

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Vigor De Emergencia De Plántulas De Cuatro Poblaciones De
Picea martinezii T. F. Patt. de Nuevo León

Por:

MARIA TRINIDAD SAN AGUSTIN TOLENTINO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Vigor De Emergencia De Plántulas De Cuatro Poblaciones De
Picea martinezii T. F. Patt. de Nuevo León

Por:

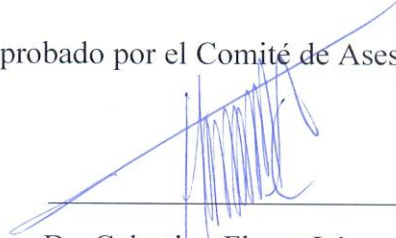
MARIA TRINIDAD SAN AGUSTIN TOLENTINO

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

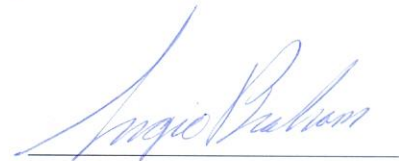
Aprobado por el Comité de Asesoría:



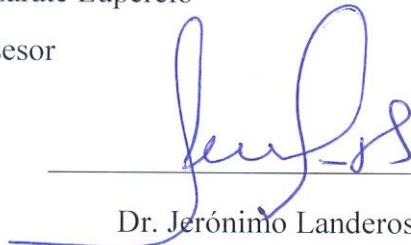
Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



Dr. Alejandro Zarate Lupercio
Coasesor



Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor, quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en el plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamiento de un autor sin citarlo; utilizar material digital, como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas, o datos sin citar la autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento que de cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición, o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



María Trinidad San Agustín Tolentino

El presente trabajo de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro como clave No. 38111-425103001-2175. Que lleva por nombre “Diversidad y estructura de bosques tropicales en el occidente y sureste de México”. Proyecto que está a cargo de Dr. Celestino Flores López Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

A mis padres, Filimon San Agustín Pérez y Josefina Tolentino Tolentino, a ustedes les dedico este logro y agradezco todo el esfuerzo y apoyo que me dieron.

A ti papa, muchas gracias por enseñarme a ser perseverante en la vida y también por enseñarme que nada es imposible y que lo imposible es posible con voluntad y esfuerzo.

A ti mamá, muchas gracias por creer en mí, gracias por ser la mejor mamá que pude haber tenido y sobre todo gracias por todo el cariño que me has dado.

AGRADECIMIENTOS

A dios por darme vida y salud y por permitirme culminar una meta más en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi Alma Mater, por darme la oportunidad de formarme como profesional, es un honor para mí ser BUITRE POR SIEMPRE.

Al Dr. Celestino Flores López, asesor principal por toda la orientación y apoyo que me dio durante el desarrollo de este trabajo, sin usted no hubiese sido posible lograrlo.

A mis asesores Ing. Sergio Braham Sabag y Dr. Alejandro Zarate Lupercio por haberme apoyado con la revisión de este trabajo y por las observaciones tan oportunas que me dieron.

A mis tíos Abelardo Tolentino Tolentino y Guillermo Tolentino Tolentino por mostrarme apoyo incondicional cada que lo necesitaba, y a pesar de estar muy lejos los llevo en mi corazón.

A mi compañero de vida Jesús Pérez Diaz por nunca permitir que me rindiera cuando estaba a punto de hacerlo, por ser un apoyo incondicional y sobre todo por sacarme una sonrisa en mis días mas nublados. MUCHAS GRASIAS

A mis hijos Daniel Pérez San Agustín y Diego Pérez San Agustín por haberle dado sentido a mi vida y convertirse en lo mejor que tengo. LOS AMO

TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
1 INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
Objetivos específicos:	4
Hipótesis	5
2 REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Descripción de <i>Picea martinezii</i>	6
2.1.1 Taxonomía y descripción botánica	6
2.1.2 Hábitat.....	7
2.2 Poblaciones pequeñas y la endogamia.....	7
2.3 Germinación y emergencia	9
2.4 Valor de germinación de Czabator y Djavnsir y Pourbeik	10
2.5 Estudios relacionados	11
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
3.1 Ubicación del área de estudio	13
3.2 Procedencia de germoplasma forestal.....	13
3.3 Establecimiento de ensayo de emergencia en invernadero.....	13
3.4 Evaluación de emergencia de plántulas	14

3.5 Evaluación de las variables morfológicas de las plántulas de <i>Picea martinezii</i>	15
3.6 Diseño experimental y análisis estadístico	16
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1 Porcentaje de emergencia de plántulas	17
4.2 Valor de emergencia	21
3. Variables morfológicas de plántulas.....	26
5. CONCLUSIONES	29
6. RECOMENDACIONES.....	30
7. LITERATURA CITADA	31
APÉNDICE.....	39

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Localización, número de familias y número de plántulas propagadas de <i>Picea martinezii</i> Patterson en el estado de Nuevo León.....	13
Cuadro 2. Porcentaje promedios de emergencia de plántulas normales, anormales y no germinadas de <i>Picea martinezii</i> Patterson para cuatro poblaciones de Nuevo León.	19
Cuadro 3. Comparación de porcentajes promedios de emergencia de plántulas normales, anormales y germinadas en diferentes especies de <i>Pinus</i>	20
Cuadro 4. Valor de emergencia de Czabator y Diavanshir y Pourbeik y comparación de medias.....	22
Cuadro 5. Valores medios y Análisis de varianza de las Variables morfológicas a los 3 meses después de la siembra.....	27
Cuadro 6. Variables morfológicas en diferentes especies del género <i>Pinus</i>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Variables morfológicas evaluadas en plántulas de <i>Picea martinezii</i> en invernadero.	15
Figura 2. Porcentaje de emergencia acumulada de <i>Picea martinezii</i> Patterson para la población Agua de Alardín, Aramberri, Nuevo León.	24
Figura 3. Porcentaje de emergencia acumulada de <i>Picea martinezii</i> Patterson para la población El Butano Montemorelos Nuevo León.	24
Figura 4. Porcentaje de emergencia acumulada de <i>Picea martinezii</i> Patterson para la población Agua Fría Aramberri Nuevo León.	25
Figura 5. Porcentaje de emergencia acumulada de <i>Picea martinezii</i> Patterson para la población La Encantada General Zaragoza Nuevo León.	25

RESUMEN

Las Piceas como parte de la gran biodiversidad de México, tienen un alto valor ambiental y ofrecen varios servicios ambientales, además de ser hábitat de un gran número de organismos. En México solo se localizan tres especies del género *Picea* y son endémicas. El objetivo de este estudio fue comparar porcentaje y vigor de emergencia en cuatro poblaciones de *Picea martinezii* de Nuevo León.

El experimento de germinación se realizó en el invernadero del Departamento Forestal en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, se usaron semillas de cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* y se comparó el porcentaje, valor de emergencia, anormalidad y morfología de las plántulas (altura del hipocótilo y epicótilo, diámetro basal y número de hojas cotiledonales). El conteo se realizó cada tercer día a partir de la emergencia de la primera plántula, así mismo se contabilizó el número de plántulas anormales y tres meses después de la siembra de forma aleatoria se seleccionaron 10 plantas por familia para evaluar sus características morfológicas. Se realizó un análisis de varianza con un diseño experimental completamente aleatorio desbalanceado y se realizó la comparación de medias con el método de Duncan en el paquete estadístico SAS 9.0

Estadísticamente, no hubo diferencias significativas entre poblaciones con respecto al porcentaje promedio de plantas normales, anormales y de semillas no emergidas; respecto al porcentaje promedio de plantas normales, Agua de Alardín fue superior a las demás poblaciones, y La Encantada fue superior en el porcentaje promedio de plantas anormales y de semillas no emergidas. Respecto al valor promedio de emergencia o velocidad de emergencia en ambos métodos (Czabator, Diavanshir y Pourbeik) se presentaron diferencias significativas entre poblaciones y Agua de Alardín presentó los valores más altos mientras que La Encantada presentó los valores más bajos. Morfológicamente también hay diferencias significativas entre poblaciones en el número de hojas cotiledonales, longitud del hipocótilo, longitud del epicótilo y diámetro basal, Agua de Alardín tiene valores más altos y únicamente en longitud del hipocótilo es superado por Agua Fría, mientras que La Encantada es la población con los valores de las variables morfológicas más bajos.

Palabras claves: valor de emergencia, plantas anormales, emergencia, morfología.

ABSTRACT

The Piceas, as part of the great biodiversity of Mexico, have a high environmental value and offer several environmental services, in addition to being the habitat of a large number of organisms. In Mexico only three species of the genus *Picea* are found and they are endemic. The objective of this study was to compare percentage and emergence vigor in four populations of *Picea martinezii* from Nuevo León.

The germination experiment was carried out in the greenhouse of the Forestry Department at the Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro, seeds from four natural populations of *Picea martinezii* were used and the percentage, emergence value, abnormality and morphology of the seedlings (height of the hypocotyl and epicotyl, basal diameter and number of cotyledonal leaves). The count was carried out every third day from the emergence of the first seedling, likewise the number of abnormal seedlings was counted and three months after sowing, 10 plants per family were randomly selected to evaluate their morphological characteristics. An analysis of variance was carried out with a completely randomized unbalanced experimental design and the comparison of means was carried out with the Duncan method in the statistical package SAS 9.0.

Statistically, there were no significant differences between populations with respect to the average percentage of normal, abnormal plants and non-emerged seeds; Regarding the average percentage of normal plants, Agua de Alardín was higher than the other populations, and La Encantada was higher in the average percentage of abnormal plants and non-emerged seeds. Regarding the average emergence value or emergence speed in both methods (Czabator, Diavanshir and Pourbeik) there were significant differences between populations and Agua de Alardín presented the highest values while La Encantada presented the lowest values. Morphologically, there are also significant differences between populations in the number of cotyledonal leaves, hypocotyl length, epicotyl length, and basal diameter, Agua de Alardín has higher values and only in hypocotyl length it is surpassed by Agua Fría, while La Encantada is the population with the lowest values of the morphological variables.

Keywords: emergence value, abnormal plants, emergence, morphology.

1 INTRODUCCIÓN

El género *Picea* pertenece a la familia de los pinos (*Pináceas*) e incluye 38 especies (Farjon, 2010), distribuidas en las regiones templadas y boreales del hemisferio norte. En morfología este género se asemeja mucho a los árboles de *Abies* y *Pseudotsuga* y esta similitud también alude al comportamiento ecológico debido a que las especies de piceas en México ocupan hábitat parecido a los géneros de *Abies* y *Pseudotsuga* (Cervantes, 2014).

Cabe señalar que en México se localizan solo tres especies del género *Picea*: *Picea chihuahuana* Martínez, *Picea martinezii* T. F. Patterson y *Picea mexicana* Martínez. Estas especies son endémicas de México y son consideradas también como especies raras, relictos de la última glaciación, de distribución muy restringida, además se encuentran en la categoría de peligro de extinción dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010) debido a una reducción drástica de sus áreas de distribución y sus poblaciones. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza IUCN clasificó a *Picea martinezii* como en peligro crítico, debido a que considera la distribución de esta especie única en México.

La importancia del género *Picea* se debe a qué forma parte de la gran biodiversidad que tiene México, a pesar de su reducida y escasa distribución, actualmente este género solo se encuentra distribuidos en los estados de Nuevo León, Durango, Chihuahua y Coahuila y hace tan solo unos 10000 años atrás se encontraba en los valles de México y de Puebla (Rzedowski, 2006; Ledig *et al.*, 2000a).

Como todo ecosistema forestal, las piceas mexicanas tienen potencial económico y un alto valor ambiental, proveen varios servicios ambientales, como el mantenimiento de la biodiversidad y las relaciones bióticas, que regulan los procesos ecológicos y proporcionan recursos bióticos; ofrecen servicios de captación de carbono y protección al suelo al formar parte de la vegetación de las zonas altas y medias de cuencas (González, 2022) y proporcionan hábitat a la flora y fauna.

Por ejemplo, en Chihuahua, Municipio de Temósachic comunidad de Yahuarichi se encuentra un bosque de 30 ha de *Picea chihuahuana* único y debido a que no ha sufrido ningún disturbio es el lugar ideal donde anida la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha* Swainson) (Monterrubio y Enkerlin, 2004).

Por otra parte, en Nuevo León se encuentran poblaciones de *Picea martinezii* dentro de los bosques mesófilos de montaña considerados por la CONABIO como bosques de prioridad nacional por la significativa cantidad de biodiversidad que conservan, ya que se encuentran dentro de una región terrestre prioritaria conocida el área como “Cumbres de Monterrey” y en esta área se localiza la población El Butano (CONABIO 2012). *Picea martinezii* también es hábitat de un gran número de organismos, una de ellas es la cotorra serrana oriental (*Rhynchopsitta terresii*) (Wehenkel *et al.*, 2022a)

También está *Picea mexicana*, esta especie se encuentra en uno de los climas escasos de México que son los climas subalpinos y su importancia se debe a que es una especie indicadora del cambio climático y forma parte de la dinámica de esos bosques (Ledig *et al.*, 2010)

Es importante señalar que los principales factores que provocan la pérdida y disminución de las poblaciones de *Picea* son debido a los incendios y a las actividades humanas (tala y aprovechamientos forestales inadecuados, sobrepastoreo y expansión agrícola) (Alanís *et al.*, 2004; Gernandt *et al.*, 2014). Este género también se ve afectado en la reducción de sus poblaciones por el calentamiento global ya que se distribuyen en lugares frescos, templados y bosques montañosos (Ledig *et al.*, 2010). Si el calentamiento global de por sí ya representa un reto de adaptación y continuidad para las especies en general, este reto es mucho mayor para aquellas con una distribución limitada y fragmentada como las especies del género *Picea* en México (Ledig *et al.*, 2010)

Una de las especies de interés en este estudio es *Picea martinezii*, esta especie es la más reciente en identificarse y la más nueva en México. En un principio esta especie fue reportada como *Picea chihuahuana* en dos localidades de la Sierra Madre Oriental de Nuevo León (Müller-Using y Alanís 1984), sin embargo, cuando Patterson (1988) confirmó las localidades se encontró que esta era diferente a *Picea chihuahuana* y la nombró *Picea martinezii*.

Picea martinezii es un relicto endémico propio del bosque mesófilo de montaña y se encuentra en altitudes de 2250 y 2650 msnm. Se encuentra asociado con especies de coníferas como *Pinus*, *Abies* y *Taxus globosa*, también está asociada con especies de *Quercus Tilia*, *Ostrya*, *Cornus*, *Ilex*, *Juglans* y *Crataegus* (Patterson, 1988).

Cabe mencionar que aun cuando las poblaciones están alejadas y se complica su acceso, estas han disminuido drásticamente. Principalmente, la disminución en el número y tamaño de la población es resultado de la fragmentación de su hábitat en el tiempo y por el aislamiento entre estas, por lo que se tiene un problema que es la autopolinización por la escasa dispersión y flujo de genes que conlleva a un aumento en la endogamia por la consanguinidad compartida, pudiendo alcanzar altos riesgos de extinción para las especies (Frankham, 1998, Rajora y Mosseler, 2001).

Un claro ejemplo de autopolinización ha sido la especie de abeto rojo (*Picea rubens* Sarg), que, tras existir una disminución en la mayor parte de su área de distribución en América del Norte durante el siglo pasado, ahora se encuentra con depresión endogámica al existir cruzamiento de árboles emparentados y autofecundación reflejada en un aumento de semillas vanas (Mosseler *et al.*, 2000).

También en otras coníferas se ha encontrado que la autopolinización y fertilización cruzada genera muerte embrionaria, resultando esto en una reducción considerable de semillas vacías y una disminución en la germinación, así como en la supervivencia de las plántulas y menor elongación (Sorensen y Miles, 1974; Fowler y Park, 1983; Park y Flower, 1984)

En consecuencia, las semillas desarrolladas de estas especies con problemas de endogamia pueden producir plantas anormales que presentan daños de albinismo por la deficiencia de clorofila, plántulas torcidas, plántulas enanas, germinación invertida y la poliembrionía. Aunque en el género de *Picea* se produce poliembrionía y esto no es atribuible a la endogamia, por lo tanto, la poliembrionía reduce los efectos de embriones abortados (Park y Flower, 1984). Estas condiciones de endogamia deben de estudiarse en las especies del género *Picea* en México.

En consecuencia, este estudio pretende revisar la condición de germinación y vigor de germinación, así como la anormalidad en la germinación, estableciendo patrones de estos. Respecto a la germinación, esta tiene relación con otros indicadores reproductivos, como un mayor tamaño de conos, produce mayor proporción de semillas llenas, y por consecuencia mayor peso y eficiencia reproductiva (Flores-López *et al.*, 2005). Por otra parte, las semillas más grandes y con mayor peso, germinan más rápido y producen plántulas más grandes, robustas y vigorosas a diferencia de las semillas medianas y pequeñas (Dunlap y Barnett

1983; Sorensen y Campbell, 1993); esto sería ideal para el establecimiento de la regeneración en una población.

En la evaluación de germinación existen diferentes índices o fórmulas para evaluar la distribución de la germinación en el tiempo. Uno de ellos es el valor de germinación de Czabator. Czabator (1962) desarrolló una fórmula que utiliza la velocidad y el porcentaje de germinación. Esta fórmula conocida como “valor de germinación”, es producto del valor máximo (VM) o pico de germinación por la media del número de semillas germinadas cada día (GDM). El pico de germinación es definido como el porcentaje de germinación acumulada en el punto de inflexión de la curva, en la cual la tasa de germinación empieza a disminuir. Este método es poco recomendado porque puede dar el mismo valor para dos poblaciones con comportamiento diferente.

Otra fórmula es la de Diavanshir y Pourbeik (1976) donde mencionan que el valor obtenido con esta fórmula es más exacto que la fórmula de Czabator, y el valor de germinación no disminuirá por aquellas semillas lentas que germinen en los últimos días. Esta fórmula da mejores resultados que la de Czabator para los casos en que no es posible realizar registros diarios de germinación y los datos están disponibles en intervalos de dos días

El presente trabajo se realizó con la finalidad de conocer el valor de emergencia de cuatro poblaciones de *Picea martinezii*, y conocer su tasa máxima de germinación, así como conocer la población con la más lenta germinación de semillas, las anomalías que presentó en la etapa de emergencia de plántulas y de esta manera corroborar en que población existe mayor índice de endogamia y si la germinación tardía se relaciona con plántulas anormales.

OBJETIVOS

Objetivo general: Comparar porcentaje y vigor de emergencia en cuatro poblaciones de *Picea martinezii* de Nuevo León.

Objetivos específicos:

- 1) Comparar el porcentaje de emergencia en plántulas normales a 43 días de siembra entre poblaciones.
- 2) Comparar los índices de valor de emergencia de Czabator y Djavnsir y Pourbeik entre poblaciones.

3) Comparar entre poblaciones, el número de hojas cotiledonales, crecimiento en diámetro y altura (del hipocótilo y epicótilo) a 3 meses de siembra.

Hipótesis

H₀₁: No hay diferencias significativas en el porcentaje de emergencia en plántulas normales, al menos en una población.

H₀₂: No hay diferencias significativas de los índices de valor de emergencia de Czabator y Djavnsir y Pourbeik al menos en una población

H₀₃: No hay diferencias significativas en número de hojas cotiledonales, diámetro y altura (del hipocótilo y epicótilo) al menos en una población.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de *Picea martinezii*

2.1.1 Taxonomía y descripción botánica

Esta especie clasificada dentro del Reino Plantae pertenece a la División Pinophyta y a la Clase Pinopsida, del Orden Pinales y de la Familia Pinaceae, su Género es *Picea* y la Especie *Picea martinezii*.

Son árboles con una altura de hasta 30 m, poseen una copa abierta y de forma irregular; con una corteza fina, escamosa y gris (Apéndice 1); sus ramas jóvenes son glabras y amarillas y posteriormente cambian a un color marrón rojizo y después a uno gris; poseen una base foliar engrosada en forma de cojinete; sus esterigmas (saliente muy delgada del basidio en el cual se disponen las esporas) son de un mm de largo. Posee yemas cónicas y estas son de un color marrón rojizo, miden de 8-10 mm de largo con escamas adpresas al cono, glabras y márgenes escariosos y el ápice agudo; las yemas terminales comprenden un anillo basal con escamas subuladas. Sus hojas son de color verde oscuro, dirigidas hacia la punta, son planas, rectas, o levemente curvadas y flexibles, con un tamaño que oscila de 16-27 mm de longitud y de 1 a 2 mm de anchura, puntiagudas, quilladas (Parte prominente y más o menos aguda) en una o ambas caras.

Los estomas están en hileras que van de 4-10 filas en cada lado, no presenta canales resiníferos y tampoco posee conos estaminados. Los conos femeninos maduros son ovados (tiene forma semejante a la de un huevo) y de color marrón rojizo, además poseen forma oblonga- cilíndrica (es decir que los conos son más largo que anchos) y miden de 85-161 mm de largo y 40-62 mm de ancho, presentan escamas gruesas, rígidas y obovadas (forma de huevo) y miden de 19-30 mm de largo y 18-25 mm de ancho, con forma denticuladas; sus brácteas miden 4 mm de largo y son de un color marrón, poseen una forma deltada a oblonga con el ápice redondeado, con o sin base corta y contraídas y los márgenes incluido el ápice presentan una forma eroso denticulados. Sus semillas presentan un color marrón y son fusiformes, ligeramente aplanadas y con una longitud de 5-8 mm, su ápice es redondeado, con una base aguda y las alas tienen un tamaño de 16 a 23 mm de longitud (Patterson, 1988). Los conos masculinos se encuentran en subterminales en grupos de tres, su tamaño oscila

alrededor de 1.5 cm de largo y 1 cm de ancho y el fuste es de 0.4 a 1 m de diámetro a la altura del pecho (1.30 m) (González, 2022).

2.1.2 Hábitat

De acuerdo con Wehenkel *et al.* (2022a), *Picea martinezii* reside en cañadas húmedas y a orillas de arroyos. Se localizan hasta los 2150 msnm en bosques mixtos de coníferas y caducifolias. En el ejido La Trinidad, Montemorelos, N.L, en la localidad El Butano se encuentra *Picea martinezii* asociada con *Cornus florida*, *Ilex rubra*, *Quercus greggii*, *Abies duranguensis var coahuilensis*, *Carya ovata*, *Taxus globosa*, *Ostrya sp.*, *Tilia sp.*, *Juglans sp* y *Crataegus sp.* (Patterson, 1988; Valdez *et al.*, 2003). En el Parque Nacional Cumbres de Monterrey convive con las siguientes especies: *Pinus pseudostrobus var. estevezi*, *Pseudotsuga menziesi*, *Abies vejari* y *Juglans major* (Gómez *et al.*, 2017)

Esta especie prolifera sobre sustratos sedimentarios, sobre todo calizas y en menor grado lutitas. Los suelos son moderadamente ácidos a fuertemente ácidos, con un alto contenido de materia orgánica, y bajo contenido de nitrógeno y salinidad, la textura va de franco a franco limoso (López Martínez, 2018).

Picea martinezii se establece en clima templado en donde las lluvias ocurren principalmente en verano, con humedad relativa muy alta todo el año y resiste las temperaturas más altas que *Picea chihuahuana* Martínez y *Picea mexicana* Martínez. La temperatura media anual oscila de 12-16 °C y la precipitación media anual va de 667-855 mm (Wehenkel *et al.*, 2022a).

2.2 Poblaciones pequeñas y la endogamia

En México las Piceas se reducen a unas cuantas poblaciones pequeñas y, por lo tanto, se encuentran en peligro de extinción (Semarnat, 2010). Las principales causas que amenazan con reducirlas aún más son los incendios forestales, sobrepastoreo, tala clandestina, el manejo no sustentable (Ledig *et al.*, 1997; Wehenkel *et al.*, 2022b), el calentamiento global (Ledig *et al.*, 2010) y el cambio climático (Ledig *et al.*, 2000b). Estas amenazas no solo provocan que las poblaciones disminuyan, también reducen la variación genética; aquellas especies con una distribución restringida tienen menor variación que aquellas con mayor distribución; la variación genética se genera a través de la mutación y se pierde por deriva genética debido al tamaño finito de la población (Frankham, 1996).

Por otra parte, cuando el número de individuos reproductores disminuye en una población, se genera la autofecundación o autopolinización de árboles emparentados entre sí, esto genera una depresión endogámica (Ledig *et al.*, 2000b) y los efectos se manifiestan en el aumento de frecuencia de semillas vacías, reducción en la germinación y supervivencia de las plantas (Fowler y Park, 1983). *Picea rubens* es una especie que experimentó una reducción en la fecundidad y en el crecimiento en altura de sus plántulas por la depresión endogámica (Mosseler *et al.*, 2000); Sorensen y Miles (1974) mencionan que la autopolinización tuvo un efecto diferente en *Pseudotsuga menziesii*, ya que presentó un mayor número de cotiledones y el peso de la semilla fue significativamente menor.

Actualmente, *Picea martinezii* atraviesa un cuello de botella debido a la reducción de la especie a unas pocas poblaciones relictas, que suman menos de 800 árboles (Ledig *et al.*, 2000b). Este número reducido de individuos maduros y reproductivamente competentes también son causa de la pérdida de diversidad; esto se observó en *Picea chihuahuana* en la población de San José de las Causas, Municipio de San Dimas, que al ser una población muy pequeña de tan solo 120 árboles cayó en erosión genética (Wehenkel y Sáenz, 2012).

La fragmentación, el tamaño relativamente pequeño de las poblaciones y su aislamiento ocasionan una disminución en el intercambio o flujo de genes y niveles inusualmente altos de endogamia (a través de la autofecundación, autopolinización y otro tipo de apareamientos emparentados) (Ledig *et al.*, 2010); en México las piceas presentan problemas de endogamia por autofecundación y se ha encontrado que en *Picea martinezii* la autofecundación va del 41-60% (Ledig *et al.*, 2000b), en *Picea chihuahuana* va del 85-100% (Ledig *et al.*, 1997) y en *Picea mexicana* del 19-41% (Ledig *et al.*, 2002). A nivel genético la endogamia disminuye la heterocigocidad y aumenta la homocigosidad que resulta en genes letales o deletéreos, estos genes son responsables de provocar la muerte embrionaria y aumentar considerablemente las proporciones de semillas vacías además de disminuir la germinación y supervivencia de plántulas (Mosseler *et al.*, 2000). Fowler y Park (1983) mencionan que los genes deletéreos eliminan alrededor del 88% de los embriones tras la autopolinización y actúan en varias fases del desarrollo de la planta, en *Abies alba* (abeto blanco) se encontró que el número medio de genes letales que afectan durante la etapa de germinación, supervivencia en vivero y la supervivencia en campo hasta los 17 años es de 0.6, 1.9 y 0.3

respectivamente y el número total de genes letales que afectan desde la polinización hasta los 17 años es de aproximadamente 12.6. En *Pinus ponderosa* y en *Pseudotsuga menziesii* se encontró deficiencia de clorofila causada por genes deletéreos (Sorensen y Miles, 1974).

La endogamia afecta las semillas produciendo un menor vigor y viabilidad (reflejándose en un aumento de semillas vanas y semillas con embriones poco desarrollados), reduce las tasas de germinación, emergencia y crecimiento en las plántulas; la presencia de plantas anormales es otro efecto de la endogamia y se presentan como; plantas albinas, enanas, con germinación inversa(cuando los cotiledones emergen antes de la raíz) y encorvamiento del epicótilo, ausencia de raíz primaria, raíz primaria atrapada en la cubierta de la semilla, persiste el collar endopérmico y plántulas infectadas incapaces de sobrevivir (Gordon, 1981; Pérez, 1997; Flores y Sáenz, 2022). En la germinación Se consideran plantas normales aquellas que presentan crecimiento vigoroso hasta la etapa de plántula y son resistentes a ataques secundarios, estas anomalías muchas veces generan la muerte; tal como sucedió con *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii* que la deficiencia de clorofila aumento considerablemente la muerte de plántulas (Sorensen y Miles, 1974).

2.3 Germinación y emergencia

De la Cuadra (1993) define a la germinación como al conjunto de procesos que se producen en la semilla desde que el embrión comienza a crecer hasta que se forma una pequeña planta que puede vivir por sí misma. Inicia con la imbibición (entrada de agua en la semilla) y finaliza con el inicio de la elongación de la radícula; en laboratorio la aparición de la radícula indica que ha tenido lugar la germinación y en campo ocurre a partir de la emergencia y establecimiento de la plántula (Villamil y García, 1998).

Se considera germinación cuando la radícula alcanza el tamaño aproximado de la semilla y emergencia cuando ya es posible observar una plántula con el epicótilo y cotiledones abiertos (Guzmán *et al.*, 2018).

Tinus y McDonald (1979) mencionan que en muchas coníferas la germinación completa de las semillas ocurre desde los 10 a 25 días, en almácigos se considera completa cuando: 1) la mayoría de la semilla ha germinado; 2) cuando la testa de la semilla se ha despojado, y 3) el sistema radicular de las plántulas ha crecido dentro del medio de crecimiento.

La tasa de germinación de semillas, supervivencia temprana y vigor de las plántulas (porcentaje de supervivencia de la plántula y crecimiento), son indicadores reproductivos que muestran el estado genético de las poblaciones (Mosseler *et al.*, 2000).

2.4 Valor de germinación de Czabator y Djavnsir y Pourbeik

La capacidad y vigor de germinación son variables que determinan la calidad de la semilla para la producción de planta; la capacidad de germinación es el porcentaje de semillas que germinan en un periodo de prueba específico y está expresado en porcentaje mientras que el vigor de germinación se define como la velocidad y uniformidad de germinación (Bonner *et al.*, 1994). Cuanto más rápida y uniforme se dé la germinación mayor será el vigor de la semilla. La capacidad o porcentaje de germinación se obtiene con la siguiente fórmula $CG\% = (n/N) * 100$ donde: CG % = Capacidad de germinación, n = número de semillas germinadas y N = número de semillas sembradas (Ayma, 2005). El resultado del análisis de germinación representa la calidad de las semillas y se expresa como porcentajes de plántulas normales y anormales y de semillas duras, frescas y muertas, la suma de estos porcentajes debe ser 100, en semillas múltiples, se cuenta solo una de las plántulas normales por unidad para calcular el resultado de la prueba de germinación (ISTA, 2018).

El valor de germinación es una expresión que se compone con la velocidad y la integridad de la germinación; la fórmula de Czabator ha sido utilizado por muchos años para obtener el valor de germinación; para esta fórmula se utiliza la velocidad de emergencia diaria (VGD) y el valor máximo de VGD. La velocidad de germinación diaria se obtiene dividiendo el porcentaje de germinación acumulada por el número de días (Czabator, 1962).

La fórmula de Czabator para el valor de germinación es:

$$VG = VGD \text{ final} * \text{valor máximo de VGD}$$

Donde:

GV = valor de germinación

VGD = valor de germinación diario

Esta fórmula toma en cuenta la velocidad de germinación diaria y el porcentaje de germinación total; calcula la velocidad de germinación diaria (VGD) dividiendo el porcentaje de germinación acumulada por el número de días y se puede calcular para cada día o en intervalos de 2 días según la recopilación de datos, N es la frecuencia de VGD, y GP es el porcentaje de germinación al final de la prueba y 10 es una constante que se ha determinado a partir de muchas pruebas de germinación (Diavanshir y Pourbeik, 1976).

$$GV = \frac{\sum VGD}{N} * \left(\frac{GP}{10}\right)$$

Donde:

GV = valor de germinación

VGD = valor de germinación diario

GP = porcentaje de germinación

N = frecuencia del VGD

2.5 Estudios relacionados

En *Picea martinezii* se realizó un estudio y los indicadores reproductivos de conos y semillas indican que tiene una gran pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas asociada a los efectos de endogamia (esta especie presenta 0.75 % de consanguinidad) debido a la reducción del tamaño de la población (Flores-López *et al.*, 2012); En poblaciones naturales esta especie presenta una regeneración baja y esto también puede deberse a que las semillas de esta especie pierden su viabilidad muy rápido en el suelo ya sea por el ataque de patógenos o por la depredación de la fauna (López, 2018).

En otros estudios se encontró que tanto en *Picea rubens* como en abeto blanco (*Abies alba*) existe una disminución en la fecundidad, germinación, crecimiento en altura y a una supervivencia reducida de plántulas debido a la autopolinización y a sus poblaciones pequeñas (Fowler y Park, 1983; Mosseler *et al.*, 2000).

En *Picea mexicana* Martínez se llevó a cabo un estudio de viabilidad de semilla y su relación con indicadores reproductivos, se sometió a diferentes tratamientos pregerminativos y mostraron diferentes efectos en cada población, sin embargo, los tratamientos con nitrato de

potasio y giberelinas mostraron la germinación acumulativa final más alta; respecto a la germinación y a los indicadores reproductivos se menciona que mostró correlaciones positivas entre estos, con respecto al número de semillas vanas mostró una correlación positiva altamente significativa con las características del tamaño del cono; también menciona que hubo una correlación significativa y negativa de -0.36 con el porcentaje de germinación y potencial de semilla y con respecto al porcentaje de plántulas anormales mostró una correlación positiva de 0.69 (Sierra, 2005).

Respecto a la germinación en Piceas los estudios son escasos, pero en otros géneros como en *Pinus* se encuentran estudios de germinación, tal es el caso de *Pinus chiapensis*, es una especie con amplios rangos de distribución y que presenta problemas severos de fragmentación en sus poblaciones, sin embargo, sus semillas mostraron una alta calidad en capacidad germinativa y valor germinativo y en sus características morfológicas mostró diferencias entre sus procedencias (Capilla, 2018).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

El experimento de germinación se realizó en el invernadero del Departamento Forestal que se encuentra en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México, con coordenadas geográficas 25°21'10.31"N y 101° 1'38.01"O a la altura de la carretera Federal Saltillo-Zacatecas.

3.2 Procedencia de germoplasma forestal

Se usó semillas de cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* que se encuentran ubicados en el estado de Nuevo León con las siguientes ubicaciones: “El Butano” en el Ejido La Trinidad, Municipio de Montemorelos, “La tinaja” en el Ejido La Encantada, Municipio de General Zaragoza, “Agua Fría y Agua de Alardín” ubicados en el Municipio de Aramberri.

Cuadro 1. Localización, número de familias y número de plántulas propagadas de *Picea martinezii* Patterson en el estado de Nuevo León.

Municipio	Localidad	Coordenada	Número de árboles	Número de familias
General Zaragoza	La Encantada	N23°53'24.84" W99°47' 31.26"	13	3
Montemorelos	El Butano	N25°10'20.56" O100°07'22.57"	30	29
Aramberri	Agua Fría	N24°02'22.8" W99°42'19.7"	21	20
Aramberri	Agua de Alardín	N24°02'41.3" W99°44'02.7"	30	30

3.3 Establecimiento de ensayo de emergencia en invernadero

El experimento se clasificó por población y por árbol, se utilizaron charolas o semillero forestal de unicel de 77 cavidades por árbol, con las siguientes características de las cavidades: redonda con esquinas red y guía de raíz, diámetro de cavidades cuadrada de 3.9 x 3.9 cm, drenaje de 8 milímetros y capacidad 170 mililitros, con sustrato preparado de peat

moss de 107 litros, perlita mineral expandida y vermiculita de 100 litros en una proporción de 1:1, y como fertilizante se usó un kilo y medio de osmocote de liberación prolongada, las charolas de cada población se acomodaron en una cama porta charolas; el número de árboles por población fueron diferentes en Agua de Alardín (30 árboles), El Butano (29 árboles), Agua Fría (21 árboles) y La Encantada (3 árboles).

La siembra se realizó por el método directo al contenedor con profundidad de 1 cm y al mismo tiempo cada charola se etiquetó con una clave de identificación con la población y número de árbol. Dicha siembra se llevó a cabo el 5 de septiembre del año 2019

Para poder obtener una germinación homogénea fue necesario mantener el sustrato húmedo mediante la aplicación de riego cada tercer día. También es importante mencionar que el área de las camas de charolas se les adicionó sombra con una maya sombra negra que proporciona 70% de sombra, dicha maya se colocó durante el mes de marzo del año 2020.

3.4 Evaluación de emergencia de plántulas

La evaluación se realizó durante un mes a partir de la emergencia de la primera plántula. La primera evaluación se realizó el 19 de septiembre del año 2019 y la última evaluación se realizó el 18 de octubre del mismo año.

La primera evaluación se llevó a cabo 14 días después de haber realizado la siembra de las semillas de *Picea martinezii* y estas evaluaciones continuaron realizándose cada tercer día, y 43 días después de la siembra se realizó la última evaluación, obteniendo un total de 15 evaluaciones.

Se estimó el valor de emergencia, utilizando el valor de Czabator, (Czabator, 1962) y el valor de Djavanshir y Pourbeik (1976) donde:

Valor de emergencia= velocidad de emergencia diaria (VGD) final X valor máximo de VGD.

Valor de emergencia Djavanshir y Pourbek = \sum VGD final X Porcentaje de emergencia acumulada/10

Durante la evaluación se registraron la emergencia de plántulas anormales (plántulas cloróticas, plántulas con poliembrionía, hipocótilo torcido, plántulas enanas, plántulas chaparras sin desarrollo de hojas primarias, plántulas que se le murieron las hojas

cotiledonales, plántulas con hojas cotiledonales abrazados con el endospermo, plántulas con formación de más de una yema por la permanencia de la testa, plántulas con persistencia de la testa) (Flores y Sáenz, 2022) (Apéndice 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9 y 10). Posteriormente, los datos obtenidos de la evaluación fueron capturados en una hoja de Excel.

3.5 Evaluación de las variables morfológicas de las plántulas de *Picea martinezii*.

Tres meses después de la siembra de las semillas de *Picea martinezii* se realizó la evaluación de las siguientes variables: número de hojas cotiledónales, longitud del hipocótilo (mm), longitud del epicótilo (mm) y el diámetro basal (Figura 1). Las plantas evaluadas se obtuvieron a través de un muestreo aleatorio, considerando como máximo un total de 10 individuos para cada charola. Estos individuos fueron identificados y marcados.

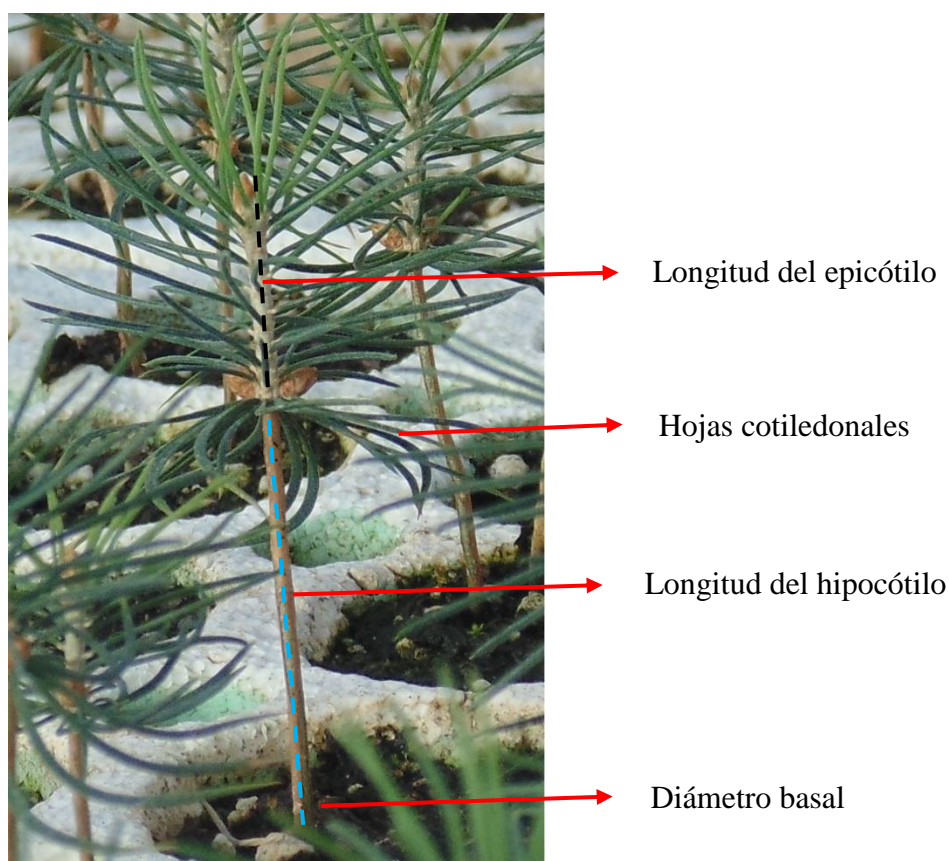


Figura 1. Variables morfológicas evaluadas en plántulas de *Picea martinezii* en invernadero.

3.6 Diseño experimental y análisis estadístico

Se empleo un diseño experimental completamente aleatorio desbalanceado. Este diseño se utiliza cuando existe números desiguales de observaciones (Gamas, 2004). El modelo estadístico para este diseño experimental es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} es el resultado o variable de respuesta del i-ésimo sujeto asignado al j-ésimo tratamiento

μ es la media general de todas las observaciones

T_i es el efecto fijo del i-ésimo tratamiento

e_{ij} es el error aleatorio asociado con la observación del i-ésimo sujeto asignado al j-ésimo tratamiento.

Se utilizó el paquete estadístico SAS para obtener la comparación de medias entre las poblaciones. Con respecto a las variables de los porcentajes de plantas normales, anormales y semillas no emergidas, se transformaron los valores a logaritmo con base a 10 para obtener distribución normal (Osborne, 2002); se utilizó la comparación de medias de Duncan, considerando que esta se utiliza cuando el tamaño de muestra en ambas poblaciones no es igual (Gutiérrez y De La Vara, 2008; Dagnino, 2014).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Porcentaje de emergencia de plántulas

Como se observa en el Cuadro 2, la población Agua de Alardín presentó mayor porcentaje de emergencia con un valor promedio del 83% mientras que La Encantada fue la que presentó el menor porcentaje con tan solo el 58%. En otras especies, como en *Pinus hartwegii* se ha reportado un valor promedio de emergencia del 49.6 % (Andrade, 2019), y en *Pinus rzedowskii* un valor promedio de emergencia del 3 % (Sánchez, 2015), estos valores son bajos si los comparamos con los valores que presentaron las poblaciones de *Picea martinezii* en este estudio, por lo tanto, se puede decir que las semillas de *Picea martinezii* mostraron una alta calidad en capacidad de emergencia y solo La Encantada tuvo una calidad baja. Los bajos porcentajes de emergencia generalmente son atribuidos a problemas de endogamia originados por un mayor porcentaje de autofecundación por la escasez de polen (Barrabé, 2017; Gómez *et al.*, 2010), y a los genes deletéreos que actúan en las etapas del desarrollo de los embriones cuando inicia el proceso de germinación (Andrade, 2019). De acuerdo a los análisis de conos y semillas, *Pinus rzedowskii* presenta un alto índice de endogamia (0.79), probablemente se deba a los efectos de la fragmentación de sus poblaciones, mientras que *Pinus ayacahuite var. veitchii* el índice de endogamia es menor (0.33) y esto puede deberse a que la fragmentación de su hábitat sea más reciente y los efectos aún no son tan notorios (Sánchez, 2015).

Especies de distribución limitada y con poblaciones fragmentadas como *Pinus rzedowskii*, *Pinus maximartinezii* y *Pinus chiapensis* clasificadas en la NOM-059 (SEMARNAT 2010) presentan un porcentaje de emergencia más bajo comparadas con aquellas especies de mayor distribución como *Pinus cembroides*, *Pinus orizabensis* y *Pinus engelmannii* (ver Cuadro 3).

De acuerdo al análisis de varianza, la comparación de medias indica que existen diferencias significativas entre las poblaciones con respecto al porcentaje promedio de emergencia, a excepción de El butano, que no muestra diferencias significativas con agua de Alardín y con Agua Fría. (Cuadro 2)

Respecto al porcentaje promedio de plantas anormales, el análisis de comparación de medias indica que existen diferencias significativas en dos poblaciones en Agua de Alardín y en La Encantada (Cuadro 2). De las cuatro poblaciones evaluadas, La Encantada presentó el mayor porcentaje de plantas anormales (18%) y Agua de Alardín el menor porcentaje (7%), estos valores son altos comparados al valor promedio de 3.82 % de plantas anormales reportadas en *Pinus maximartinezii* (Jiménez, 2015). El aumento en el porcentaje de plantas anormales es importante porque muchas veces estas plantas no sobreviven, esto se observó en *Picea martinezii* donde las plantas cloróticas y plantas con hojas cotiledonales abrazados al endospermo (persistencia del endospermo) murieron y en el caso de aquellas plantas que lograron desprenderse del endospermo presentaron enanismo.

Pinus caribaea var. *caribaea* y *Pinus tropicalis* especies endémicas de Cuba, presentan porcentajes promedio de plantas anormales muy similares a los valores que se presentaron en *Picea martinezii* con 11.7 y 16.5 % respectivamente, (Barrabe, 2017), al igual que *Picea martinezii* las poblaciones de estas dos especies se han visto afectados por la reducción de sus poblaciones y presentan un mayor número de plantas anormales, esto puede indicar que hay depresión endogámica y erosión genética en las poblaciones (Ledig *et al.*, 2002). En la germinación son un indicador claro de que existe autopolinización y endogamia (López, 2005). Por ejemplo, las plantas albinas o cloróticas surgen como resultado de una elevada tasa de autofecundación causada por el aislamiento de los individuos (Takeuchi *et al.*, 2020). En *Pseudotsuga menziesii* se encontró que la mayor frecuencia de plantas albinas proviene de aquellos árboles donde las poblaciones presentan altos niveles de endogamia (Rehfeldt, 1977).

Con el porcentaje promedio de semillas no emergidas, el análisis de comparación de medias muestra que Agua de Alardín presentó diferencias significativas con las tres poblaciones, ya que presenta el menor porcentaje de semillas no emergidas (10%) (ver tabla 2). Alguna de las posibles causas por las que no hayan emergido todas las semillas es porque no absorbieron suficiente agua, debido una cubierta impermeable provocando que las semillas se volvieran más duras, en ocasiones las semillas no emergidas se encuentran en estado de latencia y requieren de una prueba de viabilidad (como la prueba de escisión embrionaria, prueba de

tetrazolio y la prueba de escarificación), las semillas no emergidas (semillas duras y semillas latentes) se indican además del porcentaje de emergencia (ISTA,1993).

Cuadro 2. Porcentaje promedios de emergencia de plántulas normales, anormales y no germinadas de *Picea martinezii* Patterson para cuatro poblaciones de Nuevo León.

Población	Familias	Porcentaje promedio de plántulas normales	Porcentaje promedio de plántulas anormales	porcentaje promedio de semillas no emergidas
Agua de Alardín	30	83 ^a	7 ^b	10 ^b
El Butano	29	73 ^{ba}	13 ^{ab}	14 ^a
Agua fría	20	71 ^b	11 ^{ab}	18 ^a
La encantada	3	58 ^c	18 ^a	24 ^a

1= Agua de Alardín, 2= El Butano, 3= Agua Fría, 4= La Encantada. Nota: Los valores de las medias de Porcentaje promedio de plántulas normales, anormales y semillas no emergidas con diferentes letras son significativamente diferentes y con letras iguales no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) determinado por la prueba de Duncan.

Probablemente, las semillas no emergidas de *Picea martinezii* eran semillas latentes, sin embargo, no se realizó ninguna prueba de viabilidad para corroborarlo. Ramírez-Herrera *et al.* (2008) menciona que debido a la falta de germinación en semillas de *Pinus pinceana* realizó la prueba de viabilidad con el método de tetrazolio para determinar la viabilidad de los embriones y la prueba indico que el número de embriones viables era muy elevado. También es probable que las semillas que no emergieron no eran viables, ya que este es otro efecto de la endogamia, Gómez *et al.* (2010) menciona que la depresión endogámica asociada a la autofecundación también puede influir en la viabilidad del embrión de las semillas llenas, por ejemplo, Remington y O'Malley (2000) encontraron un alelo que reduce en 44 % la viabilidad de los embriones homocigóticos de semilla en *Pinus taeda* L. asociados por la endogamia.

Cuadro 3. Comparación de porcentajes promedios de emergencia de plántulas normales, anormales y germinadas en diferentes especies de *Pinus*.

Especie	Porcentaje promedio de germinación	Porcentaje promedio de semillas no germinadas	Porcentaje promedio de Plántulas anormales	Referencias	Lugar y/o país donde se realizó el estudio
<i>Pinus caribaea</i>					
var. <i>caribaea</i> Barret y Golfari	24.89	76.14	11.7	Barrabé (2017)	Cuba
<i>Pinus tropicalis</i>					
Morelet	26.53	58.33	16.5	Barrabé (2017)	Cuba
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl					
	49.6	-----	-----	Andrade (2019)	Texcoco, México
<i>*Pinus rzedowskii</i> Madrigal et Caballero					
	3	-----	-----	Sánchez (2015)	Coalcomán, Michoacán, México
<i>P. ayacahuite</i> var. <i>veitchii</i> Shaw					
	71	-----	-----	Sánchez (2015)	Los Reyes, Michoacán, México
<i>P. engelmannii</i> Carr.					
	98.1	-----	-----	Bustamante-García <i>et al.</i> (2012)	Durango, México
<i>Pinus duranguensis</i> Martínez					
	53.8	-----	-----	Bustamante-García <i>et al.</i> (2014)	Durango, México
<i>Picea rubens</i> Sarg					
	73.84	-----	-----	Mosseler <i>et al.</i> (2000)	Canadá

* Especies en estatus de riesgo de acuerdo a la NOM-059 (SEMARNAT 2010)

Cuadro 3. Comparación de porcentajes promedios de emergencia de plántulas normales, anormales y germinadas en diferentes especies de *Pinus*. Continuación

Especie	Porcentaje promedio de germinación	Porcentaje promedio de semillas no germinadas	Porcentaje promedio de Plántulas anormales	Referencias	Lugar y/o país donde se realizó el estudio
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	82.5	-----	-----	Gómez- Jiménez <i>et al.</i> (2010)	Texcoco, México
* <i>Pinus chiapensis</i> (Martinez) Andresen	75.7	-----	-----	Capilla (2018)	Texcoco, México
<i>Pinus rigida</i> Mill	86.6	-----	-----	Mosseler <i>et al.</i> (2004)	Canada
* <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	66.37	-----	3.82	Jiménez (2015)	Juchipila, Zacatecas, México
<i>Pinus cembroides</i> Zucc	88	-----	-----	Hernández (2016)	Texcoco, México
<i>Pinus orizabensis</i> D.K. Bailey & Hawks	84	-----	-----	Hernández (2016)	Texcoco, México

* Especies en estatus de riesgo de acuerdo a la NOM-059 (SEMARNAT 2010)

4.2 Valor de emergencia

De acuerdo al análisis de varianza, los valores de emergencia obtenidos con el método de Czabator muestra que las poblaciones son significativamente diferentes (Cuadro 4). Agua de Alardín presentó el valor más alto de emergencia (2.27) y La Encantada el valor más bajo (1.23).

Con respecto a los valores de emergencia obtenidos con el método de Diavanshir y Pourbeik, el análisis de varianza muestra que Agua de Alardín es significativamente diferentes a las poblaciones de El Butano, Agua Fría y La Encantada. Agua de Alardín presentó el valor de emergencia más alto (6.19) y La Encantada presentó el valor más bajo de emergencia (3.09) (Cuadro 4).

El valor de emergencia con ambos métodos muestra que Agua de Alardín presentó una velocidad de emergencias superior a las poblaciones de El Butano, Agua de Fría y La Encantada, esto significa que también tiene un mayor vigor y esto se observó durante la evaluación donde las plantas presentaron un crecimiento superior y más rápido.

En otras especies como en *Pinus pinceana* Gordon se ha reportado un valor promedio de emergencia de 21.7 (Ramírez-Herrera *et al.*, 2008), en *Pinus leiophylla* un valor de 29.4 (Gómez *et al.*, 2010) y en *Pinus chiapensis* un valor promedio de 9.74 (Capilla, 2018), estas especies presentan una mayor velocidad de emergencia que *Picea martinezii*, lo que indica que también tienen un crecimiento más rápido.

Cuadro 4. valor de emergencia de Czabator y Diavanshir y Pourbeik y comparación de medias.

Población	Familias	Valor de Emergencia (Czabator)	Valor de Emergencia (Diavanshir y Pourbeik)
Agua de Alardín	30	2.27a	6.19a
El Butano	29	1.77b	4.44b
Agua fría	20	1.42bc	3.52b
La encantada	3	1.23c	3.09b

1= Agua de Alardín, 2= El Butano, 3= Agua Fría, 4= La Encantada. Nota: Los valores de emergencia de Czabator y Diavanshir y Pourbeik con diferentes letras son significativamente diferentes y con letras iguales no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) determinado por la prueba de Duncan.

Ortega *et al.* (2003) evaluó el valor de emergencia en 7 poblaciones de *Pinus hartwegii* encontrando valores promedios de entre 0.5 y 7, esta especie presentan problemas en la reducción de sus poblaciones al igual que *Picea martinezii* y al igual que *Picea martinezii* presentó diferencias respecto a la velocidad de emergencia en sus poblaciones, esto puede

ser consecuencia de un mayor efecto depresivo endogámico en las poblaciones (Wang *et al.*, 1996). En *Pinus maximartinezii* se reportó el valor de emergencia (con el método de Czabator) para dos diferentes años de colecta (2009 y 2013) y se encontró que el valor de emergencia y la calidad de semilla fue superior para la colecta del año 2009 con un valor promedio de 5.412 y un valor promedio de 3.488 para el año 2013 (Jiménez, 2015), esto indica que la velocidad de emergencia también puede estar influenciada por el año de cosecha.

La velocidad de emergencia fue mayor en la población Agua de Alardín y menor en la población de La Encantada; en Agua de Alardín la germinación fue más uniforme y el árbol 24 alcanzó la emergencia acumulada más alta (de casi el 60 % de emergencia acumulada) mientras que el árbol 29 tuvo la emergencia más baja de los 30 árboles (con un valor de emergencia acumulada de casi el 40%) (Figura 2).

La población de El Butano mostró una velocidad de emergencia inferior a Agua de Alardín, pero superior a la población de Agua Fría, los árboles mostraron una velocidad casi uniforme y los árboles 9 y 11 y alcanzaron la emergencia más alta con un valor del 60%, mientras que el árbol 13 mostró la emergencia más baja con un valor de casi el 35% (Figura 3).

Agua Fría mostró una velocidad de emergencia casi uniforme, con una velocidad inferior a El Butano, pero superior a la población de La Encantada, el árbol 21 mostró el valor más alto de emergencia con un valor de casi el 55% y el árbol 4 prácticamente no mostró emergencia, se puede decir que el árbol 16 mostró el valor de emergencia más bajo con casi el 10% de emergencia acumulada (Figura 4).

La Encantada no solo fue la población en presentar el valor más bajo en porcentaje de emergencia, sino también en presentar una velocidad de emergencia mucho más baja que el resto de las poblaciones. En esta población el árbol 3 mostró el valor de emergencia más alta con un valor de casi el 50% y el árbol 1 obtuvo un valor del 40% de germinación, siendo este valor el más bajo (Figura 5).

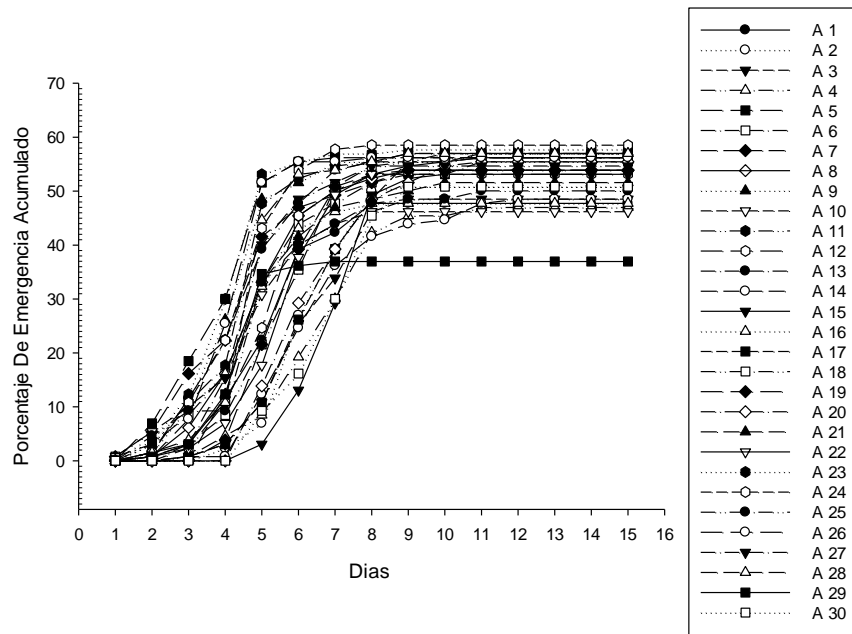


Figura 2. Porcentaje de emergencia acumulada de *Picea martinezii* Patterson para la población Agua de Alardín, Aramberri, Nuevo León.

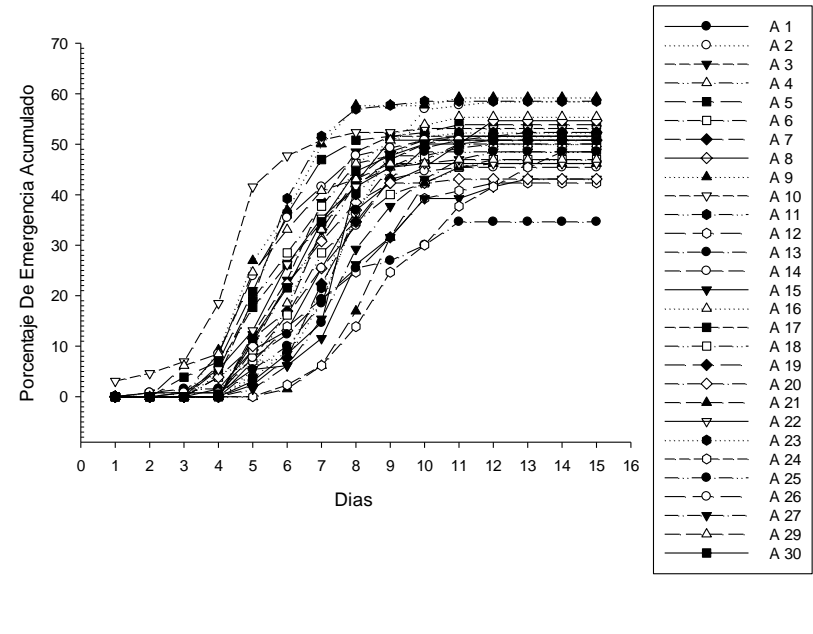


Figura 3. Porcentaje de emergencia acumulada de *Picea martinezii* Patterson para la población El Butano Montemorelos Nuevo León.

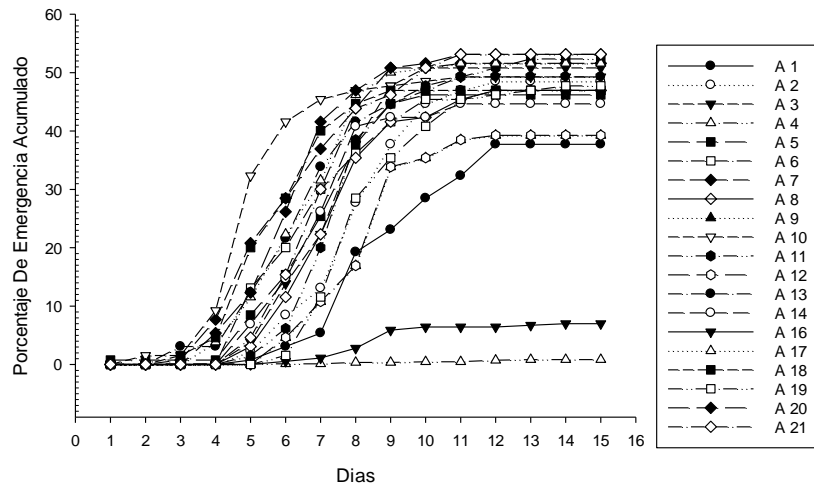


Figura 4. Porcentaje de emergencia acumulada de *Picea martinezii* Patterson para la población Agua Fría Aramberri Nuevo León.

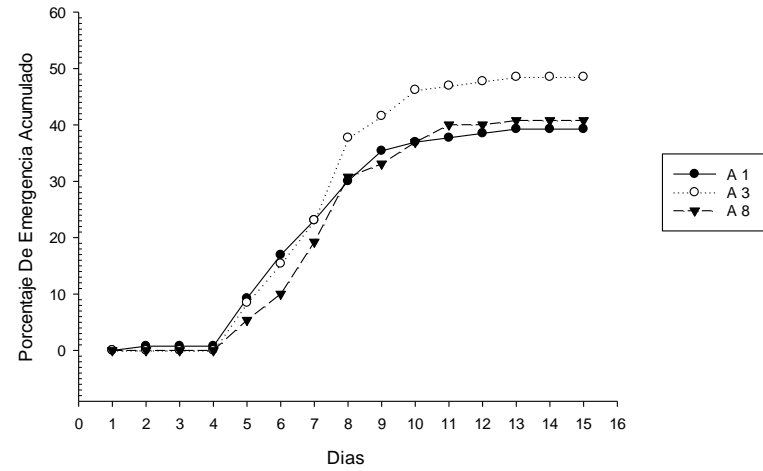


Figura 5. Porcentaje de emergencia acumulada de *Picea martinezii* Patterson para la población La Encantada General Zaragoza Nuevo León.

3. Variables morfológicas de plántulas

De acuerdo al análisis de varianza, existen diferencias significativas respecto al número de hojas cotiledonales, únicamente las poblaciones El Butano y Agua Fría son estadísticamente iguales. Agua de Alardín es la población que presentó mayor número de hojas cotiledonales (Cuadro 5).

En *Picea martinezii* la población Agua de Alardín presentó un mayor número de hojas cotiledonales con un valor promedio de 14.88 y La Encantada presentó el menor número de hojas cotiledonales con un valor promedio de 12.53 (Cuadro 5), de acuerdo a Flores-López *et al.* (2012) La Encantada presenta mayor depresión endogámica y en *Pseudotsuga menziesii* la depresión por consanguinidad (autopolinización) generó un mayor número de hojas cotiledonales en la especie (Sorensen y Miles, 1974), pero en *Picea martinezii* el número de hojas cotiledonales no se vio afectado por la endogamia y si hubo diferencias en las poblaciones, pero estas diferencias no son tan grandes, además la diferencia con respecto al número de hojas cotiledonales en las poblaciones también es una manera de identificarlas, en *Pinus chiapensis* el número de hojas cotiledonales también difirió entre sus poblaciones y se encontró una variación de 6-10 hojas cotiledonales pero mayormente de 7 y 8 hojas cotiledonales (Capilla, 2018).

En otras coníferas como *Pinus elliottii*, *Pinus virginiana*, *Pinus echinata* y *Pinus taeda* las plántulas presentan en promedio 6.6, 5.6, 5.8 y 7.5 números de hojas cotiledonales a una altura de 8.3, 8.9, 7.3 y 8.3 cm respectivamente (Cuadro 6) (Mann, 1979). En *Pinus cembroides* el número promedio de hojas cotiledonales es de 10.85 y en *Pinus orizabensis* 11.11 (Hernández, 2016), *Picea martinezii* presenta un valor promedio de 13.7 hojas cotiledonales, por lo tanto, esta especie presenta un mayor número de hojas cotiledonales comparado con las especies ya mencionadas.

Respecto a la longitud del hipocótilo, el análisis de varianza muestra que la población Agua Fría estadísticamente es diferente a las otras poblaciones, mientras que las otras poblaciones no presentaron diferencias significativas entre ellas. Para la variable longitud del epicótilo existen diferencias significativas entre poblaciones, con la excepción de El Butano y La

Encantada, que son iguales. Con respecto al diámetro basal se encontró diferencias significativas entre las poblaciones (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores medios y Análisis de varianza de las Variables morfológicas a los 3 meses después de la siembra

Población	Número de hojas cotiledónales	Longitud del hipocótilo (cm)	Longitud del epicótilo (cm)	Diámetro basal (mm)
Agua de Alardín	14.88a	3.07b	1.49a	1.18a
El Butano	14b	3.07b	1.12c	1.07b
Agua fría	13.69b	3.3a	1.36b	0.99c
La encantada	12.53c	2.97b	1.02c	0.85d

1= Agua de Alardín, 2= El Butano, 3= Agua Fría, 4= La Encantada. Nota: Los valores de las variables morfológicas con diferentes letras son significativamente diferentes y con letras iguales no hay diferencias significativas ($p \leq 0.05$) determinado por la prueba de Duncan.

Cuadro 6. variables morfológicas en diferentes especies del género *Pinus*.

Especie	Número de hojas cotiledonales	Longitud de hipocótilo (mm)	Diámetro basal (mm) (6 meses)	Diámetro basal (mm) (15 meses)	Fuente bibliográfica
<i>Pinus cembroides</i>	10.85	36.2 (2 meses)	4.91	8.69	Hernández (2016)
<i>P. orizabensis</i>	11.11	35.2 (2 meses)	4.48	7.92	
<i>P. montezumae</i>	6.5	16.4 (35 días)			Herrera (2022)
<i>P. elliotii</i>	6.6				Mann (1979)
<i>P. virginiana</i>	5.6				
<i>P. echinata</i>	5.8				
<i>P. taeda</i>	7.5				

En longitud del hipocótilo Agua Fría presentó el valor más alto con un valor promedio de 3.3 cm y La encantada presentó el valor más bajo con un valor promedio de 2.97 cm; en longitud del epicótilo y en diámetro basal, Agua de Alardín presentó los valores más altos y La Encantada presentó los valores más bajos (Cuadro 5).

Especies como *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis* también presentaron diferencias significativas entre sus poblaciones con respecto a la longitud del hipocótilo, en el caso de *Pinus cembroides* se evaluó dos procedencias, El Membrillo, Cadereyta, Qro. y El Jagüey, Zimapán, Hgo. y presentaron valores promedios de longitud de hipocótilo de 32.1 y 40.3 mm respectivamente y en *Pinus orizabensis* se evaluó a tres procedencias Las Cuevas, Alzayanca, Tlax. Rancho Domínguez, El Carmen, Tlax. y Tepeyahualco, Tepeyahualco, Pue. y se obtuvieron valores promedios de longitud de hipocótilo de 33.8, 39.1 y 32.6 mm respectivamente. El diámetro basal para las poblaciones de estas dos especies se tomó a los 6 y 15 meses y también en esta variable se encontraron diferencias significativas entre poblaciones, los valores promedios de diámetro basal a los 6 meses fueron 5.21 y 4.62, 4.65, 4.51 y 4.29 respectivamente y a los 15 meses los valores promedios fueron 8.91, 8.47, 8.29, 7.76 y 7.71 respectivamente (Hernández, 2016). *Pinus montezumae* es otra especie que presento diferencias significativas en longitud del hipocótilo en diferentes poblaciones (Herrera,2022), por lo tanto, las diferencias en altura y diámetro en las especies también difieren entre poblaciones.

En especies con endogamia el crecimiento se ve afectado y se presentan plantas enanas no solo en los primeros años, sino también en posteriores años (Wilcox, 1982; Fowler y Park, 1983; Mosseler *et al.*, 2000); en *Picea martinezii* la endogamia afectó más el crecimiento en altura del hipocótilo, epicótilo y diámetro basal a la población de La Encantada que de acuerdo a Wehenkel *et al.* (2022b) es la población más pequeña y con mayor depresión endogámica (Flores-López *et al.*, 2012).

5. CONCLUSIONES

Las poblaciones de *Picea martinezii* presentaron diferencias significativas respecto al porcentaje de emergencia de plántulas normales, anormales y de semillas no emergidas, siendo Agua de Alardín la población en presentar el valor más alto en porcentaje de plantas normales y El Butano en presentar los valores más altos en porcentaje de plantas anormales y de semillas no emergidas.

La hipótesis nula planteada para el porcentaje de emergencia en plántulas normales se rechaza debido a que al menos en una población hubo diferencias significativas.

El valor de emergencia con los métodos de Czabator y de Diavanshir y Pourbeik mostraron diferencias significativas entre las poblaciones y en ambos métodos, Agua de Alardín presento los valores más altos y La Encantada los valores más bajos.

La hipótesis nula planteada para los índices de valor de emergencia de Czabator y Djavnsir y Pourbeik se rechaza debido a que se presentó diferencias significativas al menos en una población

Para las variables morfológicas de las plántulas en las poblaciones mostraron diferencias significativas, Agua de Alardín presentó los valores más altos y La Encantada los valores más bajos, con excepción de Agua fría que fue superior a las demás poblaciones en longitud del hipocótilo.

La hipótesis nula planteada para número de cotiledones, diámetro y altura del hipocótilo y epicótilo se rechaza debido a que se presentó diferencias significativas al menos en una población.

6. RECOMENDACIONES

Realizar un análisis de viabilidad de las semillas no emergidas con solución de cloruro de tetrazolio para determinar la viabilidad de los embriones.

Realizar tratamientos pregerminativos para romper la latencia de las semillas y estimular la germinación.

Para la población de La Encantada, aumentar el número de familias en las pruebas de emergencia, ya que en este estudio solo se analizó a tres familias y así obtener una mejor idea respecto al comportamiento de la emergencia y la calidad de las semillas.

7. LITERATURA CITADA

- Alanís, G., Velazco, C., Foroughbakhch, R., Valdez, V. y Alvarado, A. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. *Ciencia UANL* 7(2): 209-217.
- Andrade Gómez, K. A. 2019. Indicadores reproductivos, y germinación de semillas de *Pinus hartwegii*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 97 p.
- Ayma, A. 2005. Estudio de propagación sexual de Pino Monte (*Podocarpus glomeratus* D. Don) en la comunidad de Sailapata-Independencia. Tesis de licenciatura. Universidad Mayor De San Simón, Cochabamba-Bolivia. 75 p.
- Barrabé, C. M. 2017. Indicadores reproductivos de dos áreas productoras de semillas en *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis*. *Ciencias Forestales y Ambientales*, 2(1): 21-29.
- Bewley, J.D. 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell*, 9, 1055–1066.
- Bonner, F.T., J.A. Vozzo, W.W. Elam, and S. B. Land. 1994. Tree Seed Technology Training Course. Instructor's Manual. General Technical Report SO-106. USDA Forest Service. New Orleans, Louisiana. 160 p.
- Bustamante-García, V., J. A. Prieto-Ruíz., E. Merlín-Bermudes., R. Álvarez- Zagoya., A. Carrillo-Parra y J. C. Hernández Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. *Madera y Bosques*.18(3):7-21.
- Bustamante-García, V., Prieto-Ruíz, J. Á., Carrillo-Parra, A., Álvarez-Zagoya, R., González-Rodríguez, H., & Corral-Rivas, J. J. 2014. Seed production and quality of *Pinus durangensis* Mart., from seed areas and a seed stand in Durango, Mexico. *Pakistan Journal of Botany*, 46(4): 1197-1202.
- Capilla Dinorín, E. 2018. Variación en indicadores reproductivos, germinación y crecimiento inicial de plántulas de poblaciones de *Pinus chiapensis*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 74 p.
- Czabator FJ. 1962. Germination index: an index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8:386-396.

- Cervantes, G. 2014. Crecimiento de Pináceas asociadas a poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez en México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 5 p.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2012. Listado de regiones terrestres prioritarias. México. [En línea]. 23 de septiembre de 2021. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html>
- De la Cuadra, Celia. 1993. Germinación, latencia y dormición de las semillas. Madrid: Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. España, 4-10.
- Dagnino, J. 2014. Comparaciones múltiples. Revista Chilena de Anestesia, 43(1):311-312.
- Diavanshir, K. and H. Pourbeik. 1976. Germination value -a new formula. Silvae Genetica 25 (2):79-83.
- Dunlap, J.R., and Barnett, J.P. 1983. Influence of seed size on germination and early development on loblolly pine (*Pinus taeda* L.) germinants. Canadian Journal of Forest Research, 13: 40–44.
- Farjon, A. 2010. A Handbook of the world's conifers. Koninklijk Brill NV, Leiden. <https://doi.org/10.1163/9789047430629>
- Frankham, R. 1998. Inbreeding and extinction: island populations. Conservation Biology 12 (3): 665-675.
- Frankham, R. 1996. Relationship of genetic variation to population size in wildlife. Conservationwildlife. Conservation Biology 10 (6): 1500-1508.
- Flores-López and M. A. Capó-Arteaga 2000. Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. Madroño 47:71
- Flores-López, C., G. Geada-López., J. López-Upton y E. López-Ramírez. 2012. Producción de Semillas e Indicadores Reproductivos en Poblaciones Naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. Revista Forestal Baracoa 31: 49–58.
- Flores-López C., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Agrociencia 39:117-126.

- Flores-López, C y Sáenz-Romero, C. 2022. Propagación, producción de planta en vivero y plantaciones de Piceas Mexicanas, pp. 153-166, en: González Elizondo, M.S. y C. Wehenkel (Primera Edición.). Las Piceas (*Picea*, Pinaceae) de México. Comisión Nacional Forestal. México. 166 p.
- Fowler, D. P., and Y. S. Park. 1983. Population studies of white spruce. I. Effects of self-pollination. Canadian Journal of Forest Research, 13: 1133-1138.
- Foley, M.E. and Fennimore, S.A. (1998). Genetic basis for seed dormancy. Seed Science Research, 8: 173–182.
- Gernandt, D. S., y Pérez-de la Rosa, J. A. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (*coníferas*) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85: 126–133.
- González-Elizondo, M.S. 2022. Taxonomía De Las Piceas Mexicanas, pp. 13-27, en: González Elizondo, M.S. y C. Wehenkel (Primera Edición.). Las Piceas (*Picea*, Pinaceae) de México. Comisión Nacional Forestal. México. 166 p.
- González-Rodríguez y J. J. Corral-Rivas. 2014. Seed production and quality of *Pinus duranguensis* Mart., from seed áreas and a seed stand in Durango, México. Pakistan Journal of Botany 46(4):1197-1202.
- Gómez Jiménez, D. M., Ramírez Herrera, C., Jasso Mata, J., & López Upton, J. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. Revista fitotecnia mexicana, 33(4), 297-304.
- Gómez-Murillo, L., González-Haro, A., Raygoza-Martinez A., Vallejo-Maldonado, G., Cruz-Orsoro, A., Martínez-Dominguez, R., Velazquez-López, A., Garcia-Alvarez, I., Raygoza-Martinez, J y Frausto-Leyva, J. 2017. Parque Nacional Cumbres de Monterrey, Programa de Manejo de Fuegos. 1ra. Edición, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México, 329 p.
- Gordon, A.G. 1981. Normas internacionales para las pruebas de germinación. In: Reunión de sobre problemas en semillas forestales tropicales Tomo 1. Publicación especial No 35. México. pp.135-146.

- Guzmán-Pozos, Areli M., Ramírez-Herrera, Carlos, Aldrete, Arnulfo, y Cruz-Cruz, Efraín. 2018. Germinación y emergencia de *Bursera linanoe* (La Llave) Rzedowski, Calderón y Medina. *Revista fitotecnia mexicana*, 41(2): 107-115. Epub 25 de septiembre de 2020.
- Gutiérrez-Pulido, H y De La Vara-Salazar, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. 2da Edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. 545 p.
- Hernández Anguiano, L. A. 2016. Variación en indicadores reproductivos, semillas y plántulas de *Pinus cembroides* Zucc y *P. orizabensis* DK Bailey & Hawksw. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 90 p.
- Herrera Hernández, R. 2022. Producción y calidad de semilla de *Pinus montezumae* Lambert de ocho poblaciones en el centro de México. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 85 p.
- ISTA 2018. International Rules for Seed Testing, International Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland. 298 p.
- ISTA.1993. Rules For Testing Seeds. *Journal of Seed Technology*, pp. 1-113
- Jiménez Gamas, J. 2004. Análisis de varianza para los modelos de efectos aleatorios (caso desbalanceado). Monografía para obtener el Diplomado. Universidad Veracruzana, Xalapa, Ver.165 p.
- Jiménez Hernández, Leticia. 2015. Indicadores Reproductivos de Conos, Semillas y Plántulas para dos Años de Colecta de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Juchipila, Zacatecas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 59 p.
- Ledig F. T., G. E. Rehfeldt, C. Sáenz-Romero and C. Flores-López. 2010. Projections of suitable habitat for rare species under global warming scenarios. *American Journal of Botany* 97:970-987.
- Ledig, F. T., M. Mápula-Larreta, B. Bermejo-Velázquez, V. Reyes-Hernández, C. Flores-López y M. A. Capó-Arteaga. 2000a. Locations of endangered spruce populations in Mexico and the demography of *Picea chihuahuana*. *Madroño* 47:71-78.
- Ledig, F. T., Bermejo-Velázquez, B., Hodgskiss, P. D., Johnson, D. R., Flores-López, C., and Jacob-Cervantes, V. 2000b. The Mating System and Genic Diversity in Martinez Spruce, an Extremely Rare Endemic of México's Sierra Madre Oriental: An Example

- of Facultative Selfing and Survival in Interglacial Refugia. *Canadian Journal Forest (CA)* 30: 1-9.
- Ledig, F. T., Jacob-Cervantes, V., Hodgskiss, P. D., y Eguiluz-Piedra, T. 1997. Recent evolution and divergence among populations of a rare mexican endemic, chihuahua spruce, following Holocene climatic warming. *Evolution*, 51(6): 1815–1827.
- Ledig, F. T., P. D. Hodgskiss, and V. Jacob-Cervantes. 2002. Genetic diversity, mating system, and conservation of a Mexican subalpine relict, *Picea mexicana* Martínez. *Conservation Genetics* 3: 113 – 122.
- López Martínez, J.I. 2018. Regeneración natural en poblaciones de *Picea martinezii* T.F. Patterson distribuidas en el noreste de México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, N.L. 97 p.
- López Calderón, Y. 2005. Producción y viabilidad de semillas de *Pinus johannis* M.-F. Robert en dos poblaciones naturales de México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 52 p.
- Mann, W. F. 1979. Relationship of seed size, number of cotyledons, and initial growth of southern pines. *Tree Planter' Notes*. USDA Southern Forest Experiment Station. Pineville, Louisiana. 3 p.
- Monterrubio, R.T. y Enkerlin H. 2004. Variación anual en la actividad de anidación y productividad de la cotorra serrana occidental (*Rhynchopsitta pachyrhyncha*). *Anales del Instituto de Biología. Serie de Zoología*. 75 (2): 341-354
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S.Park, K. H. Johnsen, and O. P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Can. J. Bot.* 78: 928-940.
- Mosseler A., O. P. Rajora, J.E. Major and K. H. Kim. 2004. Reproductive and genetic characteristics of rare, disjunct pitch pine populations at the northern limits of its range in Canada. *Conservation Genetics* 5:571-583.
- Müller-Using, B., Alanis, F. G. 1984. Nuevos registros del pinabete de Chihuahua (*Picea chihuahuana* Martínez) en Nuevo León, propuesta para la protección legal de dos áreas de especial interés ecológico, *Actas de la Reunión Regional de Ecología, Norte*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, México, 3 p.

- Osborne, J. 2002. Notes on the use of data transformations. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 8(6): 1- 7p
- Ortega-Mata, A.; Mendizábal-Hernández, L.C.; Alba-Landa, J. y Aparicio, R.A. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana* 5(2):29-34.
- Park, Y. S., and D. P. Fowler. 1984. Inbreeding in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.): self-fertility, genetic load, and performance. *Canadian Journal of Forest Research*. 14:17-21.
- Patterson, T.F. 1988. A new species of *Picea* (Pinaceae) from Nuevo León, México. *SIDA*. 13(2): 131-135.
- Pérez, C. 1997. Efecto De La Endogamia En El Vigor De Semillas y Plantas De *Pinus radiata* D. Don, En Progenies Con Diferentes Tipos De Polinización. Tesis de Licenciatura. Universidad De Concepción, Facultad De Ciencias Forestales, Departamento De Silvicultura. Concepción, Chile. 96 p.
- Rajora, O. P., and A. Mosseler. 2001. Challenges and opportunities for conservation of forest genetics resources. *Euphytica* 118:197-212.
- Ramírez-Herrera, C., Beardmore, T., & Loo, J. 2008. Overcoming dormancy of *Pinus pinceana* seeds. *Seed Science and Technology*, 36(1), 1-20.
- Remington D L, D M O'Malley. 2000. Evaluation of major genetic loci contributing to inbreeding depression for survival and early growth in a selfed family of *Pinus taeda*. *Evolution* 54:1580-1589.
- Rehfeldt, G. E. 1977. The genetic structure of a population of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*) as reflected by its wind-pollinated progenies. *Silvae Genetica* 27 (2):49-52.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 p.
- Sánchez, B. P. C. 2015. Éxito reproductivo y comportamiento de caracteres cuantitativos en dos especies de pino endémicas de México: *Pinus rzedowskii* Madrigal Et Caballero y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 88 p.

- SEMARNAT. 2010. NORMA Oficial Mexicana (NOM-059- SEMARNAT-2010). Protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Jueves, 30 de diciembre del 2010. 77 p. Disponible en. <https://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010#:~:text=Norma%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D059%2DSEMARNAT%2D2010%2C%20Protecci%C3%B3n,Lista%20de%20especies%20en%20riesgo.>
- Sierra, A. 2005. Viabilidad de Semillas de *Picea mexicana* Martínez y su Relación con Indicadores Reproductivos. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, UAAAN. Saltillo, Coahuila, México. 74 p.
- Sorensen, F. C., and R. K. Campbell. 1993. Seed weight-seedling size correlation in coastal *Douglas-fir*: genetic and environmental components. Canadian Journal of Forest Research, 23: 275-285.
- Sorensen, F. C., and R. S. Miles. 1974. Self-pollination on *Douglas-fir* and *Ponderosa pine* seeds and seedlings. Silvae Genet. 23 (5): 135-165.
- Takeuchi, Y., K. Satoshi and Diway. 2020: Albinism and inbreeding depression in a seedling of the tropical tree, *Shorea laxa*. Journal of Forest Research 25 (6): 413-419.
- Tinus, W.R. y S.E. McDonald. 1979. How to grow tree seedling in containers in greenhouses. General Technical Report RM-60. USDA Forest Service. 256 p.
- Villamil, J. M. P., y García, F. P. 1998. Germinación de semillas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Valdez, T.V., R. Foroughbakhch P., y G. Alanís F. 2003. Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México. En ciencia UANL/ Vol. VI No. 3 Julio-septiembre 2003. p360-365.
- Wang, T; Hagquist, R; Tigerstedt, P. 1996. Growth performance of hybrid families by crossing selfed lines of *Betula Pendula* Roth. In Theoretical and Applied Genetics 92 (3-4): 471-476.
- Wehenkel, C., and Sáenz-Romero, C. 2012. Estimating genetic erosion using the example of *Picea chihuahuana* Martínez. Tree Genetics & Genomes, 8(5): 1085–1094.

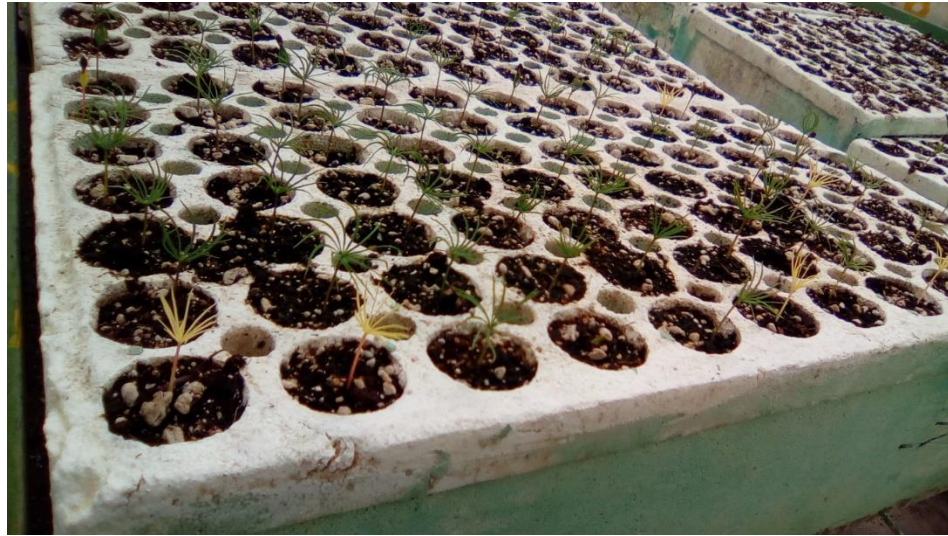
- Wehenkel, C., González-Elizondo, M.S., Mendoza-Maya, E., Hernández-Díaz, J. C y Quiñones- Pérez, C. Z. 2022a. Distribución, ecología y estado de conservación de Las Piceas Mexicanas, pp. 28- 55, en: González Elizondo, M.S. y C. Wehenkel (Primera Edición.). Las Piceas (*Picea*, Pinaceae) de México. Comisión Nacional Forestal. México. 166 p.
- Wehenkel, C., Mendoza-Maya, E y Hernández-Díaz, J. C. 2022b. Censo, estructura demográfica y diversidad arbórea de dos Especies de *Picea*, pp. 95-108, en: González Elizondo, M.S. y C. Wehenkel (Primera Edición.). Las Piceas (*Picea*, Pinaceae) de México. Comisión Nacional Forestal. México. 166 p.
- Wilcox, M.D. 1982. Inbreeding depression and genetic variances estimated from self and cross-pollinated families of *Pinus radiata*. *Silvae Genetica* 32(3-4):89-96.

APÉNDICE

Apéndice 1. Árbol adulto colectado de *Picea martinezii* en la Localidad La Encantada, General Zaragoza, Nuevo León.



Apéndice 2. Emergencia de plántulas anormales (albinas).



Apéndice 3. Emergencia de semilla con poliembrionía.



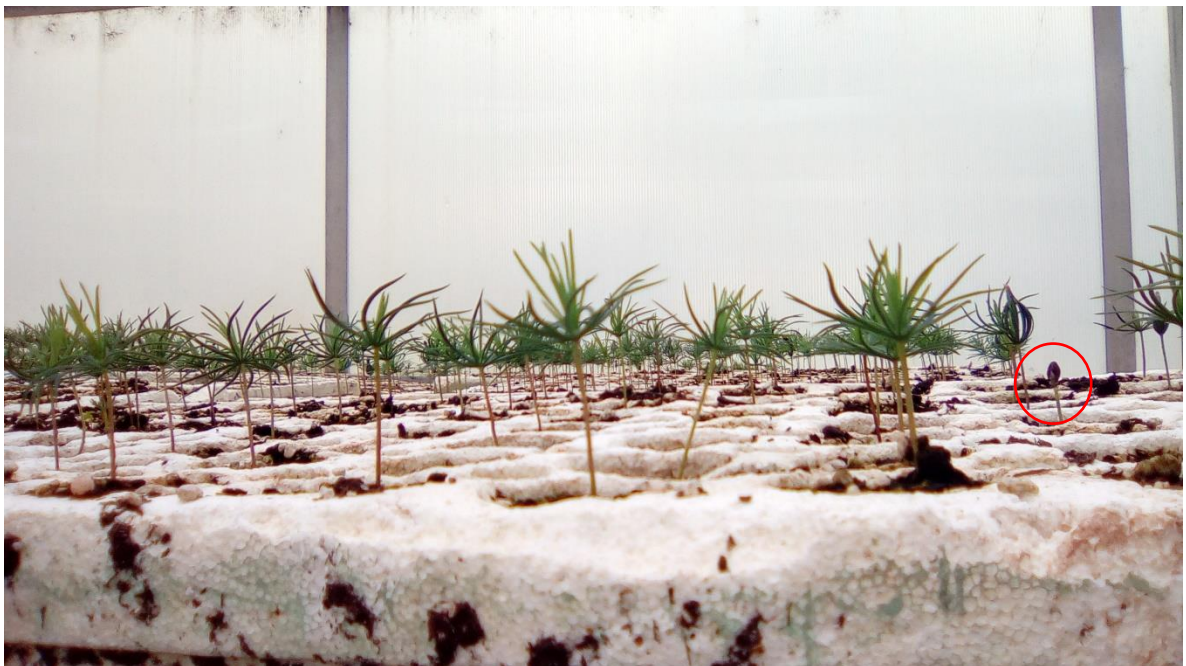
Apéndice 4. Plántula anormal, malformada con epicótilo torcido.



Apéndice 5. Plantas anormales con hojas cotiledónales abrazados por la testa y el endospermo.



Apéndice 6. Plántulas anormales con emergencia retrasada y achaparrada.



Apéndice 7. Emergencia de plántulas en etapa de cerillo con buen desarrollo.



Apéndice 8. Plántula anormal enana sin desarrollo de yema apical.



Apéndice 9. Plantas con el endospermo impidiendo el desarrollo de la yema apical.



Apéndice 10. Plántula sin desarrollo de yema apical, achaparradas y con presencia de testa tres meses después de la siembra.

