecanismo natural de propagación de *Dalbergia palo-escrito*. El proceso inicia con la floración, la cual ocurre generalmente durante la temporada de lluvias, entre los meses de junio y septiembre, dependiendo de las condiciones ambientales de la región. Las flores son hermafroditas, pequeñas y de color blanco o amarillento, agrupadas en racimos terminales o axilares (Pennington & Sarukhán, 2005).

El árbol presenta polinización entomófila, es decir, mediada por insectos, principalmente abejas (Apidae), que facilitan la transferencia de polen entre flores y aseguran la fecundación cruzada. No obstante, la especie también puede presentar autopolinización parcial, lo que garantiza cierta producción de semillas aun en condiciones de baja diversidad polinizadora (González et al., 2013).

Tras la fecundación, se desarrollan vainas aplanadas de color marrón, las cuales contienen de una a tres semillas. Estas semillas son de forma lenticular, lisas y de tonalidad amarillenta a parda clara. La madurez fisiológica se alcanza al secarse la vaina, momento en el cual se facilita la dispersión por el viento, debido a su bajo peso y a la estructura de la vaina (Rzedowski, 2006).

La germinación de las semillas ocurre cuando se dan condiciones adecuadas de temperatura (25–30 °C) y humedad del sustrato, con buena aireación. Sin embargo, las semillas de *Dalbergia palo-escrito* presentan en ocasiones dormancia física, atribuida a la impermeabilidad de la testa, lo que puede requerir tratamientos pregerminativos como escarificación mecánica o remojo en agua caliente (Hartmann et al., 2011).

3.4.2. Reproducción asexual o vegetativa

La reproducción asexual o vegetativa en *Dalbergia palo-escrito* es posible, aunque menos frecuente de forma natural. Este tipo de propagación ocurre a partir de brotes de raíces adventicias, estacas o chupones que surgen de la base del tronco o raíces superficiales, especialmente después de la poda o de daños mecánicos (Figura 3), (Bewley et al., 2013).

En condiciones controladas, se ha logrado la multiplicación vegetativa mediante estaquillas semileñosas, las cuales, tratadas con reguladores de crecimiento como ácido indolbutírico (AIB), presentan un enraizamiento exitoso entre 60 y 80 % bajo condiciones de humedad controlada y sombra parcial (Hartmann et al., 2011).

Esta forma de propagación es útil en programas de reforestación y conservación genética, ya que permite mantener las características genéticas de los individuos superiores. Además, la propagación vegetativa es esencial cuando se busca la reproducción clonal de ejemplares seleccionados, reduciendo el tiempo necesario para la producción de plántulas (Copeland & McDonald, 2001).



Figura 3: Raíces adventicias de tallos mediante acodos aéreos de *Dalbergia palo-escrito*.

(Contreras Téllez, et al. 2023)

3.5. Calidad de la semilla y características de una buena semilla

La calidad de la semilla combina aspectos físicos, fisiológicos y sanitarios (Figura 4). Las características que definen una semilla de buena calidad incluyen: alta viabilidad (capacidad de germinar), elevado vigor (rapidez y uniformidad en la germinación), pureza física (ausencia de material extraño), tamaño y peso adecuados (indicadores de reservas), integridad de la testa (sin fisuras ni daños) y bajo contenido de humedad al momento del almacenamiento (Copeland & McDonald, 2001; Finch-Savage & Bassel, 2016). Analíticamente, pruebas de germinación estándar, conductividad eléctrica para evaluar daño en membranas y pruebas de vigor complementarias son utilizadas para clasificar lotes semilleros (Navarro, 2015). El manejo poscosecha —secado controlado, limpieza y embolsado en condiciones estables— reduce pérdidas por deterioro y plagas, conservando la calidad del lote.



Figura 4: Calidad de la semilla (aspectos físicos, fisiológicos y sanitarios)
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

3.6. Condiciones Climáticas de Tulancingo, Hidalgo.

El municipio de Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México, se ubica en la región central del estado y presenta un clima templado a templado subhúmedo con influencia montañosa. Las condiciones varían estacionalmente:

Estación seca (noviembre–abril): temperaturas medias diarias que oscilan entre 8–18 °C, noches frías y baja precipitación; estas condiciones favorecen la recolección de semillas maduras y su secado natural en campo (INEGI, 2010; WeatherSpark, 2025).

Estación de lluvias (mayo–octubre): incremento de la humedad y precipitación concentrada entre junio y septiembre (con picos en julio–septiembre), lo que puede afectar la productividad reproductiva y aumentar el riesgo de enfermedades en semilla y plántulas si la recolección y el almacenamiento no son adecuados (WeatherSpark; Climate-Data; INEGI).

3.7. Proceso de recolección y preparación de la semilla

La recolección de la semilla se realizó de manera manual y para ello se seleccionó árboles progenitores sanos localizados dentro del área de estudio (viveros de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo), (Figura 5); se eligieron vainas maduras que al tacto son crujientes y presentan coloración parda. Las vainas se recolectaron manualmente, se juntaron y se les realizó un lavado con agua fría, esto con el objetivo de quitar desechos de insectos o algún contaminante que pudiera afectar directamente, después de eso se dejaron secar ligeramente en condiciones ventiladas y se extrajeron las semillas, las cuales posteriormente se limpiaron de residuos de pericarpo y se clasificaron por tamaño y peso utilizando una balanza analítica y calibradores vernier.

Para la preparación se siguieron los pasos: (1) limpieza y separación por categorías (grande, mediana, pequeña); (2) desinfección superficial con hipoclorito de sodio del 1 al 2%; (3) enjuague con agua destilada estéril; (4) acondicionamiento en sustrato (peat moss:perlita y vermiculita 2:1:1) para la siembra en charolas o tubetes. Se mantuvieron lotes testigo sin desinfección para controlar efectos del tratamiento sobre germinación (Copeland & McDonald, 2001; Bewley et al., 2013).



Figura 5: Recolección de material vegetal

(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

3.8. Capacidad de charolas germinativas y tubetes; Posición de la semilla.

Se emplearon charolas de 72 cavidades y tubetes de volumen aproximado de 150 cm³. La elección de la capacidad responde a la necesidad de espacio radicular durante las primeras semanas de crecimiento y la facilidad de trasplante posterior. El sustrato (peat moss:perlita:vermiculita 2:1:1) fue homogeneizado para asegurar uniformidad física y de humedad en todas las unidades experimentales.

La posición de la semilla en el sustrato es crítica: la orientación con la zona micrópila (hilum o hilo micropilar) hacia abajo y con la cara convexa visible hacia arriba facilita la orientación de la radícula y reduce el tiempo a emergencia; posiciones laterales o invertidas pueden demorar la salida de la radícula o provocar anomalías en el cuajado de la plántula (Bewley et al., 2013).

3.9. Diferencia entre germinación y emergencia

Germinación se define como el conjunto de procesos fisiológicos que culminan con la reactivación metabólica del embrión y la ruptura del tegumento, incluyendo imbibición, activación de enzimas y movilización de reservas, manifestándose inicialmente con la protrusión de la radícula. La emergencia es el evento posterior en el que el hipocótilo y/o la plúmula atraviesan la superficie del sustrato, siendo observable externamente. Es importante distinguir ambos términos para el registro experimental: una semilla puede germinar sin emerger si las condiciones del sustrato impiden la salida de la plántula (Copeland & McDonald, 2001; Bewley et al., 2013).

3.10. Sustrato para la germinación de la semilla

El sustrato es un componente fundamental en la germinación y el desarrollo inicial de las plántulas, ya que influye directamente en la retención de humedad, aireación, drenaje, y disponibilidad de nutrientes. Para *Dalbergia palo-escrito*, una especie forestal de semilla

pequeña, el uso de sustratos ligeros y estables permite mantener condiciones fisiológicas óptimas para la emergencia radicular y el crecimiento del hipocótilo (Hartmann et al., 2011).

En la propagación de especies forestales se utilizan comúnmente materiales como peat moss (turba de musgo), perlita y vermiculita, solos o en combinación, ya que proporcionan un equilibrio adecuado entre agua disponible y oxígeno en la zona radicular (Bewley et al., 2013).

3.10.1. Peat moss (turba de musgo)

El peat moss es un material orgánico de origen vegetal que proviene de la descomposición parcial del musgo *Sphagnum*. Su pH varía entre 3.5 y 4.5, lo que le otorga una ligera acidez favorable para la germinación de especies tropicales y subtropicales. Se caracteriza por su alta capacidad de retención de agua (hasta 10 veces su peso) y su estructura fibrosa, que permite una buena aireación del sustrato (Copeland & McDonald, 2001).

Además, su bajo contenido en sales solubles reduce el riesgo de estrés osmótico en semillas y plántulas recién germinadas. Sin embargo, por su escasa capacidad de intercambio catiónico, suele mezclarse con materiales inertes que mejoran la estabilidad estructural, como la perlita o la vermiculita (Hartmann et al., 2011; Chávez, et al., 2017).

3.10.2. Perlita

La perlita es un material inorgánico expandido derivado del vidrio volcánico. Su densidad aparente es muy baja (aprox. 0.1 g/cm³), lo que la convierte en un excelente componente para mejorar la aireación y el drenaje del sustrato. Su pH neutro (6.5–7.0) la hace compatible con la mayoría de las especies forestales, evitando alteraciones químicas en el medio (Hartmann et al., 2011; Perez, K et al 2021). La perlita ayuda a prevenir la compactación del sustrato, permite una buena penetración radicular y mejora la distribución del agua. Por su estabilidad y resistencia a la descomposición, es ideal en mezclas destinadas a tubetes o charolas de germinación, donde se requiere mantener uniformidad física durante varias semanas de cultivo (Bewley et al., 2013).

3.10.3. Vermiculita

La vermiculita es un mineral de silicato hidratado de magnesio y aluminio, sometido a expansión térmica. Se distingue por su gran capacidad de retención de agua y moderada aireación, además de contener elementos minerales como potasio, magnesio y calcio, que pueden contribuir ligeramente a la nutrición inicial de las plántulas (Copeland & McDonald, 2001).

Por su estructura laminar y su alta capacidad de intercambio catiónico, la vermiculita es adecuada para mantener una humedad constante, reduciendo los periodos de desecación del sustrato. En mezclas con peat moss y perlita, proporciona estabilidad, humedad controlada y soporte físico uniforme, (Hartmann et al., 2011).

3.11. Importancia del Hipoclorito de sodio

El hipoclorito de sodio (NaClO) es un agente oxidante de amplio uso en la desinfección de semillas, cuyo objetivo es eliminar microorganismos patógenos (hongos, bacterias y esporas) presentes en la superficie sin dañar el embrión. En la propagación forestal, este tratamiento es esencial para evitar contaminaciones fúngicas que interfieran en la germinación (Copeland & McDonald, 2001).

Durante el proceso de germinación, las semillas pueden estar expuestas a agentes patógenos que proliferan en ambientes húmedos y cálidos. El uso de soluciones de hipoclorito de sodio entre 5 y 10 %, durante tiempos controlados de 5 a 15 minutos, permite reducir significativamente las contaminaciones sin afectar la viabilidad de la semilla (Bewley et al., 2013).

El mecanismo de acción del hipoclorito se basa en la liberación de cloro activo (Cl_2 y HOCl), que oxida las proteínas y lípidos de las membranas celulares de los microorganismos, destruyendo su estructura y evitando su multiplicación (FAO, 2019).

4. JUSTIFICACIÓN

El *Dalbergia palo-escrito* es una especie forestal de alto valor ecológico, económico y cultural en México. Su madera, es ampliamente utilizada en la ebanistería, la fabricación de instrumentos musicales y artesanías, lo que ha generado una fuerte demanda en los mercados local e internacional. Sin embargo, esta presión de aprovechamiento ha contribuido a la disminución de sus poblaciones naturales, especialmente en estados como Hidalgo, donde la especie enfrenta problemas de sobreexplotación, tala ilegal, degradación del hábitat y fragmentación del ecosistema, (CONABIO, 2020; Camarena, 2021; Pennington & Sarukhán, 2005).

La regeneración natural de la especie es limitada debido a factores como la dormancia física de las semillas, la baja viabilidad post-dispersión, las variaciones en tamaño y peso de semilla, y la competencia por recursos, (Bewley et al., 2013; Baskin & Baskin, 2014; González et al., 2013).

La falta de estudios específicos sobre la propagación de *Dalbergia palo-escrito* en el estado de Hidalgo ha generado vacíos de información que dificultan la implementación de programas efectivos de reforestación y manejo forestal sostenible. En particular, no se han documentado con profundidad las relaciones entre el tamaño de semilla, la viabilidad fisiológica y la emergencia de plántulas bajo condiciones controladas. Asimismo, existe poca evidencia experimental sobre el efecto de la disponibilidad de sustratos adecuados —como peat moss, perlita y vermiculita— y del impacto de la desinfección con hipoclorito de sodio en la sanidad y germinación de la semilla, (Chávez et al., 2017; Pérez et al., 2021; Hartmann et al., 2011; ISTA, 2020).

Por ello, el estudio de la viabilidad, germinación y emergencia de semillas de *Dalbergia palo-escrito* clasificadas por tamaño y sometidas a un manejo controlado de sustrato y desinfección, representa una aportación importante a la especie. La información generada permitirá:

- Comprender el comportamiento germinativo de la semilla según su tamaño y peso.
- Identificar las condiciones óptimas de sustrato para su establecimiento.

- Mejorar los protocolos de manejo en vivero.
 - Generar material vegetal de calidad para programas de restauración ecológica.
- (Copeland & McDonald, 2001; Rzedowski, 2006; Luna et al., 2014; Doran & Turnbull, 1997).

El desarrollo de este proyecto favorece la conservación de la especie al proporcionar bases técnicas para su propagación eficiente, contribuyendo a la recuperación de poblaciones naturales, al fortalecimiento de viveros regionales, y al diseño de estrategias de manejo sostenible en Hidalgo. Asimismo buscan proteger a las especies del género *Dalbergia* ante las amenazas ambientales y sociales que enfrentan,(SEMARNAT, 2018; CONAFOR, 2020)

En conjunto, el estudio también atiende una necesidad ambiental y social, al aportar datos que pueden influir directamente en la conservación del palo escrito y en el uso responsable de un recurso forestal que caracteriza a México.

5. HIPÓTESIS

Las semillas más grandes de *Dalbergia palo-escrito* presentan mayor viabilidad, mayores tasas de germinación y emergencia que las semillas medianas y pequeñas; además, la aplicación de un protocolo de desinfección con hipoclorito de sodio y el uso de un sustrato homogéneo (peat moss: vermiculita: perlita) incrementan significativamente el éxito germinativo y la supervivencia inicial en condiciones controladas de vivero.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Evaluar el comportamiento germinativo y la viabilidad de semillas de *Dalbergia palo-escrito* bajo condiciones controladas de vivero, considerando su clasificación por tamaño, el manejo sanitario y el uso de sustratos estandarizados, con el fin de determinar las condiciones óptimas para su propagación y contribuir a la conservación y manejo sostenible de la especie.

6.2. Objetivos específicos

1. Clasificar las semillas de *Dalbergia palo-escrito* en categorías definidas de tamaño y peso mediante la medición individual con balanza analítica de precisión y la agrupación en rangos morfométricos previamente establecidos para determinar su influencia en los parámetros de viabilidad, germinación y emergencia.
2. Registrar sistemáticamente el proceso de germinación y emergencia en condiciones ambientales mediante monitoreo periódico y anotación de las fechas de germinación, emergencia, fallas y pérdidas en tubetes distribuidos bajo condiciones estandarizadas de vivero para disponer de información cuantitativa que permita evaluar el comportamiento germinativo de cada categoría y el rendimiento fisiológico de las semillas.
3. Evaluar la viabilidad fisiológica de las semillas mediante el análisis comparativo de porcentajes de germinación, tiempos de emergencia, fallas y desempeño entre categorías de peso/tamaño para determinar qué grupos de semillas presentan mayor capacidad de establecimiento y así presentar estrategias de propagación y manejo sostenible de la especie.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Descripción general del estudio

El presente estudio se llevó a cabo con el propósito de evaluar la viabilidad y el comportamiento germinativo de semillas de *Dalbergia palo-escrito* recolectadas en Tulancingo, Hidalgo. La investigación tuvo un enfoque experimental, basado en la observación directa, la clasificación y el análisis fisiológico de las semillas mediante pruebas de germinación, emergencia y desarrollo de la plántula bajo condiciones controladas de vivero. Se empleó además un grupo testigo para reducir el rango de error experimental y garantizar la confiabilidad estadística, controlando variables como sustrato, humedad, luminosidad y temperatura.

7.2. Recolección del material vegetal

La recolección del material vegetal se realizó en los viveros de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Figura 6), seleccionando semillas provenientes de vainas maduras y fisiológicamente desarrolladas. Las vainas fueron obtenidas tanto directamente del árbol como del suelo inmediato, siempre descartando aquellas con daños visibles, perforaciones por insectos o alteraciones fúngicas.

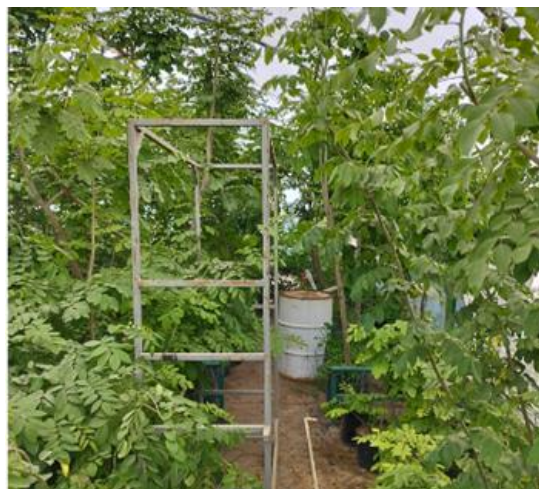


Figura 6: Sitio experimental

(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

Una vez recolectadas, las vainas fueron limpiadas con agua corriente para remover polvo y materia orgánica residual. Posteriormente se cortó alrededor de la vaina de la semilla para facilitar su manipulación y extracción de la semilla (Figura 7), se abrió cada vaina para extraer las semillas viables, las cuales fueron almacenadas en bolsas de papel ventiladas, permitiendo la conservación temporal sin acumulación de humedad (Figura 8). Este manejo es esencial para evitar procesos de fermentación interna o deterioro embrionario previo a la clasificación.



Figura 7: Recolección de vainas con semilla de palo-escrito
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)



Figura 8: Semillas de palo-escrito embolsadas para control de humedad
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.3. Clasificación de las semillas

La clasificación por tamaño fue realizada de manera visual para facilitar la separación previa al pesaje, generando grupos morfológicamente consistentes. Esto permitió optimizar el tiempo de selección y reducir la variabilidad en las mediciones.

La clasificación de semillas se llevó a cabo del 24 al 29 de mayo de 2023, empleando criterios de tamaño y peso, fundamentales para estudiar su relación con la germinación. Para la clasificación por peso se utilizó una balanza analítica PW ADAM de precisión (Figura 9), estableciendo tres rangos definidos que partieron desde 0.03 hasta 0.13 (Tabla 1).



Figura 9: Pesaje de semilla con balanza analítica
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

Tabla 1: Rango de peso de las semillas

Categoría:	Rango de peso:
Semillas pequeñas	0.03 g – 0.05 g
Semillas medianas	0.07 g – 0.09 g
Semillas grandes	0.11 g – 0.13 g

Los valores intermedios (0.02 g, 0.06 g, 0.10 g) se omitieron con el fin de reducir el error instrumental y asegurar rangos homogéneos (Figura 10). Una vez que se tuvieron todas las semillas con los rangos de pesos seleccionados se embolsaron juntos y se etiquetaron con su respectivo rango de peso y nombre: chicas, medianas, grandes (Figura 11).



Figura 10: Separación de semillas por peso y valores intermedios
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)



Figura 11: Semillas con rango de peso
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.4. Desinfección del material vegetal *Dalbergia palo-escrito*

La desinfección se realizó con el objetivo de eliminar microorganismos fitopatógenos que pudieran interferir con la germinación o provocar pérdidas por hongos. En el proceso de la desinfección se preparó 1 litro de solución de hipoclorito de sodio al 1%, mezclando:

200 mL de cloro comercial al 5%

800 mL de agua destilada o hervida fría

Durante el procedimiento de desinfección:

1. Las semillas y vainas fueron sumergidas durante 5 minutos en la solución.
 2. Se realizaron tres enjuagues consecutivos con agua destilada estéril, para: eliminar residuos de cloro, evitar quemaduras embrionarias, prevenir inhibición del crecimiento radicular.
- Este proceso garantiza que la germinación observada responda a la calidad fisiológica de la semilla y no a la presencia de agentes contaminantes.

7.5. Preparación del sustrato

La preparación del sustrato se realizó el 31 de mayo de 2023, empleando una mezcla estéril y homogénea conformada por: 50% Peat moss, 25% Vermiculita, 25% Perlita (Figura 12).

Los componentes se mezclaron manualmente hasta obtener una textura uniforme, ligera y aireada. Posteriormente, se agregó agua limpia hasta alcanzar capacidad de campo, identificada cuando el sustrato mantiene humedad sin escurrir.

El sustrato se seleccionó por su excelente retención de humedad, estabilidad estructural y permeabilidad, factores fundamentales para la emergencia de plántulas.



Figura 12: Mezcla homogénea de peat moss, perlita y vermiculita

(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.6. Preparación de tubetes y llenado

El 05 de junio del 2023, los tubetes fueron desinfectados con la misma solución de hipoclorito de sodio utilizada para las semillas. Posteriormente se llenaron compactando ligeramente el sustrato, evitando exceder la presión sobre la mezcla para no dificultar el rompimiento de la testa (Figura 13). La compactación controlada permitió mantener el sustrato estructuralmente estable, evitar hundimientos posteriores por riego, facilitar la emergencia del hipocótilo.



Figura 13: Llenado de tubetes con sustrato

(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.7. Siembra en tubetes

La siembra se realizó los días 06 y 07 de junio de 2023, colocando una semilla por tubete, a 2 cm de profundidad, en posición vertical, lo cual facilita: la orientación correcta de la radícula, la emergencia ordenada de los cotiledones, el crecimiento uniforme entre repeticiones.

Se establecieron 6 charolas para tratamiento normal y 6 para testigo, cada una con capacidad de 49 tubetes; sin embargo, solo se utilizaron 42 tubetes, dejando libre la fila central para evitar competencia por luminosidad o sombreado (Figura 14).

Una malla fina se colocó sobre las charolas para evitar pérdida de sustrato durante el riego (Figura 15).



Figura 14: Siembra de charolas normales y testigo
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)



Figura 15: Charolas de tubetes con malla de protección
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.8. Manejo y condiciones del vivero

Durante el desarrollo del experimento, las semillas permanecieron en un vivero semicontrolado con: temperaturas promedio de 18–26°C, típicas de Tulancingo, Hidalgo, humedad ambiental moderada, ventilación adecuada, luz solar filtrada. El riego se aplicó: 2–3 veces por semana durante periodos cálidos, 1 vez por semana en días templados, siempre manteniendo el sustrato en capacidad de campo (Figura 16) para evitar estrés hídrico, minimizar la aparición de hongos fitopatógenos, garantizar un ambiente óptimo para la activación del embrión.



Figura 16: Riego de tubetes a capacidad de campo
(Vivero IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

7.9. Estructura experimental y registro de emergencia

El diseño experimental incluyó dos tratamientos:

1. Normal (siembra con desinfección y manejo controlado)
2. Testigo (semillas sin desinfección, en condiciones del vivero)

Para ambos tratamientos se utilizaron tres categorías de semillas: chicas, medianas y grandes, cada una con 4 repeticiones de 21 tubetes (Tabla 2).

Tabla 2: Total de unidades experimentales:

Tratamiento Tamaño	Repeticiones	Tubetes por repetición	Total
Testigo chica	4	21	84
Testigo mediana	4	21	84
Testigo grande	4	21	84
Normal chica	4	21	84
Normal mediana	4	21	84
Normal grande	4	21	84
Total general:	24	126	504 semillas

Se registró: fecha de germinación (aparición de la radícula), fecha de emergencia (ruptura del sustrato por el hipocótilo), estado final de cada semilla.

El proceso fisiológico considerado fue:

- a) Germinación: absorción de agua, activación enzimática, ruptura de la testa.
- b) Emergencia: crecimiento del hipocótilo, curvatura protectora, salida a la superficie.

8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar si existieron diferencias significativas entre las categorías de semillas (testigo normal chico, testigo normal mediano, testigo normal grande, normal chico, normal mediano y normal grande), se aplicó la prueba de Diferencias Mínimas Significativas de Fisher (LSD) con un nivel de significancia de $\alpha < 0.05$ y un error estándar común de $EE = 10$. Las letras asignadas en las barras de las gráficas representan el resultado de esta comparación: tratamientos que comparten la misma letra no son significativamente diferentes, mientras que tratamientos con letras distintas sí presentan diferencias estadísticas reales.

9. RESULTADOS

9.1. Comportamiento general de la germinación y emergencia

La figura 17 representa el número de semillas germinadas por tratamiento. Se observa un gradiente claro asociado al tamaño de la semilla: los tratamientos Testigo normal grande, Normal mediano y Normal grande mostraron los valores medios más altos, reflejando una mayor proporción de semillas que lograron germinar exitosamente. En contraste, el tratamiento Testigo normal chico presentó el valor más bajo, indicando una alta incidencia de semillas sin germinación. Los tratamientos intermedios, como Testigo normal mediano y Normal chico, exhibieron niveles de germinación moderados.

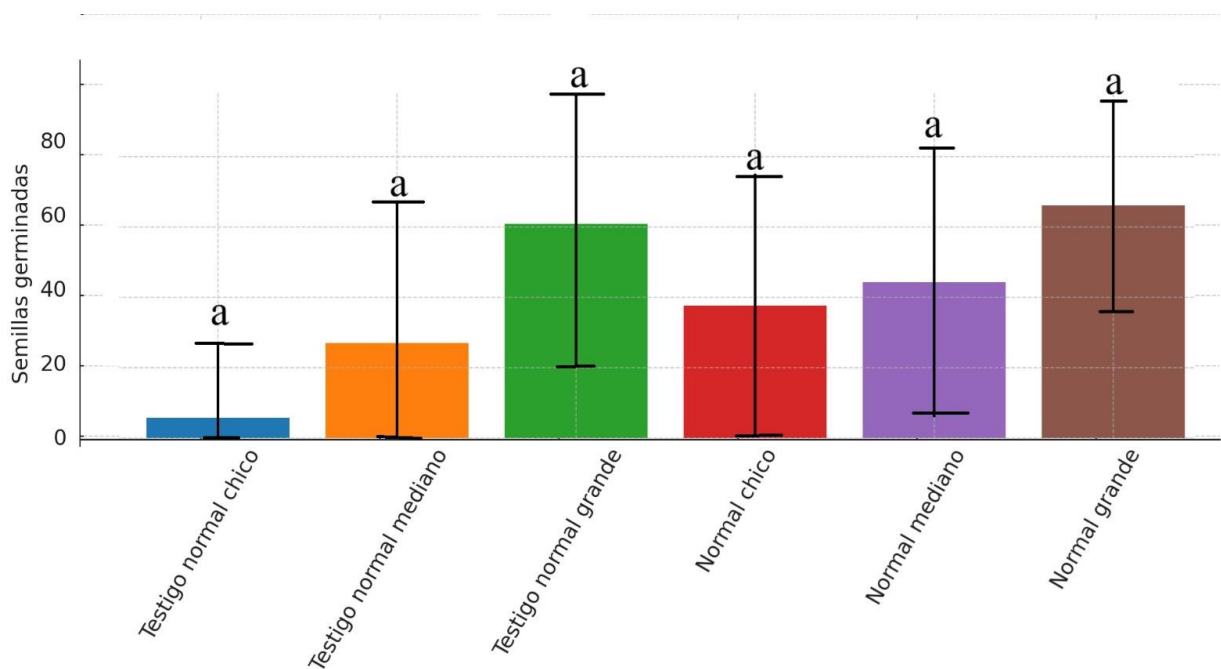


Figura 17: Total de semillas germinadas por tratamiento.

Las letras diferentes en las barras indican diferencias significativas según la prueba de diferencias mínimas significativas de Fisher ($\alpha \leq 0,05$); $n = 84$ error estándar

(IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

La figura 18 presenta la distribución de las categorías 0, 1, 2 y 3 para cada tratamiento evaluado, donde 0 = semilla perdida, 1 = germinó pero falló, 2 = germinó y emergió sin fallar, y 3 = germinó y emergió pero posteriormente falló. Se observan marcadas diferencias entre tratamientos: Testigo normal chico concentra la mayor proporción de semillas en categoría 0, evidenciando pérdidas muy altas y prácticamente nula emergencia. En contraste, Normal grande muestra la mayor frecuencia de semillas en categoría 2, indicando un desempeño sobresaliente en germinación y emergencia exitosa. Asimismo, Testigo normal grande y Normal mediano presenta valores intermedios, con combinaciones de categorías 0, 1 y 2 que sugieren variabilidad en la viabilidad de las semillas. En conjunto, los tratamientos “normales”, especialmente los de mayor tamaño, muestran mejor desempeño germinativo y menor pérdida que los tratamientos “testigo”.

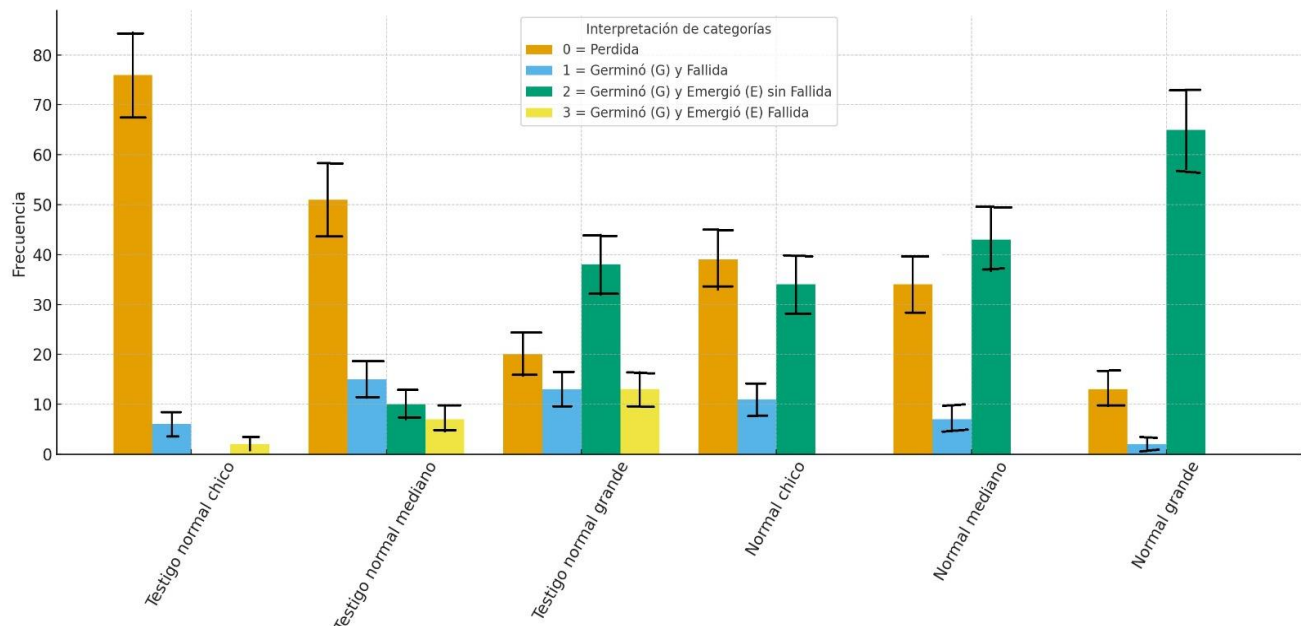


Figura 18: Distribución de las categorías de respuesta

(0 = pérdida, 1 = germinó y fallida, 2 = germinó y emergió sin fallida, 3 = germinó y emergió fallida) en los seis tratamientos evaluados, expresadas como medias acompañadas de sus barras de desviación estándar $n=84$. La gráfica permite visualizar la variación en la frecuencia de cada categoría dentro de cada tratamiento

(IAPS-ICAP (UAEH). Santiago Tulantepec, Hgo, et al. 2023)

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A nivel fisiológico, el mayor tamaño de semilla se relaciona con una mayor cantidad de reservas nutricionales (almidón, lípidos, proteínas de almacenamiento), lo cual permite al embrión sustentar una respiración más alta, conservar la integridad de sus membranas y activar enzimas hidrolíticas (amilasas, proteasas) que favorecen la germinación y el crecimiento inicial de radícula e hipocótilo (Jasim et al., 2022). Estas reservas también proporcionan una ventaja frente a condiciones adversas como déficit hídrico o baja disponibilidad de nutrientes, incrementando la viabilidad funcional, el porcentaje de emergencia y la supervivencia de la plántula (Min et al., 2022). En el ámbito metabólico, semillas más grandes tienden a presentar un vigor superior, reflejándose en un menor daño oxidativo acumulado y una relación hormona ABA/GA más favorable para la germinación, lo que deriva en plántulas con mayor biomasa, área foliar y exploración radicular (Tumpa et al., 2021). Sin embargo, no todos los estudios confirman que el tamaño de semilla incremente el porcentaje de germinación: por ejemplo, en *Castanea sativa* no se observó correlación significativa entre peso de la semilla y germinación, aunque sí una correlación positiva con altura de plántula y diámetro del cuello (Tumpa et al., 2021). Otros trabajos muestran que semillas de menor tamaño pueden germinar más rápido o con mayor uniformidad bajo ciertas condiciones (Rastegar & Kandi, 2011; Tabaković et al., 2020). Por lo tanto, los resultados, donde los tratamientos con semillas de mayor tamaño presentaron más categorías de germinación emergida exitosa (categoría 2) y menor porcentaje de pérdida (categoría 0) son congruentes con la hipótesis clásica del “efecto reserva” de semillas grandes.

11. CONCLUSIONES

La clasificación de semillas por tamaño y peso mostró una influencia directa en el desempeño germinativo de *Dalbergia palo-escrito*: las semillas medianas y grandes registraron mayor germinación y emergencia, confirmando que estos atributos son indicadores confiables de calidad fisiológica debido a su mayor contenido de reservas. El protocolo de desinfección con hipoclorito de sodio (1–2%) redujo eficazmente las pérdidas por patógenos y permitió que los resultados reflejaran principalmente el estado interno de las semillas. Asimismo, el uso de un sustrato homogéneo de peat moss, perlita y vermiculita generó condiciones físicas favorables para la germinación y disminuyó la variabilidad atribuible al medio. El registro continuo permitió identificar patrones temporales claros, observándose que la mayoría de las germinaciones ocurrieron en las primeras semanas y que las fallas derivaron principalmente de factores fisiológicos internos más que del manejo del vivero. Los tratamientos testigo confirmaron que las pérdidas no se debieron a condiciones ambientales, sino a diferencias intrínsecas de las semillas. En relación con la hipótesis planteada, se verificó una relación positiva entre tamaño/peso, manejo sanitario y probabilidad de germinación y emergencia; sin embargo, el tamaño no explicó por completo la variabilidad observada, lo que resalta la importancia de integrar clasificación, desinfección y sustratos uniformes para optimizar la propagación. Los resultados obtenidos aportan bases técnicas para mejorar la producción de planta de *Dalbergia palo-escrito*, estandarizar criterios de selección, fortalecer protocolos de vivero y apoyar programas de restauración y conservación. Este estudio evidencia la relevancia de combinar enfoques fisiológicos, ambientales y de manejo para generar información robusta aplicable tanto a *Dalbergia* como a otras especies forestales de valor ecológico y cultural en México.

12. REFERENCIAS

- Barber, C. V., Schweithelm, J., & Luthfi, A. (2015). Timber trafficking: illegal logging in Indonesia, Southeast Asia and the international response. *Forest Trends*. <https://www.forest-trends.org/publications/>
- Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of Development, Germination and Dormancy* (3rd ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4614-4693-4>
- Camarena, I. (2021). Problemática ambiental y sobreexplotación del género *Dalbergia*. *Forest Policy Journal*.
- CEC (Commission for Environmental Cooperation). (2020). Conservation of *Dalbergia* species in North America. <http://www3.cec.org/islandora/en/item/11808-conservation-dalbergia-species-north-america-en.pdf>
- Chávez, A., Martínez, R., & Luna, C. (2017). Manejo de sustratos para viveros forestales: perlita, vermiculita y turba. *Revista AgroProductividad*.
- CITESwoodID / Delta-Intkey. *Dalbergia* spp. – Trade and Identification Guide / CITESwoodID. <https://www.citeswoodid.app/>
- Climate-Data.org. (2025). Tulancingo — Clima: temperatura, precipitación y humedad. <https://es.climate-data.org/america-del-norte/mexico/hidalgo/tulancingo-766164/>
- CONABIO. (2020). Ficha técnica: *Dalbergia* palo-escrito. <https://www.biodiversidad.gob.mx/arboles/Fichas/>
- CONAFOR / SEMARNAT. Documentación nacional sobre manejo forestal y programas de reforestación. <https://www.gob.mx/conafor> | <https://www.gob.mx/semarnat>
- Contreras Téllez, S. A. (2025). Respuesta comparativa a dos técnicas de acodo aéreo como alternativa en la propagación vegetativa del árbol palo-escrito (*Dalbergia* palo-escrito sp. n.). ICAP-BD-UAEH. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/handle/231104/7021>

- Copeland, L. O., & McDonald, M. B. (2001). *Principles of Seed Science and Technology* (4th ed.). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4615-1619-4>
- FAO. (2019). *Manual de técnicas de propagación vegetal*. <https://www.fao.org/4/a1374s/a1374s02.pdf>
- FAO. *Manual de viveros forestales para América Latina*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/3baf8420-3ab1-4129-acc2-f95f89af3f44/content>
- Finch-Savage, W. E., & Bassel, G. W. (2016). Seed vigour and crop establishment. *Journal of Experimental Botany*. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- González, M. E., Ramírez, J., & López, A. (2013). Características morfoanatómicas de maderas tropicales mexicanas. *Revista Madera y Bosques*. <https://doi.org/10.21829/myb.2013.194350>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). *Plant Propagation: Principles and Practices*. Prentice Hall. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/>
- INEGI. (2010). *Climatología histórica del estado de Hidalgo*. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825002676>
- Jasim et al. (2022). Seed size and seedling vigor. <https://media.neliti.com/media/publications/605275-effect-of-seed-size-on-seedling-and83109460.pdf>
- Martínez-Peralta, C., Domínguez, J., & Nieto, M. (2022). Amenazas y estado de conservación de *Dalbergia* en México. *Revista Latinoamericana de Conservación*. <https://doi.org/10.32754/rlc.2022.112>
- Mayoreo Musical MX. (2025). *Propiedades acústicas de la madera de palo escrito*. <https://mayoreomusical.mx/blog/palo-escrito-para-instrumentos>
- Meyrat, A. (2017). Timber trafficking: Mexico's illegal logging crisis. *Environmental Investigation Agency*. <https://eia-global.org/reports/timber-trafficking-mexico>

- Min et al. (2022). Seed reserve mobilization and seedling establishment. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2021.10.009>
- Navarro, F. A. (2015). Producción de plantas en vivero. INIFAP. https://www.inifap.gob.mx/Publicaciones/Documents/produccion_viveros.pdf
- NOM-059-SEMARNAT-2010. (2019). Protección ambiental—Especies nativas de México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5578808&fecha=14/11/2019
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México. UNAM. <https://books.google.com/books?id=Uwm6MuLlnU0C>
- Prof.EnLínea. (2025). Usos tradicionales de maderas finas mexicanas. <https://www.profesorenlinea.mx/Biblioteca/MaderasFinMex.html>
- Pérez, K., Gómez, H., & Roldán, V. (2021). Importancia de la perlita, vermiculita y peat moss. *Agroforestry Systems*.
- Rastegar & Kandi. (2011). Seed size and reserve utilization in soybean. <https://www.academia.edu/29889164/>
- ReviveMX. Ficha de propagación: Dalbergia palo-escrito. https://revivemx.org/Recursos/Fichas_propagacion/FichaPropagacion_F4_Dalbergia_paloe_scrito_PaloEscrito.pdf
- Rueda, A., Vargas, M., & López, P. (2014). Variabilidad morfológica. *Revista Forestal Latinoamericana*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=123456789>
- Rzedowski, J. (2006). Vegetación de México. CONABIO. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/VegetacionMx_Cont.pdf
- Rzedowski, J., & Guridi-Gómez, M. (1988). El palo escrito, árbol de madera preciosa – una nueva especie mexicana de Dalbergia (Leguminosae, Papilionoideae). <https://www.redalyc.org/pdf/574/57400401.pdf>
- Sasidharan, R., Mustroph, A., & Voesenek, L. (2019). Plant responses to flooding stress. *Annals of Botany*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz104>

- Sotelo-Montes, C., & Weber, J. C. (1997). Germination and early growth. *Forest Ecology and Management*. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(96\)03985-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(96)03985-2)
- Tabaković et al. (2020). Hybrid maize seed size effects. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000300381>
- Tobón, R. (2025). Características dendrológicas de especies del género *Dalbergia*. Instituto Politécnico Nacional. <https://repositorio.ipn.mx/handle/123456789/34567>
- Tumpa et al. (2021). Seed size effect in *Castanea sativa*. <https://doi.org/10.3390/f12070858>
- WeatherSpark. (2025). Clima de Tulancingo, Hidalgo. <https://weatherspark.com/y/16136/Clima-promedio-en-Tulancingo-México>