



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**  
**ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**  
**INGENIERÍA FORESTAL**

**T E S I S**

**“ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.  
EN DIFERENTES ENVASES Y TEMPERATURAS PARA  
PROLONGAR LA VIABILIDAD”**

Para obtener el título de

**Licenciada en Ingeniería Forestal**

**PRESENTA**

Danna Paola Fernández Gayosso

**DIRECTOR**

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

**CODIRECTOR**

Dr. Ramón Razo Zárate

Santiago Tulantepec, Hidalgo, México, noviembre, 2025.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y FORESTALES  
INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

**“ALMACENAMIENTO DE SEMILLA DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.  
EN DIFERENTES ENVASES Y TEMPERATURAS PARA  
PROLONGAR LA VIABILIDAD”**

Para obtener el título de  
**Licenciada en Ingeniería Forestal**

PRESENTA  
Danna Paola Fernández Gayosso

DIRECTOR  
Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

CODIRECTOR  
Dr. Ramón Razo Zárate

COMITÉ TUTORAL  
Dra. Juana Fonseca González  
Dr. José Rodolfo Goche Télles

Santiago Tulantepec, Hidalgo, México, noviembre, 2025.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
*Institute of Agricultural Sciences*  
**Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales**  
*Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 3 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 la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Danna Paola Fernández Gayosso**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Almacenamiento de semilla de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en diferentes envases y temperaturas para prolongar la viabilidad**", 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:** Dra. Juana Fonseca González

**SECRETARIO:** Dr. Ramón Razo Zárate

**VOCAL 1:** Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

**SUPLENTE 1:** Dr. José Rodolfo Goche Téllez

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

Atentamente  
"Amor, Orden y Progreso"

**Dr. José González Ávalos**

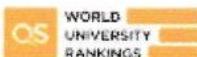
Coordinador del Programa Educativo  
en Ingeniería Forestal

**Dr. Armando Peláez Acero**

Director del ICAP

"Amor, Orden y Progreso"

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,  
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,  
México. C.P. 43775.  
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173  
profe\_5566@uaeh.edu.mx



2025



uaeh.edu.mx

La presente tesis titulada: “Almacenamiento de semilla de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en diferentes envases y temperaturas para prolongar la viabilidad” realizada por la pasante **Danna Paola Fernández Gayosso**, bajo la dirección del Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna y Codirector Dr. Ramón Razo Zárate y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

## LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

Comité asesor

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna  
Director

Dr. Ramón Razo Zárate  
Codirector

Dra. Juana Fonseca González  
Asesora

Dr. José Rodolfo Goche Télles  
Asesor

Santiago Tulantepec, Hidalgo, noviembre de 2025.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por brindarme la oportunidad de formarme como profesional y por abrirme las puertas para realizar este trabajo de tesis, que representa un logro y un aprendizaje invaluable en mi vida.

Al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, mi director de tesis, gracias por su tiempo, paciencia, enseñanzas y compromiso. Su guía no solo fortaleció este trabajo, sino también mi crecimiento personal y académico.

Al Dr. Ramón Razo Zárate, mi codirector, y a mi comité tutorial, la Dra. Juana Fonseca González y el Dr. José Rodolfo Goche Télles, por su apoyo constante, orientación y valiosas sugerencias, que iluminaron el camino de esta investigación y me enseñaron a enfrentar cada desafío con determinación.

A mi mamá, por jamás dejarme sola y por sostenerme con su amor incluso en los momentos más difíciles; a mi prima Carolina, cuya fortaleza e inspiración me impulsaron a seguir adelante; y a toda mi familia, por su cariño y apoyo incondicional.

A mis amigos de la universidad, Jair, Sandy, Kevin, Vivi y Karla, gracias por caminar conmigo, por su apoyo, risas y motivación durante toda esta etapa académica y en la realización de mi tesis. A mi Pao, por sus valiosos consejos, por acompañarme con su cariño y por estar siempre para mí cuando más lo necesité.

A BTS, que son una fuente constante de inspiración, consuelo y fortaleza en los momentos más retadores. Sus letras me recordaron la importancia de seguir adelante, de amarme y confiar en mis sueños.

A todas las personas que, de alguna manera, me han brindado su apoyo, afecto y aliento, gracias por ser parte de este logro que no es solo mío, sino también de cada uno de ustedes que formaron parte de mi historia. Gracias por dejar huella en mi vida, por acompañarme en este proceso y por recordarme que los sueños se alcanzan con esfuerzo, amor y esperanza.

## **DEDICATORIA**

A mi mamá, María Rosa Fernández Gayosso, cuyo amor infinito, fortaleza y apoyo incondicional han sido mi guía y mi sostén. Sin ti, nada de esto habría sido posible; cada paso, cada esfuerzo y cada logro también son tuyos. Gracias por tus consejos llenos de sabiduría, por tus abrazos que siempre me devolvieron la calma, por tus palabras que me levantaron cuando dudaba de mí misma y por creer en mí incluso en los momentos en que yo no podía hacerlo. Eres mi mayor inspiración, mi fuerza y el ejemplo más grande de amor, dedicación y valentía que conozco. Todo lo que soy y lo que he alcanzado te lo debo, con todo mi corazón.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	1
<b>RESUMEN.....</b>	III
<b>ABSTRACT .....</b>	IV
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	4
<b>2.1    Objetivo general .....</b>	4
<b>2.2    Objetivos específicos .....</b>	4
<b>3. HIPÓTESIS .....</b>	4
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	5
<b>4.1. Importancia de las semillas forestales .....</b>	5
<b>4.2. <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. .....</b>	5
<b>4.3. Bases fisiológicas y bioquímicas .....</b>	6
<b>4.4. Factores precosecha e implicaciones prácticas .....</b>	7
<b>4.5. Análisis de viabilidad en semillas.....</b>	8
<b>4.6. Métodos de evaluación de la viabilidad de semillas .....</b>	9
<b>4.6.1 Pruebas de germinación.....</b>	9
<b>4.6.2 Prueba de tetrazolio .....</b>	10
<b>4.6.3 Pruebas de conductividad eléctrica .....</b>	11
<b>4.6.4 Pruebas de rayos X.....</b>	12
<b>4.6.5 Análisis molecular .....</b>	13
<b>4.7 Factores que afectan la viabilidad de las semillas .....</b>	14
<b>4.7.1 Edad y almacenamiento .....</b>	14
<b>4.7.2 Condiciones ambientales.....</b>	15
<b>4.7.3 Genética de la especie.....</b>	15
<b>4.7.4 Presencia de patógenos y plagas.....</b>	16
<b>4.7.5 Madurez fisiológica en la cosecha .....</b>	16
<b>4.7.6 Daño mecánico.....</b>	16
<b>4.8 Latencia y tratamientos pregerminativos en semillas forestales.....</b>	17
<b>4.9 Calidad de planta en viveros .....</b>	18
<b>4.10 Estudios de viabilidad de semillas.....</b>	19

<b>4.10.1 Estudio del banco de germoplasma de Michoacán: Viabilidad de semillas de <i>Pinus pseudostrobus</i> almacenadas durante 16 años .....</b>	<b>19</b>
<b>4.10.2 Estudio en Corea del Sur: Viabilidad de semillas de <i>Pinus densiflora</i> almacenadas a diferentes temperaturas por 20 años .....</b>	<b>20</b>
<b>4.10.3 Revisión general de almacenamiento de semillas de pino ortodoxas en Europa del Este .....</b>	<b>21</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>5.1 Ubicación del experimento .....</b>	<b>22</b>
<b>5.2 Procedencia y beneficio de las semillas.....</b>	<b>22</b>
<b>5.3 Tratamientos de almacenamiento.....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 Actividades previas a la siembra.....</b>	<b>26</b>
<b>5.4.1 Separación de semilla vana.....</b>	<b>26</b>
<b>5.4.2 Lavado y desinfectado de charolas .....</b>	<b>26</b>
<b>5.4.3 Preparación de sustratos para siembra.....</b>	<b>27</b>
<b>5.4.4 Proceso de siembra.....</b>	<b>28</b>
<b>5.4.5. Llenado de tubetes.....</b>	<b>29</b>
<b>5.5 Variables a evaluar.....</b>	<b>30</b>
<b>5.6 Diseño experimental.....</b>	<b>32</b>
<b>5.7 Análisis de datos .....</b>	<b>33</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>
<b>6.1 Emergencia de plántulas.....</b>	<b>34</b>
<b>6.2 Capacidad de emergencia.....</b>	<b>38</b>
<b>6.3 Emergencia acumulativa .....</b>	<b>41</b>
<b>7. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>45</b>
<b>8. REFERENCIAS .....</b>	<b>46</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diferentes envases con semillas de <i>pinus pseudostrobus</i> colocados en refrigeración (1-4 °c). _____	23
<b>Figura 2.</b> Diferentes envases con semillas de <i>pinus pseudostrobus</i> colocados a temperatura ambiente (20-29 °c). _____	24
<b>Figura 3.</b> Procedimiento para separar semilla vana de <i>pinus pseudostrobus</i> por el método de flotación en agua. _____	26
<b>Figura 4.</b> Elaboración de la mezcla de sustrato compuesta por aserrín, tezontle, peat moss y vermiculita para la emergencia de plántulas de <i>pinus pseudostrobus</i> . _____	27
<b>Figura 5.</b> Llenado de tubetes con la mezcla del sustrato y acomodo de las charolas en el vivero. _____	29
<b>Figura 6.</b> Siembra y tapado de la semilla con vermiculita para iniciar el proceso de germinación en vivero. _____	30
<b>Figura 7.</b> Emergencia de plántulas de <i>p. Pseudostrobus</i> a los 29 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1-4 °c) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20-29 °c).____	36
<b>Figura 8.</b> Emergencia de plántulas de <i>p. Pseudostrobus</i> a los 43 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1-4 °c) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20-29 °c).____	37
<b>Figura 9.</b> Emergencia de plántulas de <i>p. Pseudostrobus</i> a los 54 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1-4 °c) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20-29 °c).____	38
<b>Figura 10.</b> Capacidad de emergencia de semillas de <i>pinus pseudostrobus</i> almacenadas durante ocho años en diferentes envases bajo condiciones de refrigeración (1-4 °c). 39	
<b>Figura 11.</b> Capacidad de emergencia de semillas de <i>pinus pseudostrobus</i> almacenadas durante ocho años en diferentes envases a temperatura ambiente (20-29 °c). ____	40
<b>Figura 12.</b> Emergencia acumulativa de plántulas de <i>pinus pseudostrobus</i> almacenadas durante ocho años en diferentes envases bajo condiciones de refrigeración (1-4 °c). 42	
<b>Figura 13.</b> Emergencia acumulativa de plántulas de <i>pinus pseudostrobus</i> almacenadas durante ocho años en diferentes envases a temperatura ambiente (20-29 °c). ____	43

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tratamientos aplicados a semilla de <i>Pinus pseudostrobus</i> por tipo de envase, cantidad de llenado y temperatura de almacenamiento. _____	25
<b>Tabla 2.</b> Esquema de distribución de tratamientos en el diseño completamente al azar para evaluar la emergencia de semillas de <i>Pinus pseudostrobus</i> en vivero después de ocho años de almacenada. _____	33
<b>Tabla 3.</b> Diferencias significativas en la emergencia de la plántula de <i>Pinus pseudostrobus</i> de ocho años de almacenada la semilla en diferentes envases y temperaturas. _____	34

## RESUMEN

El *Pinus pseudostrobus* Lindl. es de gran importancia ecológica y económica en México, ya que se utiliza en programas de reforestación, conservación de suelos y producción maderable. En el presente estudio se planteó el objetivo de determinar el porcentaje de emergencia de semillas de *Pinus pseudostrobus* que fueron almacenadas durante ocho años en diferentes envases y temperaturas. Las semillas fueron colectadas en Huayacocotla, Veracruz, y se almacenaron en 16 tratamientos que consistieron en frascos de vidrio, frascos de plástico y bolsas plásticas, bajo dos condiciones de temperatura: refrigeración (1–4 °C) y ambiente (20–29 °C). La siembra se realizó en tubetes individuales con capacidad de 310 cm<sup>3</sup> en un diseño completamente al azar con 162 semillas por tratamiento sumando en total 2,592 semillas en vivero. Los resultados mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos en la emergencia de plántulas, evaluada cada tres días entre los 26 y 54 días después de la siembra. Las semillas almacenadas en refrigeración (1–4 °C) conservaron altos porcentajes de emergencia (80–91 %), mientras que las mantenidas a temperatura ambiente (20–29 °C) perdieron casi por completo su viabilidad (0–5 %). Sin embargo, no hubo diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre los envases de almacenamiento de semilla en refrigeración (1–4 °C). La emergencia de plántulas en los tratamientos almacenados en refrigeración (1–4 °C) inició a los 26 días y concluyó a los 54 días después de la siembra, presentando una emergencia más uniforme y vigorosa en comparación con las semillas almacenadas a temperatura ambiente, las cuales mostraron porcentajes muy bajos o nulos de emergencia. El 50 % de emergencia se alcanzó a los 36 días después de la siembra. Se concluye que la viabilidad de la semilla de *P. pseudostrobus* se prolonga cuando se almacena en refrigeración (1–4 °C). El uso de refrigeración y envases herméticos es la estrategia más adecuada para garantizar la disponibilidad de semilla viable en la producción de planta en viveros para abastecer los programas de reforestación y plantaciones forestales.

**Palabras clave:** Emergencia, tratamientos, producción de planta, capacidad germinativa

## ABSTRACT

*Pinus pseudostrobus* Lindl. is of great ecological and economic importance in Mexico, as it is used in reforestation programs, soil conservation, and timber production. The objective of the present study was to determine the seedling emergence percentage of *Pinus pseudostrobus* seeds that had been stored for eight years in different containers and at different temperatures. The seeds were collected in Huayacocotla, Veracruz, and stored under 16 treatments consisting of glass jars, plastic jars, and plastic bags under two temperature conditions: refrigeration (1–4 °C) and ambient temperature (20–29 °C). Sowing was carried out in individual containers with a capacity of 310 cm<sup>3</sup> in a completely randomized design with 162 seeds per treatment, totaling 2,592 seeds in the nursery.

The results showed significant differences ( $p \leq 0.05$ ) among treatments in seedling emergence, which was evaluated every three days from 26 to 54 days after sowing. Seeds stored under refrigeration (1–4 °C) maintained high emergence percentages (80–91%), while those kept at ambient temperature (20–29 °C) almost completely lost their viability (0–5%). However, no significant differences ( $p \leq 0.05$ ) were observed among the storage container types under refrigeration (1–4 °C).

Seedling emergence in the refrigerated treatments (1–4 °C) began 26 days after sowing and ended at 54 days, showing a more uniform and vigorous emergence compared with seeds stored at ambient temperature, which exhibited very low or no emergence. Fifty percent emergence was reached 36 days after sowing.

It is concluded that the viability of *P. pseudostrobus* seeds is prolonged when stored under refrigeration (1–4 °C). The use of refrigeration and hermetic containers is the most suitable strategy to ensure the availability of viable seeds for seedling production in nurseries to supply reforestation and forest plantation programs.

**Keywords:** Emergence, treatments, seedling production, germinative capacity

## 1. INTRODUCCIÓN

El almacenamiento de semillas es un proceso crucial para preservar su viabilidad y potencial de germinación durante períodos prolongados. Según un estudio de Ellis y Roberts (1980), las semillas tienen vida útil más larga cuando se almacenan en condiciones controladas de temperatura y humedad. Existen diversos métodos de almacenamiento, adaptados a las necesidades específicas de las semillas y el entorno en el que se almacenan. Uno de los métodos más comunes es el almacenamiento en frío, especialmente eficaz en semillas ortodoxas, las cuales, de acuerdo con Hong y Ellis (1996), son aquellas que toleran la desecación hasta bajos contenidos de humedad (generalmente entre 3 y 7 %) y pueden conservarse durante largos periodos a bajas temperaturas sin perder su viabilidad. Este enfriamiento reduce la actividad metabólica de las semillas, lo que disminuye su deterioro y aumenta su vida útil (Bayer, 2019). De igual forma, es fundamental controlar la humedad en este proceso, ya que niveles altos pueden provocar la descomposición o la germinación prematura de las semillas. Por lo que, el secado adecuado de las semillas antes de su almacenamiento es crucial. Al reducir el contenido de humedad de las semillas, se previene el crecimiento de hongos y bacterias que podrían afectar su calidad, la humedad óptima para el almacenamiento de semillas debe ser entre el 3 y 8% (ECHOcommunity, 2009). Para este proceso se utilizan desecantes, como gel de sílice, dentro de contenedores de almacenamiento sellados para mantener un ambiente seco. Esto evita que las semillas absorban humedad, lo cual podría afectar su viabilidad (FAO, 1994). Además, se recomienda que las semillas se guarden en lugares oscuros y frescos para evitar la exposición a la luz y el calor extremos, factores que pueden también reducir la viabilidad de las semillas con el tiempo.

*Pinus pseudostrobus* Lindl., es una especie nativa de las regiones montañosas de México, particularmente del noreste y centro del país. Esta especie es importante para la silvicultura en México debido a la calidad de su madera, la cual es utilizada en la fabricación de muebles, construcción y celulosa. Además, desempeña un papel ecológico clave en la regulación hídrica y la conservación del suelo, ayudando a prevenir la erosión y a mantener la biodiversidad en los ecosistemas donde se desarrolla (CONAFOR, 2024).

La producción de sus semillas depende de factores como la edad del árbol, las condiciones climáticas y el tipo de suelo. Según Domínguez-Calleros *et al.* (2016), los árboles más grandes, con mayor altura y diámetro, suelen producir mayor cantidad de conos y semillas, lo que es esencial para el adecuado suministro de plantas en los programas de reforestación y conservación. El ritmo de germinación varía entre las especies de pino, reflejando diferencias en sus requerimientos fisiológicos, por ejemplo, *Pinus devoniana* puede iniciar su germinación en apenas 9 días y alcanzar hasta un 95.2 % de emergencia en 13 días bajo condiciones óptimas con esferas de carbono y un medio de cultivo adecuado (Granados-Martínez, 2025). En contraste, *Pinus pseudostrobus* germina de manera más gradual, logrando un 50 % de germinación en 8 días y hasta un 90 % en 12 días, dependiendo de la temperatura y el sustrato (Aldrete & López-Upton, 1993; Belcher, 1985). Estas diferencias resaltan la necesidad de adaptar las condiciones de manejo según la especie. El mejoramiento genético de *P. pseudostrobus* se realiza a través de la selección de árboles superiores y recolecta de semillas de alta calidad para obtener las características deseables de la especie, entre ellas la resistencia a enfermedades y un mayor crecimiento (SEMARNAT, 2023).

Diversos estudios han demostrado que el almacenamiento adecuado de semillas de especies del género *Pinus* permite mantener su viabilidad a lo largo del tiempo. Por ejemplo, Martínez *et al.* (2002) evaluaron el efecto de las condiciones de almacenamiento y la estratificación sobre la germinación de semillas de *Pinus ponderosa* en la Patagonia Argentina. Los autores observaron que, incluso después de cuatro años de almacenamiento, las semillas conservaron una germinación promedio del 69 %, manteniendo un contenido de humedad de aproximadamente 7 % durante todo el periodo de almacenamiento. De forma similar, Lee *et al.* (2024), analizaron la viabilidad de semillas de *Pinus densiflora* almacenadas durante 20 años a -18 °C, encontrando que mantenían una tasa de germinación del 89 %, muy cercana a su valor original. Estos resultados muestran que el almacenamiento prolongado puede ser efectivo si se controlan adecuadamente las condiciones.

La viabilidad de la semilla es un factor determinante en la producción de planta en vivero, ya que de esta depende el éxito en la germinación y el desarrollo inicial de los individuos. Sin embargo, factores como el tiempo, la temperatura y la humedad pueden afectar negativamente la capacidad germinativa si no se aplican técnicas adecuadas de conservación.

Por ello, esta investigación tiene como objetivo generar información detallada sobre la viabilidad y el almacenamiento de semillas de *Pinus pseudostrobus* que permita conocer las condiciones que prolongan su viabilidad con la finalidad de garantizar el suministro de semilla para la producción de planta en vivero, contribuyendo así a la gestión forestal sostenible.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Determinar porcentaje de emergencia de semillas *Pinus pseudostrobus* con un período de almacenamiento de ocho años en diferentes envases y temperaturas que permitan prolongar su viabilidad para después producir planta.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el tipo de envase que conserva mejor la viabilidad de la semilla de *P. pseudostrobus* para su posterior uso en vivero.
- Determinar la temperatura apropiada para almacenar por periodos largos semilla de *P. pseudostrobus* que después será usada para producir planta en vivero.

## **3. HIPÓTESIS**

El almacenar semilla de *P. pseudostrobus* por periodos largos de tiempo (ocho años) el tipo de envase y temperatura impactan en la viabilidad de la semilla para su posterior uso en producir planta en vivero.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1. Importancia de las semillas forestales

Las semillas forestales son un recurso fundamental para la restauración ecológica, el manejo forestal sostenible y la conservación de la biodiversidad. Su disponibilidad y calidad son esenciales para asegurar el éxito de programas de reforestación, especialmente en zonas afectadas por incendios, tala clandestina o degradación ambiental. Almacenar semillas en condiciones adecuadas permite conservar su viabilidad por períodos prolongados, lo cual resulta crítico en estrategias de conservación *ex situ*, como los bancos de germoplasma (FAO, 2014).

### 4.2. *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Se conoce como pino lacio o pino liso, pertenece al Reino *Plantae*, División *Pinophyta*, Clase *Pinopsida*, Orden *Pinales*, Familia *Pinaceae*, Género *Pinus*, Sección *Trifoliae* (anteriormente llamada *Ponderosae*), y Subsección *Australes* (Farjon, 2013). Se distribuye desde el sur de Nuevo León hasta Nicaragua y Honduras, encontrándose en altitudes entre 850 y 3,250 metros sobre el nivel del mar. En México, se localiza principalmente en estados como Sinaloa, Michoacán, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Chiapas, formando parte de los bosques templados de pino y pino-encino (Viveros-Viveros, 2006). Prefiere climas templados con precipitaciones anuales entre 800 y 2,000 mm y suelos profundos de textura franco-arenosa.

Es un árbol de talla mediana a grande que puede alcanzar alturas de 20 a 35 metros, con diámetros a la altura del pecho (DAP) de hasta 1 metro en condiciones favorables (Farjon, 2013). Su corteza es de color marrón grisáceo, fisurada en árboles adultos y más lisa en individuos jóvenes. Las agujas se agrupan en fascículos de cinco, con longitudes que varían de 15 a 30 cm, lo que le da una apariencia grácil y distintiva dentro de su género. Sus conos son cilíndricos, miden de 8 a 15 cm de largo y contienen semillas aladas que facilitan su dispersión.

La reproducción de *Pinus pseudostrobus* es principalmente sexual, a través de semillas. La polinización ocurre por viento (anemófila) y los conos femeninos tardan aproximadamente

dos años en madurar después de la fecundación. Se ha observado que la germinación de sus semillas varía según las condiciones ambientales, con porcentajes que oscilan entre el 50% y 80% bajo condiciones controladas en viveros (García *et al.*, 2019). Un método alternativo de propagación es la propagación vegetativa mediante injertos o estacas; sin embargo, esta última es poco común en *Pinus pseudostrobus* debido a su baja tasa de éxito en el enraizado de esquejes (Barrera-Ramírez *et al.*, 2024).

Los años semilleros en *Pinus pseudostrobus* no son constantes, pero en general se presentan cada tres a cinco años, dependiendo de factores climáticos y ecológicos. Durante estos períodos, la producción de conos es significativamente mayor y se recomienda la recolección de semillas de árboles superiores para su posterior germinación y producción en vivero (Viveros-Viveros, 2006).

El manejo en viveros de *Pinus pseudostrobus* requiere condiciones específicas para optimizar el crecimiento de las plántulas. Se recomienda el uso de sustratos bien drenados y ricos en materia orgánica, como mezclas de turba, vermiculita y perlita, para favorecer el desarrollo radicular. La fertilización debe ajustarse según la etapa de desarrollo de la plántula, aplicando nitrógeno en las primeras fases para promover el crecimiento vegetativo y fósforo en etapas posteriores para el fortalecimiento radicular (CONAFOR, 2024).

#### **4.3. Bases fisiológicas y bioquímicas**

Durante la maduración en el árbol se reprograma el metabolismo: disminuye el almidón y aumentan los azúcares solubles (sacarosa, glucosa y fructosa), que definen la dulzura; en especies con sorbitol, como los frutales del género *Prunus*, su homeostasis es fundamental (Kim *et al.*, 2015). Estos cambios dependen de la relación fuente–sumidero, del flujo de fotoasimilados y del microambiente que rodea al fruto (Carella *et al.*, 2023). En cuanto a la textura, el ablandamiento resulta de la acción de enzimas que modifican la pared celular, como poligalacturonasas, pectín metilesterasas,  $\beta$ -galactosidasas y expansinas, que reducen la firmeza y aumentan la jugosidad. En el árbol, la progresión del ablandamiento está modulada por señales hormonales y ambientales; una sobremaduración conduce a la senescencia y eleva el riesgo de abscisión (Osorio *et al.*, 2017a; Brizzolara *et al.*, 2020). De forma paralela, se producen cambios en la pigmentación por acumulación de carotenoides y

antocianinas, junto con la síntesis de compuestos volátiles (alcoholes, ésteres, terpenos) que definen el aroma característico. La incidencia de la luz y el régimen térmico de la copa influyen notablemente en estas rutas metabólicas (Osorio *et al.*, 2017b; Seymour *et al.*, 2013; WSU Tree Fruit, 2022).

#### **4.4. Factores precosecha e implicaciones prácticas**

La maduración en el árbol está influida por múltiples factores precosecha. La luz y la arquitectura del dosel determinan la coloración y la acumulación de sólidos solubles: frutos más sombreados presentan retrasos en la madurez y menor intensidad de color (Salvador, 2000; WSU Tree Fruit, 2022). La temperatura y el balance hídrico modulan la velocidad de las rutas enzimáticas y pueden inducir estrés térmico o hídrico, afectando el crecimiento del fruto (Carella *et al.*, 2023). La carga frutal influye directamente en la relación fuente-sumidero: cargas elevadas retrasan la maduración y reducen el contenido de azúcares, mientras que cargas moderadas la aceleran (Copefrut, 2020).

El estado nutrimental es otro factor clave: el calcio fortalece la pared celular y retrasa el ablandamiento, mientras que excesos de nitrógeno retrasan la coloración y la madurez (Salvador, 2000). Asimismo, el uso de reguladores de crecimiento permite manejar la abscisión y la maduración, como el empleo de auxinas sintéticas o inhibidores de etileno en frutales de pepita y carozo (García de Cabrera, 2024). Otras prácticas como el ensacado precosecha modifican el microambiente del fruto, regulando la coloración y uniformidad de madurez (Shahak *et al.*, 2021).

Finalmente, la sobremaduración en el árbol genera un aumento en la producción de etileno que puede inducir la abscisión, especialmente en especies climatéricas (Trainotti *et al.*, 2007; García de Cabrera, 2024). Por ello, la decisión de cosecha se basa en una combinación de indicadores fisicoquímicos (sólidos solubles, acidez titulable, firmeza, color), fisiológicos (tasa respiratoria, emisión de etileno) y sensoriales (dulzor percibido, aroma, textura). Optimizar la maduración en el árbol implica un manejo integrado de la luz, la carga, el riego y la nutrición, complementado con decisiones sobre el uso de reguladores.

#### **4.5. Análisis de viabilidad en semillas**

El análisis de viabilidad en semillas es un proceso fundamental para determinar su capacidad de germinar y establecer una planta sana bajo condiciones óptimas. Este concepto se basa en la premisa de que una semilla viable mantiene la integridad de su embrión y de sus tejidos metabólicamente activos, siendo capaz de activar los procesos fisiológicos que conducen a la germinación (Bewley *et al.*, 2013). La viabilidad, sin embargo, no representa un estado fijo, sino un continuo que puede verse afectado por el envejecimiento natural, el daño oxidativo, la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS), y condiciones ambientales desfavorables durante el almacenamiento, como humedad elevada o temperaturas inadecuadas (Kaur *et al.*, 2021).

Para evaluar esta viabilidad, se han desarrollado distintos métodos. El más directo es la prueba de germinación en condiciones controladas, aunque esta puede verse limitada por la presencia de dormancia fisiológica. Por esta razón, se utilizan pruebas bioquímicas complementarias como la del tetrazolio (TZ), que detecta actividad respiratoria a través de la reducción de sales de tetrazolio a un color rojo, indicando tejidos vivos y metabólicamente activos (Bewley *et al.*, 2013).

Desde una perspectiva más reciente, se han incorporado herramientas moleculares para identificar marcadores de viabilidad a nivel genético y epigenético, como genes relacionados con la tolerancia al estrés o con la reparación del ADN durante la fase de rehidratación (Sano *et al.*, 2016). Según Bewley *et al.* (2013), comprender los mecanismos fisiológicos detrás de la pérdida o conservación de viabilidad no solo es esencial para asegurar la eficiencia agrícola, sino también para programas de conservación de germoplasma y bancos de semillas. Así, el análisis de viabilidad constituye un puente entre la fisiología clásica y la biotecnología moderna aplicada a la conservación de recursos vegetales.

## **4.6. Métodos de evaluación de la viabilidad de semillas**

### **4.6.1 Pruebas de germinación**

La prueba de germinación es el método más directo y estandarizado para evaluar la viabilidad fisiológica de un lote de semillas. Consiste en exponer una muestra representativa a condiciones controladas de temperatura, humedad, oxígeno y, en algunas especies, luz, con el fin de registrar cuántas semillas logran completar la primera fase del desarrollo, expresada como la emergencia visible de la radícula. De acuerdo con las Reglas Internacionales para el Análisis de Semillas de la International Seed Testing Association (ISTA, 2019), los resultados deben expresarse como un porcentaje de germinación normal, considerando únicamente aquellas plántulas que presentan un desarrollo estructural adecuado para continuar su crecimiento en condiciones de campo.

Esta prueba se lleva a cabo utilizando sustratos específicos —como papel, arena o tierra esterilizada— y bajo condiciones que varían según los requerimientos fisiológicos de cada especie. La ISTA (2019) proporciona protocolos detallados sobre el número de semillas por muestra, condiciones de incubación, duración de la prueba y criterios para clasificar las plántulas como normales o anormales. Esta estandarización es fundamental para garantizar la comparabilidad de resultados entre laboratorios y para respaldar decisiones en programas de certificación de semillas, comercio internacional y conservación genética.

Aunque la prueba de germinación es una herramienta confiable para determinar viabilidad, presenta algunas limitaciones. No permite detectar semillas viables que no germinan debido a dormancia fisiológica o física, lo que puede subestimar la calidad real del lote. Por esta razón, ISTA (2019) también establece tratamientos previos —como escarificación, estratificación o aplicación de calor o productos químicos— que deben aplicarse en especies con dormancia conocida. En conjunto, estas pruebas ofrecen una base científica sólida para la evaluación de semillas y su adecuado manejo al momento de la siembra.

#### **4.6.2 Prueba de tetrazolio**

La prueba de tetrazolio es una herramienta bioquímica ampliamente utilizada en la evaluación de la viabilidad de semillas, especialmente en aquellas que presentan dormancia o dificultades para germinar en condiciones normales. Según Moore (1985), este método se basa en la reducción del reactivo 2,3,5-trifeniltetrazolio cloruro por enzimas respiratorias presentes en células vivas. Como resultado de esta reacción, los tejidos activos se tiñen de un color rojo o rosa intenso debido a la formación de formazán, indicando que las células son viables y tienen un metabolismo activo. Esta tinción diferencial permite distinguir entre tejidos vivos, parcialmente dañados o muertos, proporcionando un análisis detallado del estado fisiológico de cada semilla.

La ISTA (2019) respalda y estandariza el uso de esta prueba, destacando su valor en el diagnóstico rápido de la viabilidad, especialmente cuando los resultados de germinación son inciertos, o cuando se requiere una evaluación inmediata de semillas almacenadas. Además, establece protocolos específicos para diferentes especies, incluyendo los pasos de pretratamiento, corte y exposición al reactivo, así como las condiciones de temperatura y tiempo de incubación. La correcta interpretación de los resultados depende en gran medida de la habilidad del analista para identificar patrones de tinción adecuados que indiquen un embrión funcional capaz de generar una plántula normal.

Entre sus ventajas principales, esta prueba permite detectar daño fisiológico antes de que se manifieste en la germinación, como lesiones causadas por envejecimiento, estrés mecánico o mal almacenamiento. También es útil para detectar la viabilidad en lotes con alta heterogeneidad. Sin embargo, la ISTA (2019) y Moore (1985) coinciden en que la prueba no predice con exactitud el comportamiento en campo, por lo que debe ser usada como complemento a las pruebas de germinación, especialmente en programas de control de calidad, certificación de semillas y bancos de germoplasma.

#### **4.6.3 Pruebas de conductividad eléctrica**

La prueba de conductividad eléctrica es una técnica utilizada para evaluar el vigor y, en cierta medida, la viabilidad de las semillas, especialmente en especies de semillas grandes como las leguminosas. Esta técnica se fundamenta en la medición de la integridad de las membranas celulares a través de la cantidad de electrolitos liberados por las semillas cuando son embebidas en agua destilada. De acuerdo con Hampton y TeKrony (1995), las semillas con membranas celulares dañadas presentan una mayor fuga de iones hacia la solución, lo cual incrementa la conductividad eléctrica medida. Este comportamiento es indicativo de un deterioro fisiológico avanzado, reflejando una menor capacidad de germinación y establecimiento de plántulas vigorosas.

La prueba se realiza comúnmente colocando un número determinado de semillas en recipientes con un volumen específico de agua destilada, bajo condiciones de temperatura controlada durante un tiempo definido (por ejemplo, 24 horas a 20 °C). Posteriormente, se mide la conductividad eléctrica de la solución utilizando un conductímetro. Hampton y TeKrony (1995) indican que las semillas de alta calidad mantienen la integridad de sus membranas celulares durante la imbibición inicial, lo que limita la fuga de electrolitos. En cambio, las semillas envejecidas o dañadas presentan una desorganización de sus membranas, lo que resulta en una pérdida significativa de solutos intracelulares.

Esta prueba ha demostrado ser una herramienta sensible, rápida y no destructiva para predecir el comportamiento de lotes de semillas en condiciones de campo, aunque su eficacia varía según la especie. También se ha utilizado ampliamente como indicador complementario en programas de control de calidad de semillas, especialmente en la industria agrícola. Sin embargo, Hampton y TeKrony (1995) señalan que la interpretación de los resultados debe considerar factores como el tamaño de la semilla, el tipo de sustrato, el tiempo de almacenamiento y las condiciones previas al ensayo, lo que requiere protocolos estandarizados para obtener resultados confiables y comparables.

#### **4.6.4 Pruebas de rayos X**

La técnica de rayos X es una herramienta no destructiva ampliamente utilizada para evaluar la calidad interna de las semillas, permitiendo detectar daños mecánicos, malformaciones embrionarias, presencia de insectos, vacíos o deterioro que afectan su viabilidad, sin alterar su estructura física (Simak, 1980). Al exponer las semillas a radiación electromagnética, las partes densas como el embrión absorben más rayos X y aparecen oscuras en la radiografía, mientras que las cavidades o tejidos dañados se muestran claras o irregulares, facilitando un diagnóstico visual claro y rápido.

Dell'Aquila (2009) señala que esta técnica es especialmente útil para especies con ciclos de germinación lentos o en bancos de germoplasma, donde la integridad del embrión es crucial para la conservación genética y la producción futura. Más recientemente, Abud *et al.*, (2018) ampliaron el potencial de la radiografía en semillas al incorporar tecnologías digitales avanzadas y algoritmos de inteligencia artificial para el procesamiento y análisis automático de imágenes. Estos avances permiten la evaluación objetiva y rápida de miles de semillas en programas de mejoramiento genético, donde seleccionar lotes con alta viabilidad y vigor es fundamental.

Los autores destacan que el uso de inteligencia artificial mejora la precisión en la detección de defectos internos, reduce la subjetividad en la interpretación y optimiza el tiempo necesario para el análisis, superando las limitaciones tradicionales que dependían exclusivamente de la observación manual y la experiencia del operador. Además, estas técnicas permiten establecer modelos predictivos que correlacionan características morfológicas internas con la capacidad germinativa y el rendimiento agrícola, abriendo nuevas posibilidades para la automatización del control de calidad en la industria semillera y la conservación sostenible de recursos genéticos.

En conjunto, la integración de la radiografía con herramientas digitales y de inteligencia artificial representa un avance significativo en la evaluación rápida, precisa y no destructiva de semillas, combinando la tradición del método con la innovación tecnológica para responder a las exigencias actuales de la agricultura y la conservación ambiental.

#### **4.6.5 Análisis molecular**

Con el avance de la biotecnología, los métodos para evaluar la viabilidad y el vigor de las semillas se han enriquecido mediante el uso de técnicas moleculares que permiten un análisis más detallado y preciso de los procesos fisiológicos subyacentes a la germinación. Joosen *et al.* (2010) describen el desarrollo de herramientas bioinformáticas y metodologías basadas en la PCR en tiempo real (qPCR) para detectar la expresión de genes específicos relacionados con la activación metabólica y el inicio de la germinación en semillas de *Arabidopsis thaliana*. Estas técnicas permiten monitorizar en tiempo real la regulación genética durante las primeras fases del desarrollo embrionario, proporcionando indicadores tempranos de viabilidad antes de que se manifiesten cambios morfológicos evidentes.

El uso de marcadores moleculares vinculados a rutas metabólicas críticas, como las involucradas en la movilización de reservas, reparación de daños o activación hormonal, ofrece una ventaja significativa respecto a los métodos convencionales. La cuantificación precisa de la expresión génica posibilita diferenciar semillas con potencial germinativo alto de aquellas que, aunque físicamente intactas, poseen un bajo vigor o están deterioradas. Además, la automatización de estos análisis mediante software especializados como Germinator (Joosen *et al.*, 2010) facilita el procesamiento de grandes cantidades de datos, optimizando la evaluación de lotes extensos con alta reproducibilidad y menor subjetividad.

Estas técnicas moleculares complementan las pruebas fisiológicas y bioquímicas tradicionales, contribuyendo a un mejor entendimiento de los mecanismos que regulan la dormancia y la germinación, así como a la mejora de estrategias para la conservación y selección de semillas. A medida que la tecnología avanza, el análisis molecular promete consolidarse como una herramienta esencial en los programas de mejoramiento genético, certificación de calidad y gestión de bancos de germoplasma, al permitir diagnósticos más rápidos y específicos del estado fisiológico de las semillas.

## **4.7 Factores que afectan la viabilidad de las semillas**

La viabilidad de una semilla —su capacidad de germinar y desarrollar una plántula normal— depende de una interacción compleja de factores fisiológicos, genéticos y ambientales. Comprender estos factores es esencial para el manejo adecuado de semillas en agricultura, conservación y programas de mejoramiento genético. A continuación, se describen los principales elementos que influyen sobre la viabilidad, junto con evidencia científica que respalda su impacto.

La capacidad de las semillas para conservar su poder germinativo a lo largo del tiempo es fundamental; esa viabilidad se ve afectada por factores como el contenido de humedad, la temperatura, el tipo de envase y la duración del almacenamiento. Por ello, resulta indispensable evaluar técnicas de conservación que preserven la viabilidad de las semillas forestales para asegurar su disponibilidad futura (FAO, 1994).

### **4.7.1 Edad y almacenamiento**

El envejecimiento de las semillas es un proceso irreversible que conlleva la pérdida progresiva de viabilidad. De acuerdo con Ellis y Roberts (1980), las semillas, aun bajo condiciones ideales, experimentan deterioro fisiológico con el tiempo debido a la acumulación de daño oxidativo, desorganización de membranas celulares y reducción en la actividad enzimática. Este proceso se ve acelerado cuando las semillas se almacenan bajo condiciones inadecuadas, como altas temperaturas y humedad relativa elevada.

Para minimizar el deterioro, se recomienda el almacenamiento en ambientes fríos (entre 0 °C y 5 °C) y secos (humedad relativa menor al 15 %), especialmente en bancos de germoplasma. Hong *et al.* (2005) también encontraron que semillas ortodoxas —aquéllas que toleran desecación— pueden conservarse durante décadas bajo condiciones criogénicas sin pérdida significativa de viabilidad, mientras que las semillas recalcitrantes —sensibles a la deshidratación— requieren estrategias especiales de conservación.

#### **4.7.2 Condiciones ambientales**

Las condiciones ambientales antes, durante y después de la cosecha tienen un efecto significativo sobre la viabilidad de las semillas. Probert *et al.* (2009) afirman que factores como la temperatura, la disponibilidad hídrica y la exposición a la luz durante el desarrollo de la semilla afectan la acumulación de reservas, el estado de maduración y la formación del embrión, lo cual incide directamente en su longevidad. Asimismo, durante el almacenamiento, las fluctuaciones de temperatura o humedad pueden desencadenar procesos metabólicos indeseados, aumentar la actividad respiratoria o favorecer el crecimiento microbiano, reduciendo la calidad del lote.

Investigaciones recientes también destacan el efecto del estrés ambiental materno. Finch-Savage y Bassel (2016) sostienen que las condiciones a las que se expone la planta madre —como sequía, salinidad o estrés térmico— pueden generar semillas con menor contenido de reservas y menor expresión de genes asociados a la germinación, afectando negativamente la viabilidad desde su origen.

#### **4.7.3 Genética de la especie**

Cada especie posee un perfil genético único que determina su potencial de almacenamiento y la duración de su viabilidad. Walters *et al.* (2005) identificaron variaciones interespecíficas significativas en cuanto a la longevidad de las semillas, vinculadas con características estructurales (como el grosor del tegumento), bioquímicas (como la concentración de azúcares protectores y antioxidantes) y fisiológicas (como la intensidad de la dormancia).

La genética también influye en la capacidad de respuesta a tratamientos de conservación y a los métodos de prueba de viabilidad. Por ejemplo, algunas especies requieren condiciones específicas para preservar su potencial germinativo, mientras que otras pueden conservarse eficazmente bajo condiciones estándar. Esta variabilidad genética obliga a ajustar los protocolos de conservación y análisis según la especie y, en algunos casos, incluso según el ecotipo o variedad.

#### **4.7.4 Presencia de patógenos y plagas**

La actividad de hongos, bacterias e insectos puede comprometer seriamente la integridad de las semillas. Bale *et al.* (2002), destacan que estos agentes pueden atacar tanto durante el desarrollo como durante el almacenamiento, ocasionando infecciones que deterioran tejidos embrionarios, promueven la fermentación o favorecen la descomposición de las cubiertas protectoras. Los hongos del género *Aspergillus*, por ejemplo, pueden producir micotoxinas y consumir nutrientes esenciales, mientras que insectos como el gorgojo (*Sitophilus spp.*) perforan la cubierta y dañan el embrión directamente.

Además, según Menten *et al.* (2006), la infección latente o superficial de semillas puede no ser visible externamente, pero sí afectar la germinación y ser fuente de transmisión de enfermedades a los cultivos. Por lo tanto, el control sanitario previo al almacenamiento y el uso de fungicidas o tratamientos térmicos suaves son medidas recomendadas para preservar la viabilidad.

#### **4.7.5 Madurez fisiológica en la cosecha**

Cosechar semillas antes de alcanzar la madurez fisiológica puede reducir su viabilidad, ya que el embrión y las reservas aún no se han desarrollado completamente. Bewley *et al.* (2013), explican que durante las últimas etapas del desarrollo, las semillas acumulan proteínas de reserva, lípidos y azúcares protectores, además de estabilizar sus membranas. La interrupción prematura de este proceso por cosecha anticipada puede producir semillas con menor tolerancia al secado y mayor susceptibilidad al daño mecánico, reduciendo su longevidad en almacenamiento.

#### **4.7.6 Daño mecánico**

Durante las etapas de cosecha, procesamiento y transporte, las semillas pueden sufrir daño físico por impactos, presión o fricción excesiva. Este tipo de daño puede no ser visible externamente, pero afecta estructuras internas como el embrión o el tejido de reserva,

deteriorando la germinación. Según Copeland y McDonald (2001), este problema es especialmente crítico en semillas grandes como las de maíz, frijol o soya, donde el embrión es más expuesto a fracturas.

El análisis de viabilidad es esencial en la producción de cultivos y reforestación, ya que permite seleccionar semillas de alta calidad y optimizar la eficiencia de siembra. Además, es una herramienta clave en la conservación de especies vegetales, asegurando la disponibilidad de recursos genéticos a largo plazo (Hay *et al.*, 2014).

#### **4.8 Latencia y tratamientos pregerminativos en semillas forestales**

La latencia es una característica común en muchas especies forestales, y se define como la incapacidad de una semilla viable para germinar aun cuando se encuentra en condiciones ambientales favorables. Esta latencia puede ser causada por factores físicos (como cubiertas impermeables), morfológicos (embriones poco desarrollados) o fisiológicos (presencia de inhibidores internos) (Varela, 2011). En algunas especies, se presentan combinaciones de estas causas.

Durante el almacenamiento, la latencia puede actuar como un mecanismo protector, ayudando a preservar la viabilidad de las semillas hasta que se den las condiciones óptimas para su germinación (Varela, 2011). Sin embargo, representa un desafío en la producción de plántulas, ya que puede provocar germinación lenta, escalonada o irregular.

Para superar la latencia, se aplican tratamientos pregerminativos como la estratificación (exposición controlada al frío o calor), la escarificación (ruptura de la cubierta de la semilla), la lixiviación (remoción de inhibidores químicos mediante remojo) o el uso de hormonas como ácido giberélico (Varela, 2011). Estos métodos buscan uniformar y acelerar la germinación, optimizando así la eficiencia del vivero.

En investigaciones sobre almacenamiento de semillas, conocer el tipo de latencia que presentan es fundamental para seleccionar condiciones adecuadas de conservación, incluyendo el tipo de envase y el ambiente de resguardo, con el fin de mantener su viabilidad y facilitar su posterior germinación.

#### **4.9 Calidad de planta en viveros**

La calidad de planta en viveros forestales es un factor determinante para el éxito de las plantaciones, ya que influye directamente en la supervivencia y el crecimiento de las especies establecidas en campo (Rueda-Sánchez *et al.*, 2018). La evaluación de la calidad de las plantas producidas en viveros permite identificar deficiencias y áreas de mejora en los procesos de producción, contribuyendo a la optimización de recursos y al fortalecimiento de los programas de reforestación.

Según Prieto y Sánchez (2011), la calidad de planta se refiere a la capacidad de una planta forestal para alcanzar las expectativas de supervivencia y crecimiento en una estación particular. Esta capacidad es reflejo de unas condiciones morfológicas y fisiológicas que le permiten una mejor respuesta frente a los factores propios del lugar de establecimiento, manifestándose a través de su capacidad para superar el estrés de plantación.

En un estudio realizado en los viveros forestales del estado de Nayarit, Rueda-Sánchez *et al.* (2018), determinaron que en su mayoría, la planta producida era de calidad media, de acuerdo con los estándares sugeridos. Las variables mejor calificadas fueron el índice de robustez y los contenidos de fósforo, potasio y nitrógeno. Por otro lado, la relación biomasa aérea seca/biomasa radicular seca recibió la menor calificación, lo que indica la importancia de evaluar tanto la parte aérea como el sistema radicular de las plantas para una valoración integral de su calidad.

Además de los indicadores morfológicos y fisiológicos, es fundamental considerar las prácticas culturales y el manejo en el vivero. Según Hernández-Ramos *et al.* (2015), la baja calidad de la planta producida en los viveros forestales de México es una de las causas del poco éxito en las plantaciones, lo que resalta la necesidad de mejorar las prácticas de producción y manejo en los viveros para garantizar la calidad de las plantas.

La calidad de planta en viveros forestales es un aspecto esencial para el éxito de las plantaciones. La evaluación constante de las plantas producidas, considerando tanto indicadores morfológicos y fisiológicos como las prácticas de manejo en el vivero, permite

identificar áreas de mejora y optimizar los procesos de producción, contribuyendo al éxito de los programas de reforestación y al fortalecimiento de los ecosistemas forestales.

#### **4.10 Estudios de viabilidad de semillas**

##### **4.10.1 Estudio del banco de germoplasma de Michoacán: Viabilidad de semillas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante 16 años**

La investigación realizada por la Comisión Forestal del Estado de Michoacán y publicada en el repositorio de la Universidad de Guadalajara evaluó la viabilidad y germinación de semillas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas en el banco de germoplasma por un periodo de hasta 16 años. El estudio fue llevado a cabo en Morelia, Michoacán, donde se recolectaron semillas de *P. pseudostrobus*, *P. michoacana* y *P. montezumae* entre los años 2003 y 2019, las cuales se conservaron en condiciones controladas de refrigeración (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, s.f.).

Se aplicaron modelos lineales generalizados para evaluar las diferencias en porcentaje de viabilidad (PV) y germinación (PG) a lo largo del tiempo. Los análisis mostraron que, mientras que *P. michoacana* presentó una reducción en la germinación promedio (74.34 %) y *P. montezumae* alcanzó un 64.66 %, la especie *P. pseudostrobus* no evidenció una pérdida significativa en viabilidad ni en capacidad de germinación, lo cual es relevante considerando el largo periodo de almacenamiento (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, s.f.).

El estudio concluye que las semillas de *Pinus pseudostrobus* pueden mantenerse viables durante al menos 16 años bajo condiciones de refrigeración adecuadas, sin presentar una pérdida significativa en su capacidad germinativa. Este hallazgo resulta fundamental para los bancos de germoplasma y los programas de reforestación que buscan conservar la calidad genética de especies forestales a largo plazo (Comisión Forestal del Estado de Michoacán, s.f.).

#### **4.10.2 Estudio en Corea del Sur: Viabilidad de semillas de *Pinus densiflora* almacenadas a diferentes temperaturas por 20 años**

Un equipo de investigadores del Instituto Nacional de Ciencias Forestales de Corea del Sur, encabezado por Hyun *et al.* (2024), evaluó los efectos del almacenamiento a largo plazo en semillas ortodoxas de *Pinus densiflora*, con especial énfasis en cómo la temperatura afecta la viabilidad y la integridad fisiológica de las semillas. Las semillas fueron almacenadas durante 20 años en tres condiciones distintas:  $-18^{\circ}\text{C}$  (congelación),  $4^{\circ}\text{C}$  (refrigeración) y  $25^{\circ}\text{C}$  (ambiente). El objetivo fue analizar el porcentaje de germinación, el vigor, la integridad de membranas y los cambios bioquímicos durante la germinación (Hyun *et al.*, 2024).

Las semillas almacenadas a  $-18^{\circ}\text{C}$  mantuvieron un porcentaje de germinación del 89 %, apenas por debajo del 91 % registrado inicialmente. En contraste, aquellas conservadas a  $4^{\circ}\text{C}$  mostraron una germinación reducida al 44 %, mientras que las almacenadas a temperatura ambiente ( $25^{\circ}\text{C}$ ) perdieron completamente su viabilidad. Además, se observó una mayor conductividad eléctrica y degradación de carbohidratos en las semillas almacenadas a temperaturas más altas, lo que indica daño en la membrana celular y pérdida de vigor (Hyun *et al.*, 2024).

Este estudio demuestra que el almacenamiento a temperaturas bajo cero es altamente efectivo para mantener la viabilidad de semillas de coníferas como *P. densiflora* durante décadas. Aunque la especie estudiada no es *P. pseudostrobus*, los resultados son extrapolables debido a que ambas especies producen semillas ortodoxas con características similares de conservación. El trabajo también subraya la importancia de evitar el almacenamiento a temperatura ambiente, incluso en envases sellados, ya que esto puede inducir una rápida degradación de la semilla (Hyun *et al.*, 2024).

#### **4.10.3 Revisión general de almacenamiento de semillas de pino ortodoxas en Europa del Este**

En un estudio de revisión científica publicado en Croacia, Atay *et al.* (2023), analizaron la influencia del tiempo de almacenamiento en semillas de *Pinus brutia*, una especie de pino ampliamente utilizada en programas de reforestación en Europa y Asia. Este estudio fue desarrollado en colaboración con la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Estambul y se centró en cómo las condiciones de almacenamiento afectan la germinación de las semillas. Aunque no aborda específicamente a *Pinus pseudostrobus*, el estudio proporciona un marco útil y extrapolable para el almacenamiento de especies de pinos con características similares (Atay *et al.*, 2023).

Las semillas fueron secadas hasta alcanzar una humedad promedio del 6.5 % y almacenadas en diferentes condiciones por un periodo de hasta 10 años. Los resultados mostraron que aquellas conservadas en cámaras frías entre 0 °C y 5 °C mantuvieron tasas de germinación superiores al 85 %, mientras que las almacenadas a temperatura ambiente vieron reducida su germinación a menos del 50 %. También se analizaron factores como el tipo de envase, observándose que los envases herméticos de aluminio o polietileno ayudaron a conservar mejor las propiedades fisiológicas de las semillas (Atay *et al.*, 2023).

Este trabajo respalda la idea de que el éxito del almacenamiento de semillas de pino depende en gran medida de dos factores clave: la reducción de humedad inicial y el uso de temperaturas controladas. Si bien los envases por sí solos no garantizan la viabilidad, su combinación con refrigeración prolonga considerablemente la vida útil de las semillas ortodoxas como *P. pseudostrobus*. La revisión también destaca la importancia de evitar la exposición prolongada a luz y calor, ya que estos aceleran la pérdida de vigor (Atay *et al.*, 2023).

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en el vivero forestal ubicado en el antiguo rancho universitario, actualmente conocido como Ciudad Universitaria Tulancingo, en el municipio de Santiago Tulantepec, Hidalgo, durante el periodo de enero-junio 2025. El lugar presenta un clima templado semiseco, con temperatura media anual que oscila entre 10 °C y 15 °C y una precipitación pluvial anual de 500 a 850 mm. El periodo de lluvias se concentra principalmente entre los meses de mayo y septiembre (Secretaría de Planeación y Desarrollo Regional del Estado de Hidalgo, 2017). Este sitio se localiza en las coordenadas geográficas 20° 03' 37.05" latitud norte y 98° 22' 54.45" longitud oeste (Google Earth Pro, 2024), con altitud de 2159 metros sobre el nivel del mar.

### 5.2 Procedencia y beneficio de las semillas

Las semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. fueron colectadas el 13 de marzo del 2016 en la comunidad de San Rafael Valenzuela, ubicada en el municipio de Huayacocotla, Veracruz. Esta localidad se encuentra a la altitud de 2336 msnm, en las coordenadas 20° 27' 39.73" latitud norte y 98° 31' 21.60" longitud oeste (Google Earth Pro, 2024). Las semillas son de árboles padres que presentaron conos maduros al momento de realizar el corte de liberación y fueron derribados para su aprovechamiento maderable. El beneficio de la semilla fue tradicional que consiste en poner durante el día los conos directos al sol (sobre manta de costal) y por la noche se protegían de la lluvia o sereno para evitar que se humedecieran y volvieran a cerrar, la exposición al sol fue por dos semanas. Posteriormente la semilla se limpió de alas, impurezas y semilla vana con el apoyo del viento hasta quedar casi limpia la semilla.

### 5.3 Tratamientos de almacenamiento

Se emplearon distintos métodos de almacenamiento para conservar la semilla de *Pinus pseudostrobus* durante un período de ocho años. Para ello, se utilizaron un total de 16 envases, distribuidos de la manera siguiente: 6 frascos de vidrio (250 ml de volumen), 6 frascos de plástico (250 ml de volumen) ambos con tapa para cerrado hermético y 4 bolsas de plástico con cerrado hermético de doble banda (capacidad 0.5 Kg). Con el fin de evaluar el impacto de las condiciones de almacenamiento, la mitad de tipo de recipiente se colocó en refrigeración (parte baja de refrigerador doméstico con temperatura de 1 a 4 °C) (Figura 1), mientras que la otra mitad se mantuvo a temperatura ambiente (rango de temperatura de 20 a 29 °C) (Figura 2).



**Figura 1.** Diferentes envases con semillas de *Pinus pseudostrobus* colocados en refrigeración (1-4 °C).



**Figura 2.** Diferentes envases con semillas de *Pinus pseudostrobus* colocados a temperatura ambiente (20-29 °C).

Asimismo, se consideró el nivel de llenado de semilla como una condición adicional de almacenamiento. En los frascos de vidrio y plástico se establecieron tres niveles de capacidad: completo (100 %), medio (50 %) y un tercio (33 %), asignando cuatro envases a cada nivel. En el caso de las bolsas plásticas, se siguió un esquema análogo, dividiéndolas en dos categorías: medio llenado (50 %) y un cuarto de su capacidad (25 %). La combinación de estos factores conformó los tratamientos experimentales descritos en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Tratamientos aplicados a semilla de *Pinus pseudostrobus* por tipo de envase, cantidad de llenado y temperatura de almacenamiento.

Tratamiento	Tipo de envase	Cantidad de llenado	Temperatura
<b>T1</b>	Vidrio	100%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T2</b>	Vidrio	100%	Ambiente (20-29°C)
<b>T3</b>	Vidrio	50%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T4</b>	Vidrio	50%	Ambiente (20-29°C)
<b>T5</b>	Vidrio	33.33%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T6</b>	Vidrio	33.33%	Ambiente (20-29°C)
<b>T7</b>	Plástico	100%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T8</b>	Plástico	100%	Ambiente (20-29°C)
<b>T9</b>	Plástico	50%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T10</b>	Plástico	50%	Ambiente (20-29°C)
<b>T11</b>	Plástico	33.33%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T12</b>	Plástico	33.33%	Ambiente (20-29°C)
<b>T13</b>	Bolsa plástico	50%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T14</b>	Bolsa plástico	50%	Ambiente (20-29°C)
<b>T15</b>	Bolsa plástico	25%	Refrigeración (1-4°C)
<b>T16</b>	Bolsa plástico	25%	Ambiente (20-29°C)

Durante los ocho años de almacenamiento, las semillas permanecieron selladas dentro de sus respectivos envases, sin ser expuestas a condiciones externas que pudieran alterar su viabilidad.

## 5.4 Actividades previas a la siembra

### 5.4.1 Separación de semilla vana

Se tomaron 200 semillas por envase correspondiente a cada tratamiento y se depositaron en agua para realizar la separación de las semillas vanas mediante el método de flotación (Figura 3). Aquellas que permanecieron en la superficie se consideraron no viables, ya que la flotación suele indicar ausencia de embrión o bajo peso específico, lo que generalmente se asocia con semillas vacías o deterioradas (ISTA, 2019; Copeland & McDonald, 2001). Las semillas que se hundieron fueron clasificadas como llenas y se colocaron sobre servilletas absorbentes para eliminar el exceso de humedad superficial antes de proceder a la siembra, utilizando una semilla por cavidad.



**Figura 3.** Procedimiento para separar semilla vana de *Pinus pseudostrobus* por el método de flotación en agua.

### 5.4.2 Lavado y desinfectado de charolas

Se emplearon en total 2,596 tubetes con capacidad de 310 cm<sup>3</sup> cada uno. Inicialmente, estos fueron sumergidos en una solución de agua con detergente en polvo y frotados manualmente con cepillos para eliminar residuos adheridos. Posteriormente, se realizó la desinfección colocando los tubetes durante 24 horas en una tina de 200 litros con agua y 3 litros de cloro comercial (hipoclorito de sodio al 5 %), procedimiento recomendado para reducir la

presencia de microorganismos patógenos en envases y utensilios utilizados en viveros forestales (Hartmann et al., 2014; CONAFOR, 2015).

#### 5.4.3 Preparación de sustratos para siembra

Para la producción de planta de *Pinus pseudostrobus*, se utilizaron sustratos para favorecer la emergencia y el desarrollo inicial de las plántulas en condiciones de vivero (Figura 4).



**Figura 4.** Elaboración de la mezcla de sustrato compuesta por aserrín, tezontle, peat moss y vermiculita para la emergencia de plántulas de *Pinus pseudostrobus*.

La mezcla de sustrato estuvo compuesta por 414.72 litros de aserrín (50 %), que aportó estructura y permitió buena aireación del medio, además de mejorar el drenaje. Se incorporaron 165.88 litros de tezontle (20 %), material de origen volcánico que, por su porosidad, ayuda a mantener humedad constante sin saturación. Para mejorar la retención de agua disponible para las raíces jóvenes, se agregaron 165.88 litros de peat moss (20 %), un componente orgánico con alta capacidad de absorción. También se incluyeron 82.944 litros

de vermiculita (10 %), es mineral expandido que contribuye al intercambio catiónico en el sustrato. Finalmente, para garantizar un suministro inicial de nutrientes y promover un desarrollo vigoroso desde la etapa de emergencia, se incorporaron 3,317.76 g del fertilizante de liberación controlada Osmocote® Plus (ICL Specialty Fertilizers), con duración aproximada de cuatro meses (8 g L<sup>-1</sup> de mezcla). Este producto contiene macro y micronutrientes en proporciones balanceadas (18-06-12+2CaO+3.5MgO+2.1Si+ME).

#### **5.4.4 Proceso de siembra**

Una vez reunidos y medidos los componentes del sustrato, se procedió a mezclarlos manualmente con el apoyo de palas, asegurando una distribución homogénea de todos los materiales. Durante el mezclado se aplicó agua de manera gradual para favorecer la hidratación uniforme del sustrato sin llegar al exceso de humedad.

El experimento se estructuró en 16 tratamientos, cada uno con tres repeticiones, conformando un total de 48 unidades experimentales. Cada repetición estuvo representada por una charola de 54 cavidades o tubetes, en las cuales se sembró una semilla por cavidad, dando un total de 162 semillas por tratamiento (54 semillas × 3 repeticiones) y 2,592 semillas en todo el ensayo.

La asignación de los tratamientos a las charolas se realizó bajo un diseño completamente al azar, con el propósito de evitar sesgos por posición o por condiciones ambientales dentro del área del vivero. Cada charola fue debidamente identificada con la clave correspondiente a su tratamiento y repetición, lo que facilitó el seguimiento durante las etapas de evaluación posteriores.

#### **5.4.5. Llenado de tubetes**

Se distribuyó el sustrato en cada uno de los tubetes con capacidad de 310 cm<sup>3</sup>, el cual se golpeó suavemente para asegurar la compactación homogénea (Figura 5).



**Figura 5.** Llenado de tubetes con la mezcla del sustrato y acomodo de las charolas en el vivero.

A continuación, en la siembra se colocó una semilla por tubete a la profundidad de 0.7 cm, siguiendo las instrucciones del tratamiento asignado. Posteriormente, cada semilla fue cubierta con una ligera capa de vermiculita (Figura 6), lo cual permitió conservar la humedad y sin dificultar la emergencia de la plántula. Una vez concluida la siembra de todas las charolas, se procedió a realizar un riego general para asegurar la imbibición de la semilla que es el inicio del proceso germinativo.



**Figura 6.** Siembra y tapado de la semilla con vermiculita para iniciar el proceso de germinación en vivero.

## 5.5 Variables a evaluar

El porcentaje de emergencia (PE) se calculó a partir del número de semillas que lograron emerger respecto al total de semillas sembradas (100 por tratamiento), registrando la emergencia cada tres días desde el inicio (26 días después de la siembra) hasta los 54 días, siguiendo el procedimiento descrito por la International Seed Testing Association (ISTA, 2019). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$PE(\%) = \left( \frac{N_e}{N_t} \right) \times 100$$

donde:

$PE(\%)$ = Porcentaje de emergencia

$N_e$  = Número de semillas germinadas

$N_t$  = número total de semillas sembradas

El porcentaje de emergencia (PE) se calculó a partir del número de semillas que lograron emerger respecto al total de semillas sembradas (100 por tratamiento), registrando la emergencia cada tres días desde el inicio (26 días después de la siembra) hasta los 54 días, siguiendo el procedimiento descrito por la International Seed Testing Association (ISTA, 2019). La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$VE = \frac{E_1}{D_1} + \frac{E_2}{D_2} + \dots + \frac{E_n}{D_n}$$

donde:

$VE$ = Velocidad de emergencia

$E_1, E_2, \dots, E_n$  = número de plántulas emergidas en cada conteo

$D_1, D_2, \dots, D_n$  = días transcurridos desde la siembra hasta cada conteo

El porcentaje acumulativo de emergencia (PAE) se obtuvo sumando el total de semillas emergidas en cada fecha de evaluación y expresándolo como porcentaje respecto al número total de semillas sembradas, mediante la fórmula:

$$PAE(\%) = \left( \frac{\sum E_i}{N_t} \right) \times 100$$

donde:

$PAE(\%)$ = Porcentaje acumulativo de emergencia

$\sum E_i$ = Suma acumulada de semillas emergidas en cada conteo

$$N_t = \text{Número total de semillas sembradas}$$

Asimismo, se determinó el valor de energía germinativa ( $E_{50}$ ), correspondiente al número de días necesarios para alcanzar el 50 % de la emergencia total, como indicador de la rapidez y uniformidad del proceso germinativo (ISTA, 2019).

La evaluación se efectuó de manera visual y manual, considerando como semilla emergida aquella en la que el hipocótilo era visible sobre la superficie del sustrato.

## 5.6 Diseño experimental

En vivero se utilizó el diseño experimental completamente al azar, es una estrategia que permite controlar la variabilidad externa y mejora la precisión de la estimación de los efectos de los tratamientos. Las unidades experimentales se colocaron en lugares homogéneos en cuanto a condiciones iniciales, con el fin de minimizar la influencia de factores externos que pudieran afectar los resultados. El orden de los tratamientos se asignó aleatoriamente, garantizando que no existiera sesgo en la disposición de las parcelas o unidades experimentales (Tabla 2). Este procedimiento permite una comparación confiable entre los tratamientos y asegura que cualquier diferencia observada en los resultados pueda atribuirse principalmente a la aplicación de los tratamientos en estudio. A continuación, se presenta el esquema de distribución utilizado para la organización experimental del ensayo, el cual refleja la asignación de los tratamientos y facilita la comprensión de la estructura del experimento.

**Tabla 2.** Esquema de distribución de tratamientos en el diseño completamente al azar para evaluar la emergencia de semillas de *Pinus pseudostrobus* en vivero después de ocho años de almacenada.

IZQUIERDA		DERECHA	
<b>T15 R1</b> 54 Cavidades	<b>T8 R3</b> 54 Cavidades	<b>T11 R1</b> 54 Cavidades	<b>T1 R1</b> 54 Cavidades
<b>T16 R2</b> 54 Cavidades	<b>T9 R3</b> 54 Cavidades	<b>T2 R1</b> 54 Cavidades	<b>T14 R1</b> 54 Cavidades
<b>T9 R1</b> 54 Cavidades	<b>T6 R3</b> 54 Cavidades	<b>T10 R1</b> 54 Cavidades	<b>T14 R3</b> 54 Cavidades
<b>T7 R1</b> 54 Cavidades	<b>T13 R2</b> 54 Cavidades	<b>T1 R3</b> 54 Cavidades	<b>T5 R3</b> 54 Cavidades
<b>T10 R2</b> 54 Cavidades	<b>T2 R2</b> 54 Cavidades	<b>T8 R2</b> 54 Cavidades	<b>T7 R2</b> 54 Cavidades
<b>T3 R3</b> 54 Cavidades	<b>T5 R2</b> 54 Cavidades	<b>T12 R2</b> 54 Cavidades	<b>T14 R2</b> 54 Cavidades
<b>T15 R3</b> 54 Cavidades	<b>T6 R1</b> 54 Cavidades	<b>T4 R2</b> 54 Cavidades	<b>T12 R3</b> 54 Cavidades
<b>T5 R1</b> 54 Cavidades	<b>T4 R3</b> 54 Cavidades	<b>T1 R2</b> 54 Cavidades	<b>T15 R2</b> 54 Cavidades
<b>T7 R3</b> 54 Cavidades	<b>T6 R2</b> 54 Cavidades	<b>T11 R3</b> 54 Cavidades	<b>T11 R2</b> 54 Cavidades
<b>T16 R1</b> 54 Cavidades	<b>T13 R1</b> 54 Cavidades	<b>T12 R1</b> 54 Cavidades	<b>T3 R1</b> 54 Cavidades
<b>T3 R2</b> 54 Cavidades	<b>T8 R1</b> 54 Cavidades	<b>T4 R1</b> 54 Cavidades	<b>T2 R3</b> 54 Cavidades
<b>T10 R3</b> 54 Cavidades	<b>T13 R3</b> 54 Cavidades	<b>T9 R2</b> 54 Cavidades	<b>T16 R3</b> 54 Cavidades

Nota: T son tratamientos R son repeticiones

## 5.7 Análisis de datos

Los datos sometidos al análisis de varianza fueron los valores del número de semillas emergidas por tratamiento y aquellos que mediante este análisis presentaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) se aplicó la prueba de comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ), con el paquete estadístico Statical Analysis System (SAS, 2010).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1 Emergencia de plántulas

Las semillas de *P. pseudostrobus* almacenadas por ocho años en diferentes envases y temperaturas mostraron a través del análisis de varianza, diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ) entre tratamientos en la emergencia de las plántulas en vivero, particularmente en el periodo comprendido entre los 29 y los 54 días después de la siembra (DDS), excepto al inicio de la emergencia (26 DDS) que no se detectaron diferencias significativas ( $P \leq 0.5011$ ) entre los tratamientos, tal como se observa en la tabla 3. Los resultados indican que la emergencia estuvo influenciada de manera directa por las condiciones de temperatura aplicadas durante el almacenamiento, lo cual se reflejó en la conservación de la viabilidad de las semillas a lo largo del tiempo.

**Tabla 3** Diferencias significativas en la emergencia de la plántula de *Pinus pseudostrobus* de ocho años de almacenada la semilla en diferentes envases y temperaturas.

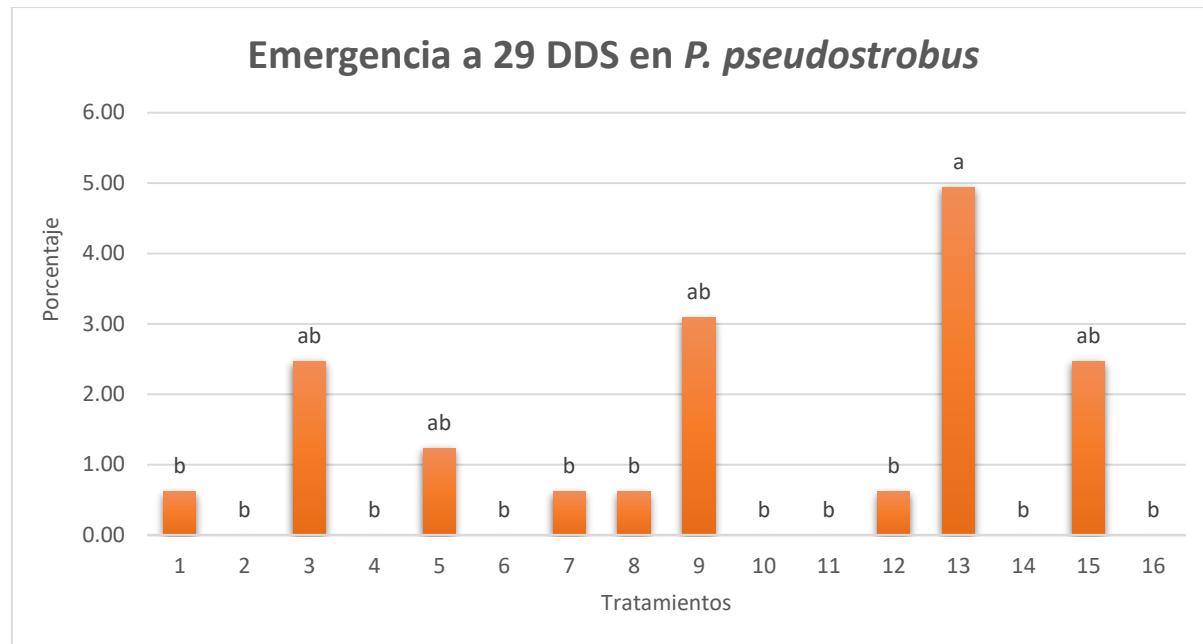
Fuente	Grados de libertad	Error	F-Valor	Pr>F
DDS 26	15	1.833	0.98	0.5011
DDS 29	15	22.000	4.91	<.0001
DDS 33	15	33.145	18.27	<.0001
DDS 36	15	25.375	33.76	<.0001
DDS 40	15	19.854	60.67	<.0001
DDS 43	15	10.854	136.40	<.0001
DDS 47	15	8.166	196.03	<.0001
DDS 50	15	7.875	205.15	<.0001
DDS 54	15	8.187	199.56	<.0001

Las condiciones de almacenamiento juegan un papel fundamental en la viabilidad y longevidad de las semillas. Un factor clave en este proceso es la tasa de respiración, la cual está directamente influenciada por la temperatura ambiente. Las semillas almacenadas en refrigeración presentan una tasa de respiración significativamente baja en comparación con aquellas que se conservan a temperatura ambiente, lo cual coincide con lo reportado por Hyun *et al.* (2024) respecto al efecto positivo de las bajas temperaturas en la conservación de semillas ortodoxas. Esta disminución en la actividad respiratoria permite que las semillas conserven por más tiempo sus reservas nutricionales internas, lo cual es esencial para mantener su viabilidad y capacidad de generar una nueva planta.

Por el contrario, las semillas que se mantienen a temperatura ambiente experimentan un aumento en su tasa de respiración. Este proceso acelerado implica mayor consumo de oxígeno y rápida utilización de las reservas energéticas almacenadas, como almidones, lípidos y proteínas. Como resultado, las semillas agotan más rápidamente sus nutrientes internos, lo que reduce su viabilidad y puede dificultar o impedir su emergencia en el futuro (Bewley *et al.*, 2013).

A los 29 días después de la siembra, el porcentaje de emergencia en todos los tratamientos fue bajo, registrándose valores menores al 10 % (Figura 7). Este comportamiento se debió a que el proceso de emergencia apenas comenzaba en esta etapa, por lo que las semillas aún se encontraban en fase de germinación inicial. Sin embargo, se observaron diferencias estadísticas significativas entre ellos. El tratamiento 13 presentó el mayor porcentaje de emergencia ( $\approx 4.8 \%$ ), superando al resto de los tratamientos y ubicándose en el grupo estadístico “a”. Los tratamientos 3, 5, 9 y 15 alcanzaron valores intermedios, entre 2 y 3 %, conformando el grupo “ab”. En contraste, la mayoría de los tratamientos restantes mostraron porcentajes cercanos o iguales al 1 %, sin diferencias estadísticas entre sí, agrupándose en la categoría “b”. Estos resultados sugieren que, aunque la emergencia fue incipiente en esta etapa temprana, algunos tratamientos comenzaron a mostrar una mayor capacidad de

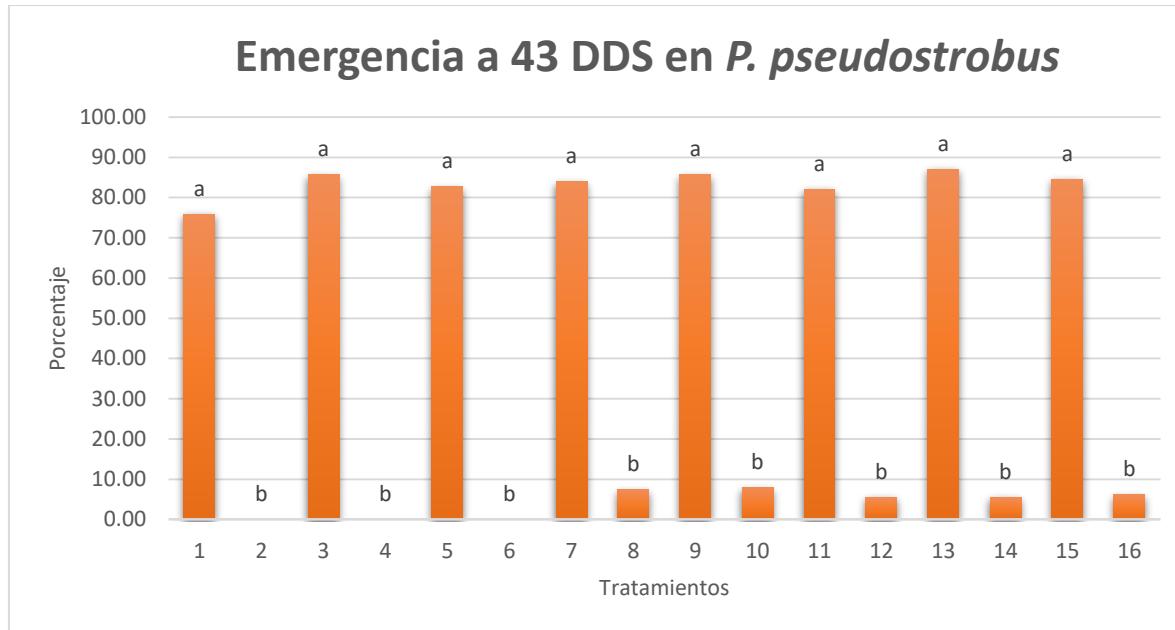
emergencia inicial, lo que podría estar relacionado con el efecto positivo de la refrigeración y el tipo de envase en la conservación de la viabilidad.



**Figura 7.** Emergencia de plántulas de *P. pseudostrobus* a los 29 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1–4 °C) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20–29 °C).

La comparación entre la emergencia a los 29 y 43 días permite identificar diferencias en la respuesta de los tratamientos a lo largo del tiempo. No obstante, a los 43 días, los tratamientos de almacenamiento en refrigeración (1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15) incrementaron de manera significativa su emergencia, superando el promedio del 80 %. Entre los tipos de envase (vidrio, plástico, bolsa) fue similar la conservación de la viabilidad de la semilla debido los altos porcentajes de emergencia entre los tratamientos aplicados. (Figura 8). En cambio, los tratamientos almacenados en temperatura ambiente (2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16) permanecieron con porcentajes bajos (< 8 %) en la misma fecha de evaluación. Estos resultados evidencian

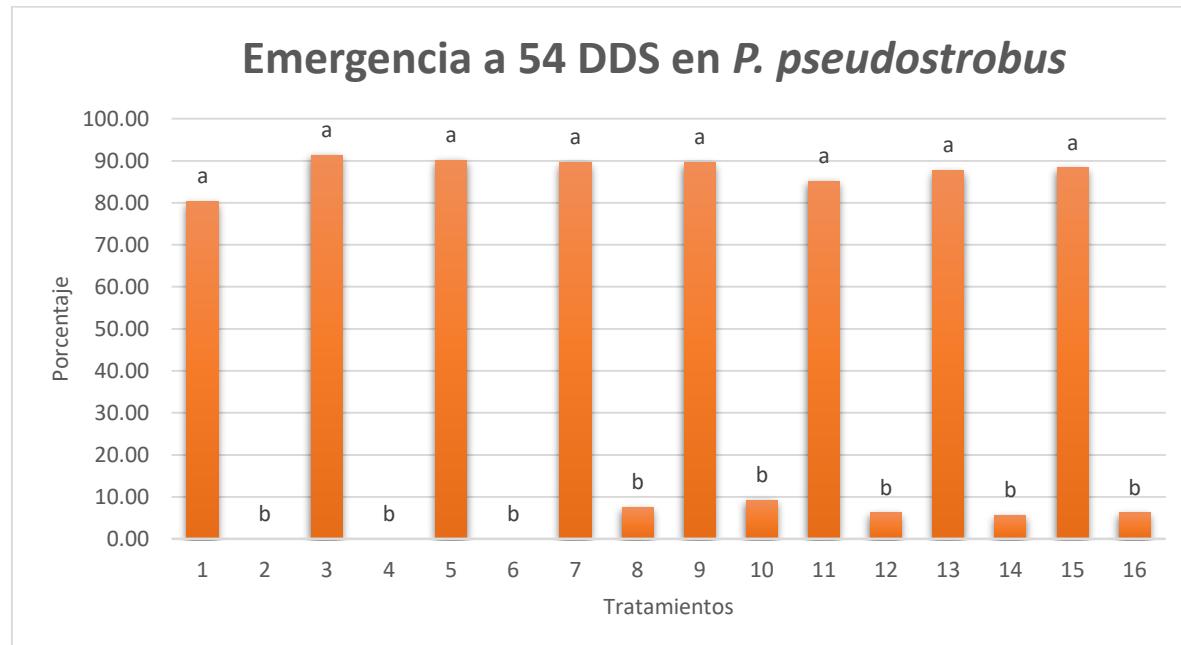
que las semillas almacenadas en refrigeración mantuvieron mayor viabilidad y mejor capacidad de emergencia en comparación con las conservadas a temperatura ambiente.



**Figura 8.** Emergencia de plántulas de *P. pseudostrobus* a los 43 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1–4 °C) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20–29 °C).

La última fecha de evaluación fue a los 54 días después de la siembra y se observa que los tratamientos en refrigeración (1–4 °C) son los que presentan los porcentajes elevados de emergencia, alcanzando valores entre 80.2 % y 91.3 % (Figura 9), lo que demuestra su ventaja frente a los tratamientos mantenidos a temperatura ambiente, los cuales permanecieron con porcentajes bajos y sin progresión significativa, incluso los tratamientos en envase de vidrio con diferente llenado (2, 4 y 6) perdieron la viabilidad dado que la emergencia fue de cero. Esta tendencia se manifestó desde los primeros días de evaluación, donde las semillas en refrigeración mostraron emergencia más rápida y uniforme. Estos resultados coinciden con lo reportado por Hyun *et al.* (2024) en *Pinus densiflora*, donde el almacenamiento a bajas temperaturas permitió mantener alta viabilidad incluso después de 20 años, en contraste con la pérdida casi total de emergencia en semillas almacenadas a temperatura ambiente. De igual manera, Atay *et al.* (2023) señalan que el almacenamiento

en frío es clave para conservar la longevidad de semillas ortodoxas como las de *Pinus brutia*, lo cual respalda la importancia del uso de refrigeración (1-4 °C) como estrategia para prolongar la viabilidad en especies del género *Pinus*.

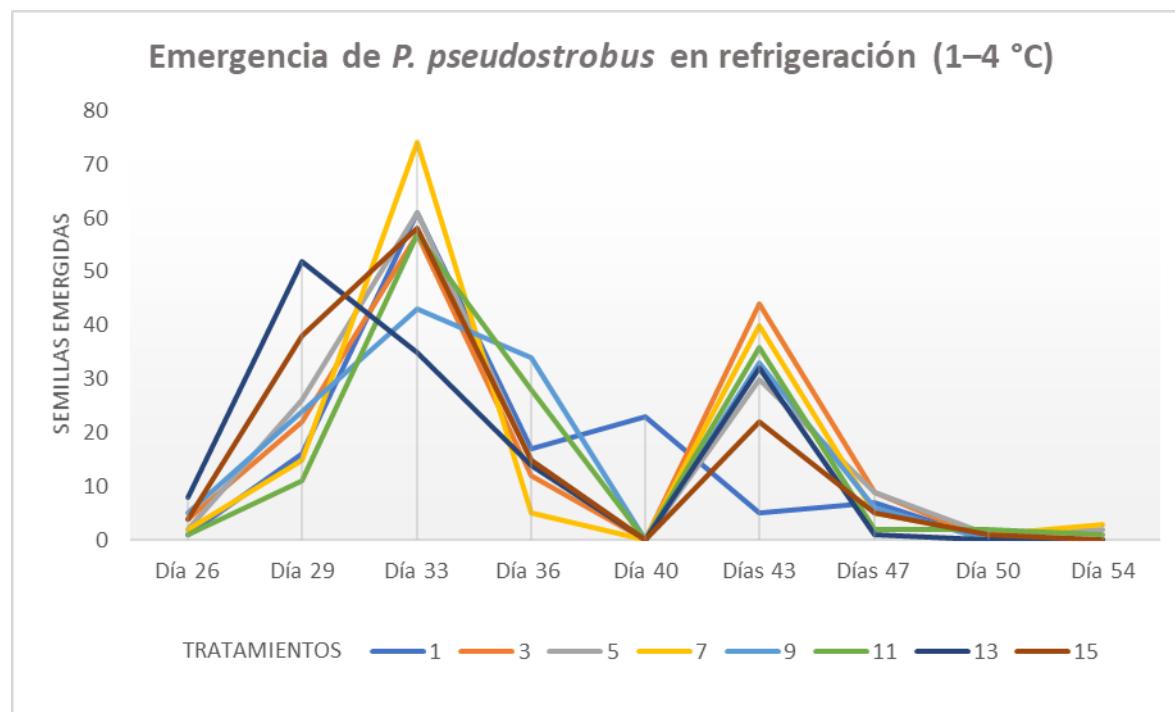


**Figura 9.** Emergencia de plántulas de *P. pseudostrobus* a los 54 días después de la siembra. Los números impares corresponden a los tratamientos almacenados en refrigeración (1–4 °C) y los números pares a los almacenados a temperatura ambiente (20–29 °C).

## 6.2 Capacidad de emergencia

En general, las semillas conservadas bajo condiciones de refrigeración (1-4 °C) presentaron mayor velocidad y uniformidad en la emergencia, mientras que aquellas mantenidas a temperatura ambiente (20–29 °C) registraron mayor tiempo y baja emergencia de semillas en vivero. Este comportamiento coincide con lo señalado por Fuentes-Amaro *et al.* (2020) en *P. patula*, quienes encontraron que la emergencia uniforme y la alta capacidad germinativa son indicadores de buena calidad fisiológica y están directamente relacionadas con el manejo adecuado de la semilla antes de la siembra.

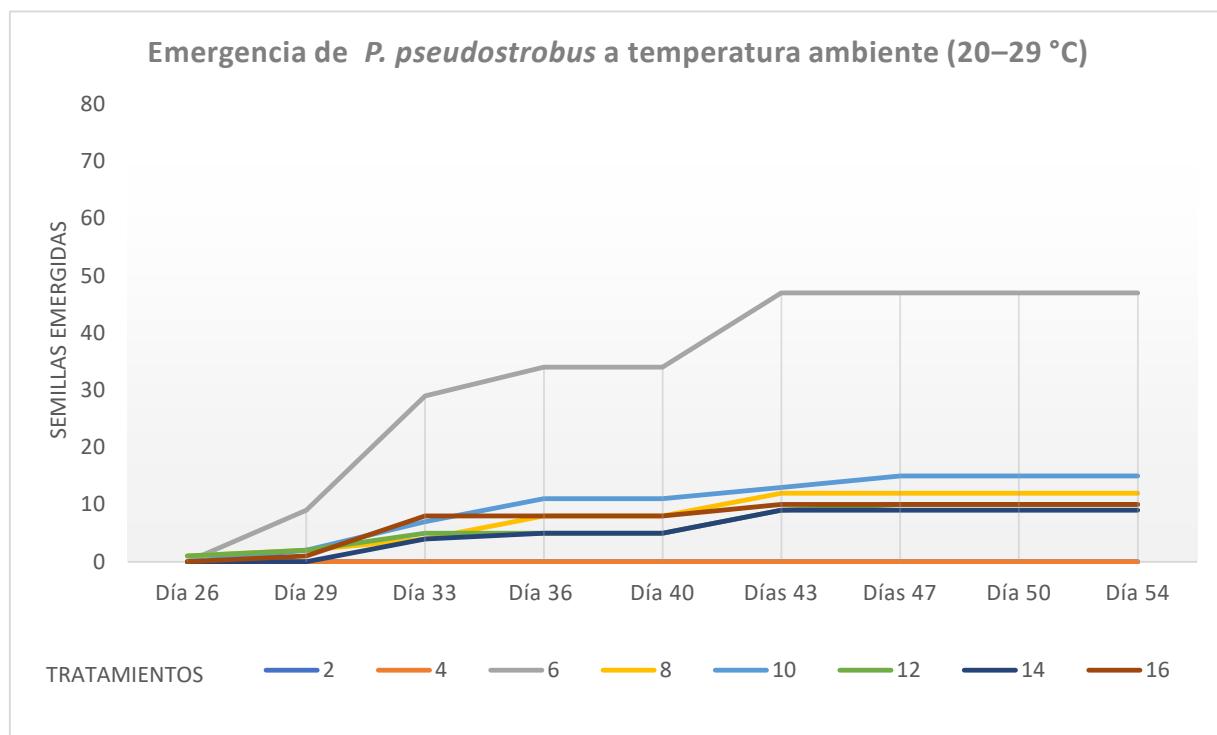
Los tratamientos T1, T3 y T5 (vidrio llenado al 100%, 50% y 25% en refrigeración) mostraron los valores más altos de emergencia acumulada, lo cual sugiere que la conservación en frío permitió mantener la integridad fisiológica de las semillas, retardando los procesos de envejecimiento natural (Figura 10). Esta tendencia concuerda con lo reportado por Ellis y Roberts (1980), quienes demostraron que las bajas temperaturas reducen la actividad metabólica y la degradación de membranas, prolongando la viabilidad de las semillas ortodoxas como las del género *Pinus*.



**Figura 10.** Capacidad de emergencia de semillas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante ocho años en diferentes envases bajo condiciones de refrigeración (1–4 °C).

En términos de uniformidad, los tratamientos en refrigeración (1-4 °C) alcanzaron el 50 % de emergencia en promedio hacia los 32 días después de la siembra, con ligeras variaciones entre envases. Los envases de vidrio llenado al 100% mostraron la mayor energía germinativa, alcanzando este punto alrededor del día 31, mientras que los tratamientos almacenados en plástico o con envases llenos al 33.33% y 25% lo hicieron entre los días 32 y 34 (Figura 11). Por el contrario, en las semillas almacenadas a temperatura ambiente, la

mayoría de los tratamientos no logró alcanzar el 50 % de emergencia durante el periodo de evaluación, reflejando un deterioro fisiológico avanzado. Estos resultados guardan relación con los descritos por Fuentes-Amaro *et al.* (2020), quienes para *P. patula* observaron que la mayoría de los árboles alcanzaron el 50 % de germinación entre los 18 y 24 días, periodo considerado como óptimo para esta especie; sin embargo, en *P. pseudostrobus*, las diferencias en fisiología y el largo tiempo de almacenamiento justifican un retraso natural en la emergencia.



**Figura 11.** Capacidad de emergencia de semillas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante ocho años en diferentes envases a temperatura ambiente (20–29 °C).

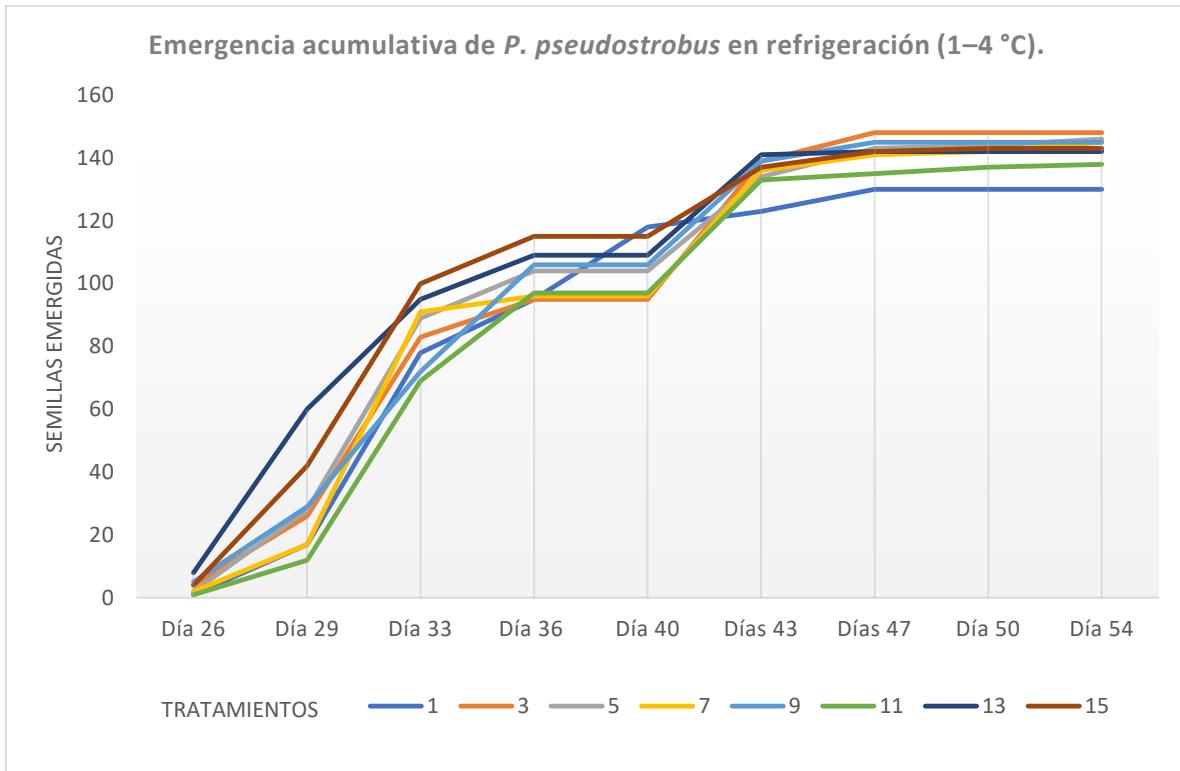
El comportamiento observado en la curva de germinación de *P. pseudostrobus* evidencia que la temperatura de almacenamiento constituye un factor determinante para conservar la viabilidad. La refrigeración disminuyó el metabolismo de deterioro y permitió una germinación más uniforme, lo cual concuerda con estudios realizados en *P. densiflora* (Lee, Kim y Park, 2024), donde las semillas almacenadas durante 20 años a -18 °C mantuvieron una germinación superior al 85 %. En cambio, los tratamientos a temperatura ambiente

evidenciaron que el calor y las fluctuaciones de humedad aceleran el envejecimiento fisiológico, afectando la capacidad germinativa y el vigor de la plántula.

### **6.3 Emergencia acumulativa**

La velocidad de emergencia de plántulas constituye un indicador fundamental para evaluar el vigor de las semillas y su desempeño en condiciones de vivero. Una emergencia rápida y uniforme no solo incrementa la eficiencia en la producción de planta, sino que también refleja mayor integridad fisiológica y metabólica del embrión, así como una adecuada conservación de las reservas energéticas acumuladas durante el desarrollo de la semilla. En este estudio, la variable fue analizada a partir del registro periódico del número de semillas emergidas de la superficie cada tres días en vivero, una vez iniciada la emergencia.

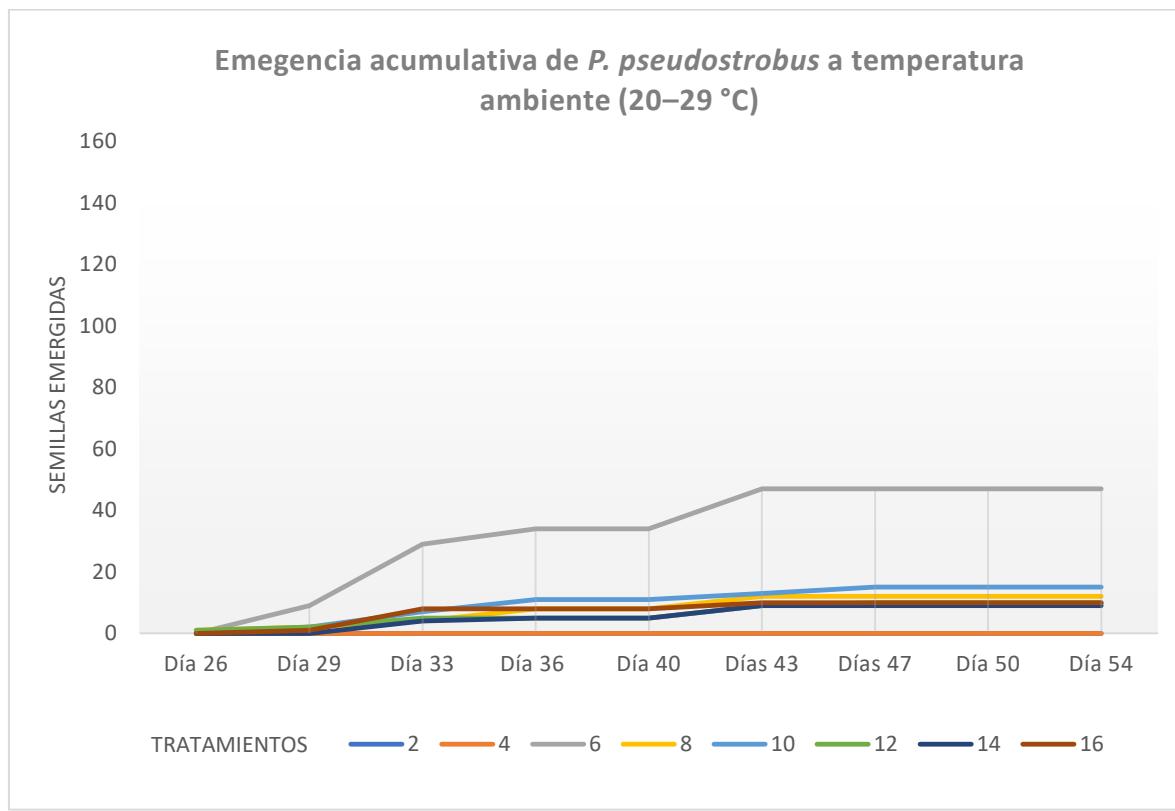
Los resultados muestran diferencias claras en la velocidad de emergencia entre los tratamientos de almacenamiento. En las semillas conservadas en refrigeración (1–4 °C), la emergencia inició a los 26 días después de la siembra (DDS), alcanzando un incremento sostenido y pronunciado entre los 33 y 36 DDS (Figura 12). Posteriormente, la curva de emergencia se estabilizó hacia los 43 DDS, conformando una meseta que representó el máximo porcentaje de plántulas emergidas. Este patrón refleja un comportamiento fisiológico típico de semillas con alta viabilidad, donde la mayoría de los embriones responden de manera sincrónica y con suficiente vigor para emerger en un intervalo reducido de tiempo.



**Figura 12.** Emergencia acumulativa de plántulas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante ocho años en diferentes envases bajo condiciones de refrigeración (1–4 °C).

Por el contrario, las semillas almacenadas a temperatura ambiente (20–29 °C) mostraron un comportamiento irregular (Figura 13). Aunque la emergencia también se inició alrededor de los 26 DDS, el ritmo de emergencia fue considerablemente más lento, con porcentajes muy bajos que no lograron superar el 8 % incluso al final del periodo de evaluación (54 DDS). Además, la curva de emergencia en estos tratamientos fue discontinua y dispersa, evidenciando la pérdida de vigor y la heterogeneidad fisiológica provocada por el deterioro de las reservas internas durante el almacenamiento en condiciones inadecuadas. Este resultado coincide con lo señalado por Kaur *et al.* (2021), quienes destacan que el envejecimiento y el daño oxidativo de membranas celulares en semillas almacenadas en

ambientes cálidos y húmedos reducen la capacidad de emergencia y alargan los tiempos de emergencia.



**Figura 13.** Emergencia acumulativa de plántulas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante ocho años en diferentes envases a temperatura ambiente (20–29 °C).

La comparación directa entre ambos grupos de tratamientos refuerza la importancia de la temperatura en la conservación de semillas ortodoxas. En el caso de *Pinus pseudostrobus*, la refrigeración (1-4 °C) permitió mantener un metabolismo basal bajo durante el almacenamiento, lo que disminuyó la tasa de respiración y el consumo de carbohidratos, lípidos y proteínas esenciales. Esta condición favoreció que, al momento de la siembra, las reservas energéticas estuvieran disponibles para activar rápidamente los procesos de imbibición, respiración y elongación radicular. En contraste, las semillas almacenadas a temperatura ambiente mostraron signos de degradación fisiológica: embriogénesis incompleta, pérdida de integridad de membranas y agotamiento de reservas, lo que explica la emergencia lenta, escalonada y, en muchos casos, fallida.

Desde una perspectiva práctica, la velocidad de emergencia es tan relevante como el porcentaje final de emergencia. Semillas que emergen rápidamente producen plántulas más vigorosas, capaces de establecerse con éxito en viveros y posteriormente en campo. De acuerdo con la ISTA (2020), una emergencia rápida y uniforme es un indicador confiable de calidad fisiológica y predice un mejor desempeño en programas de reforestación. En este estudio, la superioridad de los tratamientos en refrigeración (1-4 °C) no solo se manifestó en mayores porcentajes de emergencia, sino también en una velocidad de emergencia significativamente más alta, lo que implica ventajas directas en la producción de planta forestal.

## 7. CONCLUSIÓN

La viabilidad de las semillas de *Pinus pseudostrobus* almacenadas durante ocho años dependió principalmente de la temperatura, cumpliéndose el objetivo general del estudio. Las semillas conservadas en refrigeración (1–4 °C) mantuvieron altos porcentajes de emergencia, mientras que las almacenadas a temperatura ambiente (20–29 °C) perdieron casi por completo su viabilidad, confirmando la hipótesis planteada.

En cuanto al tipo de envase, se observó que bajo condiciones de refrigeración (1–4 °C) todos conservaron adecuadamente la viabilidad, destacando la importancia del sellado hermético para evitar la pérdida de humedad. Así, la temperatura de refrigeración (1–4 °C) se identificó como la más adecuada para prolongar la viabilidad de las semillas a largo plazo.

Estos resultados aportan evidencia que respalda el uso de almacenamiento en frío como estrategia eficaz para conservar la semilla viable de *P. pseudostrobus* destinada a la producción de planta en vivero, contribuyendo a los programas de reforestación y a la conservación de germoplasma forestal en México.

## 8. REFERENCIAS

- Abud, H. F.-J. (2018). Radiographic analysis and artificial intelligence in evaluating seed morphology and quality. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1629.
- Aldrete, A., & López-Upton, J. (1993). *Germination and early growth of Pinus pseudostrobus*. *Forest Ecology and Management*, 61(1-2), 1-9. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(93\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(93)90002-8)
- Atay, S. Ö. (s.f.). The effect of storage time on germination of Turkish pine (*Pinus brutia* Ten.). Šumarski List. Obtenido de <https://hrcak.srce.hr/clanak/453951>.
- Bale, J. S. (2002). Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 357(1423), 1219-1231.
- Bale, J. S., Masters, G. J., Hodkinson, I. D., Awmack, C., Bezemer, T. M., Brown, V. K.,... & Whittaker, J. B. (2002). Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology*, 8(1), 1-16.
- Barrera-Ramírez, R., Pérez-Luna, A., & López-Upton, J. (2024). Interacción y compatibilidad en injertos recíprocos con dos variedades de *Pinus pseudostrobus*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 15(1), 1-15. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i1.100>
- Bayer. (2019). Recomendaciones de almacenamiento para semillas hortalizadas. Obtenido de <https://www.vegetables.bayer.com/content/dam/bayer-vegetables/spanish/chile-south-america/product-sheets-and-pdfs/Recomendaciones%20de%20almacenamiento%20para%20semillas%20de%20hortalizas.pdf>.
- Belcher, J. W. (1985). *Germination of Pinus pseudostrobus seeds*. *Tree Planters' Notes*, 36(4), 10-13. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/10025>

Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W., & Nonogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology of development, germination and dormancy* (3rd ed.). Springer Science & Business Media.

Brizzolara, S., Manganaris, G. A., Fotopoulos, V., Watkins, C. B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Frontiers in Plant Science*, 11, 80. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>

Carella, A., Massenti, R., & Lo Bianco, R. (2023). Testing effects of vapor pressure deficit on fruit growth: A comparative approach using peach, mango, olive, orange, and loquat. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1294195. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1294195>.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2015). *Manual para la producción de planta en viveros forestales*. Guadalajara, México: CONAFOR.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2024). *Mejoramiento genético de Pinus pseudostrobus: avances, retos y perspectivas*. Comisión Nacional Forestal. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940014/Mejoramiento\\_gen\\_tico\\_de\\_Pinus\\_pseudostrobus\\_avances\\_\\_retos\\_y\\_perspectivas.\\_compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940014/Mejoramiento_gen_tico_de_Pinus_pseudostrobus_avances__retos_y_perspectivas._compressed.pdf)

Copeland, L. O. (2001). Principles of seed science and technology (4th ed.). Springer.

Copefrut. (2020). Revista Copefrut N.º 2: Manejo de carga frutal y calidad. [https://www.copefrut.com/wp-content/themes/copefrut/img/revistas/2020\\_N2.pdf](https://www.copefrut.com/wp-content/themes/copefrut/img/revistas/2020_N2.pdf).

Dell'Aquila, A. (2009). Application of X-ray in monitoring seed quality. *Seed Science and Technology*, 37(3), 227-234.

Domínguez Calleros, P., Álvarez-Carrillo, F., García-Guillén, D., & Gómez-Guerrero, V. (2016). Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. *Forestal Veracruzana*, 18(2), 7-14. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/497/49748829004/html/>.

ECHOcommunity. (2009). Almacenamiento de semillas. Obtenido de <https://www.echocommunity.org/es/resources/91570760-fc0c-40e1-ac78-a21034033994>.

- Ellis, R. H., & Roberts, E. H. (1980). The influence of temperature and moisture on seed viability period in barley, sorghum, and rape. *Annals of Botany*, 45(1), 31-37.
- Farjon, A. (2013). *Pinus pseudostrobus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T42373A2971404. <https://www.iucnredlist.org/species/42373/2971404>.
- Finch-Savage, W. E. (2016). Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany*, 67(3), 567–591.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (1993). Chapter 7: Seed Storage. En The state of food and agriculture – Chapter 7: Seed Storage. FAO.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2014). Manuel de semillas forestales. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- García de Cabrera, M. (2024). Efecto de la aminoetoxivinilglicina (AVG), el 3,5,6-TPA y el ANA en la caída de frutos en manzano (*Malus domestica* Borkh.) cv. Cripps Pink [Tesis de maestría, Universidad de la República]. <https://www.colibri.udelar.edu.uy>.
- García, E., Alcantar, G., Cabrera, R., Gavi, R., & Volke, V. (2019). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* en composta a base de residuos del cultivo de hongo Shiitake. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 25(1), 215-228.
- Giovannoni, J. J. (2004). Genetic regulation of fruit development and ripening. *The Plant Cell*, 16(Suppl), S170–S180. <https://doi.org/10.1105/tpc.019158>.
- Granados-Martínez, F. G. (2025). *Carbon spheres: an option to improve the germination and initial growth of Pinus devoniana seeds. Journal of Materials Science and Green Chemistry*, 2(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40712-025-00270-3>
- Hampton, J. G., & TeKrony, D. M. (1995). Handbook of vigor testing methods. The International Seed Testing Association (ISTA).
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2014). *Plant propagation: Principles and practices* (8.<sup>a</sup> ed.). Prentice Hall.

- Hay, F. R., Mead, A., Manger, K., & Wilson, F. J. (2014). One-step analysis of seed storage data and the longevity of *Arabidopsis thaliana* seeds. *Journal of Experimental Botany*, 65(17), 5171-5179.
- Hernández Ramos, J., Rodríguez Trejo, D., & Sánchez Reyes, T. (2015). Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6(29), 58-73.
- Hernández, L., & Montero-García, M. (2023). Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y su relación con la germinación. *Agroproductividad*, 16(10), 103-110.
- Hidalgo, S. d. (2017). Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero. En Enciclopedia de los municipios de Hidalgo. Gobierno del Estado de Hidalgo. Obtenido de <https://docencia.uaeh.edu.mx/estudios-pertinencia/docs/hidalgo-municipios/Santiago-Tulanpetec-Enciclopedia-De-Los-Municipios.pdf>.
- Hong, T. D., & Ellis, R. H. (1996). *A protocol to determine seed storage behaviour*. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).
- <https://hdl.handle.net/10568/102460>
- Hong, T. D. (2005). A guide to seed storage behaviour of orthodox and recalcitrant seed species. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Hyun, J. K. (2024). Viability and integrity of *Pinus densiflora* seeds stored for 20 years at three different temperatures. *Scientific Reports*.
- International Seed Testing Association (ISTA). (2019). *International Rules for Seed Testing*. Bassersdorf, Switzerland: ISTA.
- Joosen, R. V., Kodde, J., Willems, L. A., Ligterink, W., Van der Plas, L. H., & Hilhorst, H. W. (2010). Germinator: a software package for high-throughput scoring and curve fitting of *Arabidopsis* seed germination. *The Plant Journal*, 62(1), 148-159.
- <https://doi.org/10.1111/j.1365-313X.2010.04127.x>.
- Kaur, G. P. (2021). Seed aging: Understanding the underlying mechanisms and exploring effective interventions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166, 155-167.

- Kim, H. Y., Farcuh, M., Cohen, Y., Crisosto, C., Sadka, A., & Blumwald, E. (2015). Non-climacteric ripening and sorbitol homeostasis in plum fruits. *Plant Science*, 231, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.11.002>.
- Lee, J. H. (2024). Viability and integrity of *Pinus densiflora* seeds stored for 20 years at -18°C. *Plant Science Journal*, 43(2), 150-158.
- Liu, M., Pirrello, J., Chervin, C., Roustan, M., & Bouzayen, M. (2015). Ethylene control of fruit ripening: Revisiting the complex network. *Plant Physiology*, 169(4), 2380–2390. <https://doi.org/10.1104/pp.15.01361>.
- Liu, M., Wang, C., Ji, H., Sun, M., Liu, T., Wang, J., Cao, H., & Zhu, Q. (2024). Ethylene biosynthesis and signal transduction during ripening and softening in non-climacteric fruits: An overview. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1368692. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1368692>.
- López, M., & González, J. (2017). Comportamiento germinativo y crecimiento temprano de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus devoniana* en condiciones de vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(42), 1-14.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176–177.
- Martínez Pastur, G. L. (2002). Efectos de las condiciones de almacenamiento y de la estratificación sobre la germinación de semillas de pino ponderosa de Patagonia Argentina: estudio preliminar. *Revista Forestal Latinoamericana*, 17(31), 45-52.
- Menten, J. O. (2006). Sanidade de sementes e controle de patógenos. *Informativo Abrates*, 16(3), 30–33.
- Michoacán, C. F. (s.f.). Pruebas de germinación y viabilidad de tres coníferas a través del tiempo de almacén en el Banco de Germoplasma de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán [Tesis de licenciatura, Universidad de Guadalajara]. Repositorio Institucional UDG. <https://hdl.handle.net/20.500.12104/96086>.
- Moore, R. P. (1985). Handbook on tetrazolium testing. International Seed Testing Association.

- Osorio, J. A., Scabone, G., & Valenzuela, J. L. (2017a). Pos cosecha de frutos: Maduración, ablandamiento y control transcripcional. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1507–1521. <https://www.redalyc.org/journal/2631/263153823019/html/>.
- Osorio, J. A., Scabone, G., & Valenzuela, J. L. (2017b). Pos cosecha de frutos: Maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(7), 1491–1506. <https://www.redalyc.org/journal/2631/263153823018/html/>.
- Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene—An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>.
- Prieto Ruiz, J., & Sánchez Reyes, T. (2011). Indicadores de calidad de planta en viveros forestales de la Sierra Madre Occidental. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Probert, R. J. (2009). Ecological correlates of seed longevity in the Millennium Seed Bank Project collections. *Annals of Botany*, 104(1), 57–69.
- Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J., Saenz Reyes, J., Muñoz Flores, H., Prieto Ruiz, J., & Orozco Gutiérrez, G. (2018). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(49), 58-73.
- Salvador, M. E. (2000). Factores de precosecha que afectan la calidad (Boletín técnico). CORPOICA/AGROSAVIA.  
<https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/34961/66985.pdf>.
- Sano, N. K. (2016). RNA-Seq based gene expression analysis of germinating rice seeds exposed to oxidative stress. *Scientific Reports*, 6(1), 30403.
- Statistical Analisis System. (2010). User's Guide: Statics, Version for Windows 9.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2023). Mejoramiento genético de *Pinus pseudostrobus*: Avances, retos y perspectivas. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940014/Mejoramiento\\_gen\\_tico\\_de\\_Pinus\\_pseudostrobus\\_avances\\_\\_retos\\_y\\_perspectivas.\\_compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/940014/Mejoramiento_gen_tico_de_Pinus_pseudostrobus_avances__retos_y_perspectivas._compressed.pdf).

Semillas.org.co. (2018). Producción y conservación de semillas nativas y criollas de buena calidad. Obtenido de [https://www.semillas.org.co/apc-aaf-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/cartilla-produccion-de-semillas\\_web.pdf](https://www.semillas.org.co/apc-aaf-files/5d99b14191c59782eab3da99d8f95126/cartilla-produccion-de-semillas_web.pdf).

Seymour, G. B., Østergaard, L., Chapman, N. H., Knapp, S., & Martin, C. (2013). Fruit development and ripening. Annual Review of Plant Biology, 64, 219–241. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050312-120057>.

Shahak, Y., Holland, D., & Ratner, K. (2021). Preharvest bagging as an alternative technique for enhancing fruit quality of tree fruits: A review. HortTechnology, 31(1), 4–10. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH04681-20>.

Simak, M. (1980). Use of X-ray in testing forest tree seeds. The International Seed Testing Association (ISTA).

Trainotti, L., Tadiello, A., & Casadoro, G. (2007). The involvement of auxin in the ripening of climacteric fruits. Journal of Experimental Botany, 58(12), 3299–3308. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm178>.

Varela, S. A. (2011). Latencia, germinación de semillas y tratamientos pregerminativos. NTA EEA Bariloche, Serie Técnica “Sistemas Forestales Integrados”, 2, 3-10.

Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2006). Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. Revista Fitotecnia Mexicana, 29(2), 121-126.

Walters, C. W. (2005). Longevity of seeds stored in a genebank: species characteristics. Seed Science Research, 15(1), 1–20.

Wang, D., Waite, J. M., Kim, J., Vrebalov, J., Klee, H. J., & Giovannoni, J. J. (2020). The epigenome and transcriptional dynamics of fruit ripening. Annual Review of Plant Biology, 71, 613–639. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042916-040906>.

WSU Tree Fruit. (2022). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. Washington State University Tree Fruit Research & Extension Center.

<https://treefruit.wsu.edu/publications/apple-fruit-quality-overview-on-pre-harvest-factors/>.

Zhang, H., Nisa, S., Yang, M., Jiang, W., Huang, S., Chen, M.,... & Zou, H. (2023). A comprehensive model of tomato fruit ripening regulation by the combined action of RIN, NOR, and CNR. *Plant Physiology*, 198(3), 1435–1456.  
<https://doi.org/10.1093/plphys/kiaf291>.