



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS Y FORESTALES



**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN
AGROPECUARIA**

**Caracterización de seis procedencias de *Pinus
pseudostrobus* Lindl: análisis morfológico, de
germinación y desarrollo en condiciones de
vivero y jardín común**

TESIS

**que como requisito para obtener el título profesional de
Maestro en Producción Agropecuaria con
opción terminal en el área Forestal**

Presenta

Ing. Daniel Madrigal González

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Nahum Modesto Sánchez Vargas

CO-DIRECTORA

Dra. Selene Ramos Ortiz

Morelia, Michoacán, a abril 2025

Dedicatoria

A mis padres porque a pesar de no haber tenido la oportunidad de estudiar, siempre procuraron que yo tuviera acceso a la educación

Agradecimientos

A toda mi familia por su apoyo incondicional, su cariño y por no perder su fe en mí.

Agradezco al Dr. Nahum M. Sánchez Vargas, por haberme aceptado como su alumno y darme la oportunidad de entrar al programa de maestría, por sus observaciones y el tiempo invertido en mi proyecto de investigación. A mi Co-directora la Dra. Selene Ramos Ortiz por todo el apoyo para que mi paso por este programa fuera de la mejor manera posible, así como, por todas sus retroalimentaciones que enriquecieron mi trabajo de investigación. Al Dr. Alejandro Martínez Palacios, por prestarme su equipo de laboratorio para realizar parte de mi investigación y por ser parte de mi comité. A la Dra. María Dolores Uribe Salas, por escucharme cuando lo necesitaba, por todos y cada uno de sus consejos que fueron fundamentales para que yo pudiera seguir adelante. Un agradecimiento muy especial a la Dra. Mariela Gómez Romero, por acogerme en su laboratorio, por enseñarme y ayudarme tanto, por su amabilidad y confianza, también por todo lo que hizo por mí cuando me sentía a la deriva.

A las Dras. María Luisa España Boquera y Nuria Gómez Dorantes por toda la ayuda recibida de su parte.

A la M.C Patricia Silva Sáenz por recibirme en su laboratorio y ayudarme a realizar parte de mi investigación.

Al vivero de COFOM por permitirme montar mi experimento.

A SECIHTI por la beca otorgada para realizar mis estudios de posgrado.

Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IIAF), por la oportunidad de ser parte del alumnado y poder formarme como Maestro en Producción Agrícola.

A mis compañeras de generación Erika Marlene Mata López y Diana Ponce de León, gracias por todo el apoyo a mi persona, por toda esa unidad que nos caracterizó como grupo, ustedes lograron que esta travesía fuera más amena.

Al Dr. Oscar Javier Carranza Plancarte por toda la ayuda recibida, a lo largo de mis estudios de maestría y en la tramitología de titulación.

A la Dra. Brenda Yudith Bedolla García a su mamá la señora Edith García por toda la ayuda recibida de su parte y por estar al pendiente de mí.

Karina Espinosa Mónico y Abril López Cárdenas por estar conmigo de principio a fin.

Esta tesis es un producto del Proyecto 277784: “Establecimiento de huertos semilleros regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrobus* para la evaluación genética de los progenitores” financiado por el extinto Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACyT).

Tabla de contenido

Resumen general	1
Abstract	2
Introducción general	3
1. Antecedentes generales.....	6
1.2 Clasificación taxonómica de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.....	6
2. Descripción botánica de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl.....	6
3. Distribución de la especie en Mexico	7
3.1. Distribución de <i>Pinus pseudostrobus</i> en México	7
3.2. Importancia de la especie	7
3.3. Problemas taxonómicos de la especie	7
3.4. Ensayos de procedencias	8
3.5. Estudios y análisis de especies forestales en jardín común	10
4. Descripción de las procedencias estudiadas.....	10
4.1. Material genético.....	11
5. Caracterización de tipo de clima suelo y vegetación	12
6. Hipótesis.....	20
7. Objetivos	21
7.1 Objetivo General.....	21
7.2 Objetivos Específicos	21
Bibliografía general	21
Capítulo 1	25
Caracteres morfométricos y germinación de semillas entre procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i>	25
Abstract	26
Introducción.....	27
Materiales y métodos	29
Resultados	30
Discusión.....	35
Conclusiones	37
Bibliografía.....	38
Capítulo 2	42

Evaluación en vivero de un ensayo de cinco procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i>	42
Nursery evaluation of a five-provenance of <i>Pinus pseudostrobus</i>	42
Resumen	42
Introducción	44
Materiales y métodos	46
Resultados	47
Discusión	55
Conclusiones	57
Bibliografía	58
Capítulo 3	61
Caracterización morfológica de cuatro procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> bajo estudio en jardín común	61
Resumen	61
Abstract	62
Introducción	63
Materiales y métodos	64
Resultados	64
Discusión	72
Conclusiones	73
Bibliografía	74
Capítulo 4	76
Anatomía de acículas de cuatro procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecidas en condiciones de jardín común	76
Anatomy of needles from four provenances of <i>Pinus pseudostrobus</i> established under common garden conditions	76
Resumen	76
Abstract	77
Introducción	78
Materiales y métodos	79
Resultados	80
Discusión	86
Bibliografía	87
Conclusiones generales	90

Índice de tablas

Capítulo 1. Caracteres morfométricos y germinación de semillas entre procedencias de *Pinus pseudostrobus*.

Capítulo 2. Evaluación en vivero de un ensayo de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus*

Tabla 1. Localización geográfica y caracterización de tipo de clima, suelo y vegetación para las procedencias de estudio de <i>Pinus pseudostrobus</i>	46
Tabla 2. Estadísticas descriptivas para número de hojas cotiledonares (NHC) en un ensayo de procedencias establecido en vivero en Morelia, Michoacán.....	47
Tabla 3. Estadísticas descriptivas para largo de hojas cotiledonares (LHC) en un ensayo de procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecido en vivero en Morelia Michoacán.....	47
Tabla 4. Análisis de varianza mensual para altura de planta (AP) en un ensayo de procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecido en vivero en Morelia, Michoacán.....	48
Tabla 5. Valores promedio para altura por procedencia de <i>Pinus pseudostrobus</i> en un ensayo establecido en vivero en Morelia, Michoacán.....	49
Tabla 6. Análisis de varianza mensual para DP en un ensayo de procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecido en vivero en Morelia, Michoacán.....	51
Tabla 7. Valores promedio para diámetro por procedencia de <i>P. pseudostrobus</i> en un ensayo establecido en vivero en Morelia, Michoacán.....	52
Capítulo 4. Anatomía de acículas de cuatro procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecidas en condiciones de jardín común	
Tabla 1. Origen del material utilizado.....	79
Tabla 2. Análisis de varianza por procedencia para NCR, NHE y PD.....	80
Tabla 3. Análisis de varianza por procedencia para NCR, NHE, PD.....	82
Tabla 4. NCR entre familias de <i>P. pseudostrobus</i>	82
Tabla 5. NHE entre familias de <i>P. pseudostrobus</i>	83
Tabla 6. PD entre familias de <i>P. pseudostrobus</i>	84

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de las zonas de estudio correspondientes a los estados de Estado de México, Jalisco, Michoacán y Veracruz.....	11
Figura 2. Tipo de suelo en la procedencia uno. Amecameca, Estado de México...	13
Figura 3. Tipo de vegetación procedencia uno Amecameca, estado de México....	13
Figura 4. Tipo de clima procedencia uno Amecameca, Estado de México.....	14
Figura 5. Tipo de suelo procedencia dos Sta Ana Jerahuario, Mpio. Zinapécuaro, Michoacán.....	15
Figura 6. Tipo de vegetación procedencia dos Sta Ana Jerahuario, Zinapécuaro, Michoacán.....	15
Figura 7. Tipo de clima procedencia dos Sta Ana Jerahuario, Mpio. Zinapécuaro, Michoacán.....	16
Figura 8. Tipo de suelo procedencia tres El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jal..	17
Figura 9. Tipo de vegetación procedencia tres El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco.....	17
Figura 10. Tipo de clima procedencia tres El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco.....	18
Figura 11. Tipo de suelo procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.....	19
Figura 12. Tipo de vegetación procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.....	19
Figura 13. Tipo de clima procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.....	20
Capítulo 1. Caracteres morfométricos y germinación de semillas entre procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i>.	
Figura 1. Índice de semilla (IS) en mm por procedencia de <i>Pinus pseudostrobus</i> ..	32
Figura 2. Porcentaje de germinación por procedencia de <i>Pinus pseudostrobus</i>	32
Figura 3. Velocidad de germinación en días de <i>Pinus pseudostrobus</i>	33
Figura 4. Germinación acumulada en días para las procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i>	34
Capítulo 2. Evaluación en vivero de un ensayo de cinco procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i>.	
Figura 1. Altura de planta a un año después de la siembra en un ensayo de procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> establecido en vivero en Morelia.....	50

Figura 2. Trayectoria de crecimiento de planta en altura de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidos en vivero.....51

Figura 3. Diámetro del tallo de planta a un año después de la siembra en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero.....53

Figura 4. Trayectoria de crecimiento en diámetro del tallo de planta en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero.....54

Figura 5. Mortalidad acumulada en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero.....54

Figura 6. Supervivencia en porcentaje en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero.....55

Capítulo 3. Caracterización morfológica de cuatro procedencias de *Pinus pseudostrobus* bajo estudio en jardín común.

Figura 1. Altura de planta en cm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* en jardín común.....65

Figura 2. Diámetro a la base del tallo de planta en mm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....66

Figura 3. Número de acículas por fascículo en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus*: establecido en jardín común.....66

Figura 4. Largo de acículas en cm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....67

Figura 5. Largo de vaina en mm, por procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....68

Figura 6. Altura de planta en cm, por familia, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....69

Figura 7. Diámetro del tallo de planta en mm por familia, en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....79

Figura 8. Número de acículas por fascículo de familias en un ensayo de procedencias de *Pinus. Pseudostrobus.* establecido en jardín común.....70

Figura 9. Largo de vainas (mm) por familia en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....71

Figura 10. Largo de acículas (cm) por familia en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....72

Capítulo 4. Anatomía de acículas de cuatro procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en condiciones de jardín común

Figura 1. Número de hileras de estomas (NHE), en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....81

Figura 2. Pares de dientes (PD), en un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común.....81

Resumen general

Esta investigación analiza características de *Pinus pseudostrobus* Lindl., una especie dominante en los ecosistemas forestales mexicanos. El estudio evaluó diferentes procedencias, revelando diferencias significativas ($P < 0.001$) en características macroscópicas y germinación. Las semillas de la procedencia 4, La Gloria, Perote, Veracruz (P4), destacaron en dimensiones físicas (LS=6.29 mm), (AS=4.04 mm), (GS=2.63 mm), mientras que Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6), sobresalió en peso (PS=0.031g). Los porcentajes de germinación variaron entre 0% y 71%, con Amecameca, Estado de México (P1) mostrando la mayor tasa, mientras El Floripondio, Jalisco (P3) no presentó germinación.

En desarrollo vegetativo, se observaron diferencias significativas en altura ($P < 0.001$) y diámetro ($P < 0.007$). Las procedencias de Santa Ana Jeráhuaro, Michoacán (P2) y Amecameca (P1) mostraron el mejor crecimiento (20.6 y 19.2 cm). El análisis en jardín común reveló diferencias significativas ($P < 0.0001$) en características morfológicas, donde La Gloria, Perote, Veracruz (P3) destacó en diámetro (18 cm), altura (160.8 cm) y número de acículas (4.9), mientras Teococuilco Oaxaca (P2) sobresalió en largo de acículas (20.7 cm).

Los estudios microscópicos mostraron diferencias significativas ($P < 0.0001$) en hileras de estomas y pares de dientes. Las plantas de la procedencia Teococuilco Oaxaca (P2) presentaron los mayores promedios en hileras de estomas, mientras las de la Universidad Veracruzana (P3) destacaron en pares de dientes. A nivel familiar se trabajó con 35 familias, las familias F19, F25, F26 y F27 sobresalieron en canales resiníferos, F3 y F10 en hileras de estomas, y F8 en pares de dientes. El análisis de componentes mostró que la mayor aportación a la variación fueron los pares de dientes (61.5 %). Finalmente, esta investigación proporciona información crucial para el manejo sostenible y mejoramiento genético de *P. pseudostrobus* en México, demostrando la importancia de considerar la procedencia en programas de reforestación y conservación como criterios para la producción de las plantas de la especie.

Palabras clave: adaptación, germinación, lotes de semillas, Pino, vivero.

Abstract

This research thoroughly analyzes the characteristics of *Pinus pseudostrobus* Lindl., a crucial species in Mexican forest ecosystems. The study evaluated various provenances, revealing significant differences ($P < 0.001$) in macroscopic characteristics and germination rates. Seeds from provenance 4, La Gloria, Perote, Veracruz (P4), excelled in physical dimensions (LS=6.29 mm), (AS=4.04 mm), and (GS=2.63 mm), while Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6), was notable for its weight (PS=0.031 g). Germination percentages varied from 0% to 71%, with Amecameca, State of Mexico (P1) displaying the highest rate, while El Floripondio, Jalisco (P3) did not germinate. Significant differences were noted in vegetative development, particularly in height ($P < 0.001$) and diameter ($P < 0.007$). The provenances from Santa Ana Jeráhuaro, Michoacán (P2), and Amecameca (P1) exhibited the best growth, measuring 20.6 cm and 19.2 cm, respectively. Analysis conducted in the common garden revealed significant differences ($P < 0.0001$) in morphological characteristics, with La Gloria, Perote, Veracruz (P3) excelling in diameter (18 cm), height (160.8 cm), and number of needles (4.9), while Teococuilco, Oaxaca (P2) was noted for its needle length (20.7 cm).

Microscopic studies showed significant differences ($P < 0.0001$) in stomatal rows and tooth pairs. Plants from the Teococuilco, Oaxaca, provenance (P2) had the highest averages for stomatal rows, while those from the Universidad Veracruzana (P3) excelled in tooth pairs. At the family level, 35 families were studied; families F19, F25, F26, and F27 excelled in resin canals, F3 and F10 in stomatal rows, and F8 in tooth pairs. Component analysis showed that tooth pairs contributed the most to variation (61.5%). Finally, this research provides crucial information for the sustainable management and genetic improvement of *P. pseudostrobus* in Mexico, demonstrating the importance of considering provenance in reforestation and conservation programs as a criterion for plant production of this species.

Keywords: adaptation, germination, nursery, Pine, seed lots.

Introducción general

México es uno de los países con mayor diversidad en el mundo, desde el punto de vista biológico; su compleja fisiografía e historia geológica y climática que permiten la existencia de una gran variedad de climas, le han dado altos niveles de biodiversidad en plantas y formas de vida de las mismas. En particular, las gimnospermas, son plantas espermatofitas con óvulos desnudos, es decir, no encerrados en un carpelo, como en las angiospermas (Tomlison y Takason, 2002), a nivel nacional están representadas por alrededor de 156 especies nativas pertenecientes a las familias Cupressaceae, Ephedraceae, Pinaceae, Podocarpaceae, Taxaceae y Zamiaceae (Villanueva-Almanza y Fonseca, 2011). La familia Pinaceae es la más grande, de acuerdo con Farjon y Filer (2013); está representada por cuatro géneros que crecen de manera natural: *Pinus*, *Picea*, *Abies* y *Pseudotsuga*.

Los ecosistemas forestales conformados por el género *Pinus* tienen gran importancia social, ambiental y económica, con una importante contribución al producto interno bruto del país (PIB). Se estima que en México alrededor de 5.3 millones de personas viven y dependen de los recursos que los bosques proporcionaban. Desde el punto de vista ecológico los ecosistemas forestales son primordiales en el ciclo del agua, contribuyen a la fijación de nitrógeno, proporcionan refugio y alimento a la fauna y sirven de soporte para otras especies vegetales (Ordoñez y De-Jong, 2001). Por todo ello, estos ecosistemas han sido catalogados como una de las soluciones ante el cambio climático (Ordoñez y De-Jong, 2001).

El género *Pinus* es originario del hemisferio norte; en el continente de América se distribuye de manera natural desde Canadá hasta el sur de Nicaragua, México cuenta con casi la mitad de los pinos del mundo (Jaquish, 1997); la mayor diversidad del género se encuentra en la Sierra Madre Oriental y Occidental (Gernandt, y Pérez-de la Rosa, 2014). En el territorio nacional se localizan alrededor de 46 especies de pinos, con diversas variedades y formas (Perry *et al.*, 1991). *Pinus pseudostrobus* es una de estas especies, de gran importancia ecológica y económica, tanto por la amplitud de su distribución natural (desde el noroeste de México hasta el sur de Guatemala y Honduras entre los 26° a 14° de latitud norte) (Stead, 1983; Farjon y Styles, 1997), como por su velocidad de crecimiento, calidad de la madera y posibilidades de utilización en plantaciones comerciales (Eguiluz, 1985; Sáenz-Reyes

et al., 2011). La taxonomía de esta especie ha sido controversial. Actualmente se reconocen cuatro variedades: *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*, *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*, *P. pseudostrobus* var. *coatepencensis*, y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*; sin embargo, se requieren estudios que amplíen el conocimiento en cuanto a sus características morfológicas y de desarrollo.

A pesar de los esfuerzos que se han realizado a través de diferentes estudios, todavía no existe una definición clara de los límites taxonómicos de la especie, ni de la magnitud y estructura geográfica de su variación intra-específica, en las diferentes variedades aceptadas dentro de ella (Stead, 1983; Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997).

Por lo tanto, en el presente trabajo se evalúan características de las semillas, germinación y crecimiento inicial en vivero de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus* que involucran distintas variedades; se evalúa el crecimiento durante dos años en condiciones de vivero, características taxonómicas y de crecimiento cuando son establecidos en condiciones de jardín común, que puedan aportar conocimientos sobre los caracteres adaptativos de la especie que le permitan crecer en ambientes distintos al de su lugar de procedencia, así como su potencial producción operativa en vivero y el posible establecimiento de plantaciones comerciales. Por lo que la información se organizó en cuatro capítulos.

En el primer capítulo, se evalúan las características macroscópicas y de germinación de las seis procedencias de *P. pseudostrobus*. Se destaca la importancia de la recolección de semillas de diferentes zonas geográficas, ya que cada grupo de semillas proviene de condiciones ecológicas distintas. Este enfoque permite identificar fuentes superiores de semillas que pueden ser más adecuadas para diferentes tipos de plantaciones. En este sentido, la germinación es un proceso crítico que influye en el éxito de la reforestación y la producción en vivero y se analizan factores como la temperatura, la humedad y el tipo de sustrato que afectan este proceso.

El segundo capítulo se enfoca en un ensayo de procedencias, donde se evalúa el crecimiento de las plantas en altura y diámetro del tallo en condiciones de vivero. Este análisis es fundamental para entender cómo las diferentes procedencias se adaptan a un entorno relativamente controlado, lejos de sus lugares de origen, y cuáles son las procedencias más prometedoras para la producción comercial. Se presentan los métodos experimentales utilizados para medir el crecimiento y se discuten los resultados que indican variaciones significativas entre las procedencias, lo que

sugiere que el origen geográfico de las semillas, tiene un impacto directo en el desarrollo de las plantas.

En el tercer capítulo, se describen y analizan las características morfológicas de cuatro procedencias de *P. pseudostrobus* en condiciones de jardín común. Este análisis morfológico es esencial para la identificación taxonómica y para comprender cómo las plantas se comportan en un entorno menos controlado. Estos rasgos no solo son importantes para la identificación de la especie, sino que también proporcionan información sobre su adaptación a diferentes condiciones ambientales.

En el cuarto capítulo se analiza la anatomía de acículas de *P. pseudostrobus*, tomando en cuenta la evaluación de las variables número de canales resiníferos, hileras de estomas y pares de dientes.

1. Antecedentes generales

1.1. El complejo *Pseudostrobus*

Pinus pseudostrobus es una especie muy variable cuenta con dos taxa infra específicos *P. pseudostrobus* subsp. *apulcensis* (Lind.) Stead y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov), sin embargo, dentro del complejo de *Pinus pseudostrobus* existen tres especies bien definidas *P. pseudostrobus* Lind., *P. maximinoi* H.E. Moore (el nombre correcto de *P. tenuifolia* Benth.) y *P. douglasiana* Martinez (Stead, 1983).

1.2 Clasificación taxonómica de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Equisetopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus pseudostrobus*

2. Descripción botánica de *P. pseudostrobus* Lindl.

Árboles de 8 m a 25 m de alto, presentan copa redondeada, con ramas espaciadas, la corteza es de color pardo-rojiza o grisácea y en ocasiones verrucosa, presenta resina, es escamosa en las ramas superiores y ramas secundarias y generalmente es exfoliante. Las hojas son rígidas y erectas, en fascículos de 5 a 6 hojas, de 12 cm a 18 cm de largo y de 0.8 mm a 1.5 mm de ancho, presentan márgenes aserrados, el número de líneas estomáticas es de 9 a 12, aunque puede presentar 7, las líneas estomáticas son longitudinales y son visibles en la superficie dorsal de las hojas, las vainas de los fascículos miden de 4 mm a 15 mm de longitud, y presenta bandas a manera de pelos que se hacen más evidentes con la edad. Los microstróbilos o estróbilos masculinos son ovoides, se encuentran agrupados, en posición subterminal y axilar, son de color pardo-claro y amarillos opacos, son de forma ovoide, miden de

2 mm a 8 mm de largo y hasta 6 mm de ancho; los megastróbilos o estróbilos femeninos o conos se encuentran en grupos de 2 a 3 conos, aunque en ocasiones se ven solitarios, pueden persistir de 1 a 2 años, son sésiles, presentan pedúnculo que puede ser corto, son de color pardo-oscuro o grisáceos, la forma de los conos puede ser ovoide u ovoide-cónica, miden de 3 cm a 6 cm de largo y de 2 cm a 3.5 cm de ancho, presentan la base redondeada y algunas veces truncada, las escamas ovulíferas miden entre 8 mm y 18 mm de largo y entre 6 mm y 10 mm de ancho, el umbo dorsal de las escamas es más o menos aplanado y presentan una espina corta, generalmente frágil y mucronada; las semillas son aladas, de forma angulada, miden 4 mm de largo y de 2 mm a 3 mm de ancho, el ala mide de 12 mm a 16 mm de largo (Narave y Taylor, 1997).

3. Distribución de la especie en Mexico

3.1. Distribución de *Pinus pseudostrobus* en México

En México, las especies del género *Pinus* habitan en las zonas de clima templado y frío, con presencia en 24 estados de la república. *P. pseudostrobus* se encuentra entre los paralelos 15° a 29° de latitud norte y los meridianos 92° a 108° de longitud oeste, incluyendo la Sierra Madre Oriental, Cinturón Volcánico Transmexicano, la Sierra Madre del Sur, la Sierra Madre de Chiapas y parte de la Sierra Madre Occidental (Eguiluz, 1985).

3.2. Importancia de la especie

Pinus pseudostrobus es una de las especies del género *Pinus* con mayor importancia ecológica y económica en México. Ecológicamente es importante porque a menudo es dominante en la vegetación de los bosques templados, con gran influencia en los procesos funcionales del ecosistema. La importancia económica de la especie está asociada a su velocidad de crecimiento en edades tempranas, productividad, calidad de fuste y de la madera, así como a la amplitud del rango de adaptabilidad ambiental (Eguiluz, 1985). Estas características la convierten en una especie con un amplio potencial de uso para aumentar la calidad ambiental.

3.3. Problemas taxonómicos de la especie

La taxonomía de esta especie ha sido controversial, con visiones diferentes presentadas en dos monografías que abordan el problema: Stead (1983) menciona que *P. pseudostrobus* es muy variable y tiene dos taxa infra-específicas: *P. pseudostrobus* subespecie *acapulcensis* (Lindl.) Stead y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov). Perry (1991) y de Farjon y Styles (1997). El problema de clasificación taxonómica de la especie radica en definir las variedades y las formas que puede llegar a presentar una especie tan diversa. Actualmente las variedades más aceptadas son *apulcensis* y *pseudostrobus*; sin embargo, muchos siguen aceptando a las variedades *oaxacana* (Aragón *et al.*, 2020) y *coatepencensis* (Viveros-Viveros *et al.*, 2006).

3.4. Ensayos de procedencias

En el presente trabajo, el término procedencia se utilizará para designar la localización geográfica de una población y ensayo de procedencias, como el estudio en que se evalúa el crecimiento de diferentes poblaciones en un mismo sitio, bajo un diseño experimental.

El origen geográfico de la semilla ejerce un control genético sobre los caracteres de comportamiento de las plantas, por lo cual, su selección es una herramienta útil para lograr una buena adaptación de la especie al medio (Fontana *et al.*, 2018).

Una caracterización es la determinación de un conjunto de caracteres que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas. Algunos caracteres pueden ser altamente heredables, fácilmente observables y expresables en la misma forma en cualquier ambiente, mientras que otros caracteres pueden ser resultado de condiciones ambientales adaptativas o, en todo caso, aparecer después de generaciones (López *et al.*, 2008).

Se han realizado distintos estudios sobre procedencias en diversas especies, tanto en plantaciones ya establecidas, como en vivero:

Hernández (1995) analizó 72 progenies de polinización libre de 10 procedencias naturales *P. engelmannii* de los estados de Durango y Chihuahua en condiciones de invernadero. Las variables evaluadas fueron: velocidad de emergencia y porcentaje de sobrevivencia de las plantas además número de cotiledones y longitud. Encontró diferencias significativas entre poblaciones y dentro de ellas.

García *et al.* (2001), evaluaron un ensayo de procedencias en vivero de *P. teocote* con el objetivo de determinar la existencia de diferencias entre y dentro de tres procedencias, distribuidas en un diseño completamente al azar, en relación con el porcentaje de germinación de semilla, número y longitud de cotiledones, crecimiento en altura y diámetro de la planta. En germinación se concluyó que las procedencias con menor perturbación ecológica tuvieron un mayor porcentaje de germinación respecto a las perturbadas por asentamientos humanos; en altura y diámetro de la planta las diferencias entre las procedencias aumentaron con el tiempo.

Velasco-Velasco *et al.* (2012), analizaron 13 procedencias de *P. greggii* en dos plantaciones de siete años de edad establecidas en el estado de Oaxaca. Las variables evaluadas fueron: altura, diámetro de base, diámetro basal y número de verticilos. Se encontraron diferencias de crecimiento de los árboles entre las dos plantaciones, lo que demuestra que es de gran importancia hacer pruebas de procedencias para establecer plantaciones forestales. Los árboles presentaron también variaciones significativas de tamaño, siete años después de establecidas las plantaciones.

Villegas-Jiménez *et al.* (2016), analizaron la variación en crecimiento de procedencias de *P. pseudostrobus* en crecimiento inicial en vivero con base en la variación de progenies de 38 árboles sobresalientes, procedentes de rodales naturales de la Sierra Norte de Oaxaca, México. Se evaluó la sobrevivencia, se estimaron diámetro y altura de la planta, se tomaron cuatro lecturas de número de braquiblastos y se calculó la tasa de crecimiento relativo por altura de planta. Con un análisis de varianza y comparación de medias, se determinaron diferencias significativas entre procedencias. Del total de procedencias, cuatro mostraron una alta tasa de crecimiento.

Chicaiza (2019) estudió seis procedencias de *P. patula* en Ecuador, con el objetivo de evaluar el estado de adaptación de la especie a condiciones ambientales y topográficas de la provincia de Imbabura, a través de ensayos de germinación. Analizó la calidad de semilla por medio de pruebas de germinación para seleccionar las procedencias que generen mejor calidad de planta en vivero. Los análisis estadísticos para las variables dasométricas diámetro basal y altura total, no presentaron diferencias estadísticas.

Fontana *et al.* (2018), analizaron el efecto de tres procedencias del género *Prosopis*, (familia Fabaceae) sobre las variables morfológicas en parámetros de

calidad en *P. alba* provenientes de tres áreas geográficas. En planta de vivero se midió diámetro del tallo y altura total de la planta, así como longitud y volumen de raíz. El efecto de la procedencia resultó significativo para la mayoría de las variables morfológicas medidas, que fueron: diámetro del tallo, altura total de la planta, así como longitud y volumen de raíz. Fontana *et al.* (2020), analizaron el efecto de la procedencia sobre el comportamiento productivo de plantas de *Prosopis alba* en plantación, de tres procedencias. Se establecieron ensayos en dos localidades; las variables medidas fueron: altura total, diámetro a la altura del cuello, volumen de árbol en pie e incremento corriente anual. No se encontró efecto del origen geográfico de las plantas sobre la sobrevivencia.

Cano *et al.* (2021), evaluaron la producción de planta de mezquite (*Prosopis* sp.) de cuatro procedencias, usando cuatro especies: *Prosopis* sp. (Torreón, Coahuila, México), *P. juliflora* (Kenya, África), *P. glandulosa* (Sonora, México) y *P. laevigata* (Durango, México). Los objetivos fueron producir planta, evaluar la calidad y determinar cuál tiene la mejor respuesta en condiciones de invernadero, dándoles a las semillas el mismo tratamiento. Se usaron dos tratamientos donde la especie *P. laevigata* dominó en el porcentaje de germinación, con el 84.28 % en el tratamiento 1 y el 88.77 % en el tratamiento 2.

3.5. Estudios y análisis de especies forestales en jardín común

Los estudios en jardín común son útiles para analizar los caracteres adaptativos y el potencial de adaptación de las especies, debido a su expresión temprana y a que estos jardines presentan las mismas condiciones que el campo, pero reducen la variación que podrían causar factores como el clima y el suelo, entre otros (Cambrón-Sandoval *et al.*, 2013).

Trocha *et al.* (2012), analizaron comunidades de hongos ectomicorrízicos de especies nativas y no nativas de *Pinus* y *Quercus* en un jardín común de árboles de 35 años; así mismo, Sun *et al.* (2020), estudiaron la variación genética relacionada con la adaptación a grandes elevaciones en experimentos de jardín común de *P. yunnanensis*.

4. Descripción de las procedencias estudiadas

4.1. Material genético

Se contó con germoplasma de seis procedencias distintas, tres de *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*, dos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* y una de *P. pseudostrobus* var. *coatepecensis* (Figura, 1; Tabla, 1).

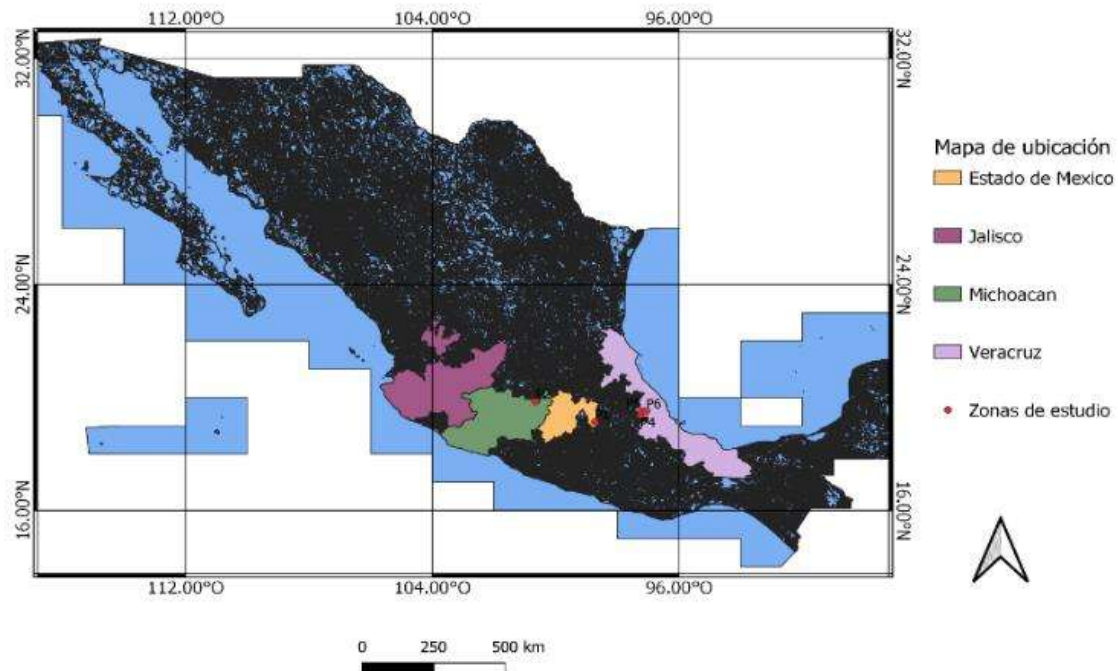


Figura 1. Mapa de ubicación de las zonas de estudio de *Pinus pseudostrobus* Lindl. correspondientes a los estados de Estado de México, Jalisco, Michoacán y Veracruz.

Tabla 1. Ubicación de origen de las variedades de *Pinus pseudostrobus* utilizadas en el estudio.

Procedencia	Origen	Taxón	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)
1	Amecameca, Estado de México.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19° 8'3.00"N 98°43'26.21"O	2740
2	Sta Ana Jerahuario, Mpio. Zinapécuaro, Mich.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°50'59.16"N 100°39'2.30"O	2780
3	El Floripondio, Mpio. Zapotlán, Jal.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°37'19.96"N 103°37'0.56"O	2730
4	La Gloria, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°22'56.20"N 97°15'0.08"O	2700
5	Francisco I Madero, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°31'37.62"N 97°13'39.75"O	2750

6	Mesa del laurel, Mpio. Coatepec, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>coatepecensis</i>	19°30'51.64"N 97° 3'53.96"O	2720
---	--	--	--------------------------------	------

5. Caracterización de tipo de clima suelo y vegetación

1) Procedencia uno

Descripción de la zona de estudio

El municipio de Amecameca pertenece al Estado de México y se ubica en el Cinturón Volcánico Transmexicano, entre los paralelos 20° 06' de latitud norte y los 99° 50' de longitud oeste.

Hidrología

Cuenta con ríos como el Alcala, Amecameca, Tomacoco y Tlalmanalco; arroyos Chopanac, Almoloya, Coronilla, Amilpulco, de La Ciénega y de Alcalican, y cuencas hidrológicas que llegan hasta el estado de Puebla provenientes del volcán Iztaccíhuatl.

Tipo de Suelo

El tipo de suelo presente en esta zona es cambisol. Estos suelos se caracterizan por ser jóvenes y poco desarrollados; se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima, con excepción de zonas áridas. Se puede apreciar a simple vista diferencia en color y textura entre el subsuelo y la capa superficial (Figura, 2), que puede ser oscura, con más de 25 cm de espesor y en ocasiones no existe (INEGI, 2002).

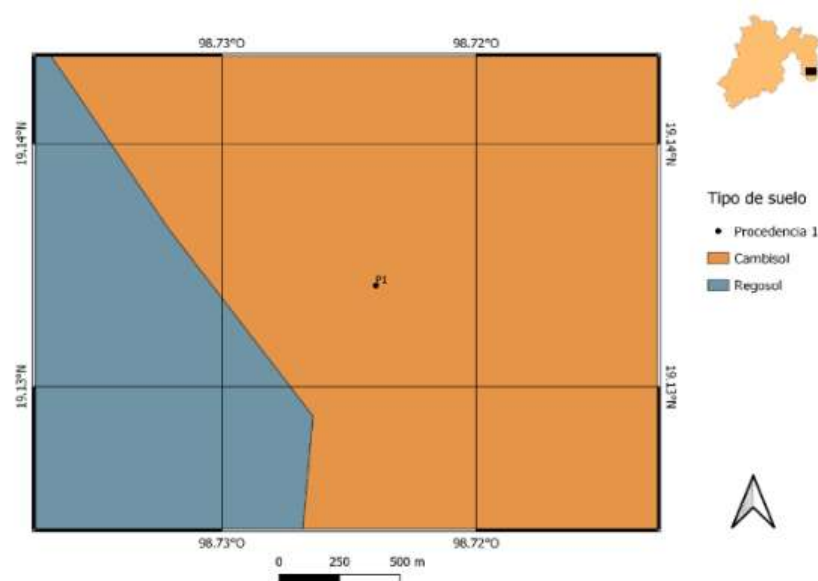


Figura 2. Tipos de suelo para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia uno, Amecameca, Estado de México.

Tipo de vegetación

El tipo de vegetación presente en esta zona es bosque de pino-encino, el cual se caracteriza por la dominancia de árboles altos, mayormente pinos y encinos, acompañados por otras especies. Se encuentra principalmente en zonas montañosas de clima templado frío (figura, 3); se distribuye a lo largo de las Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, así como en el Eje Neovolcánico, a una altitud entre 2000 y 3400 msnm (Rzedowski y Huerta, 1994) (Figura, 3).

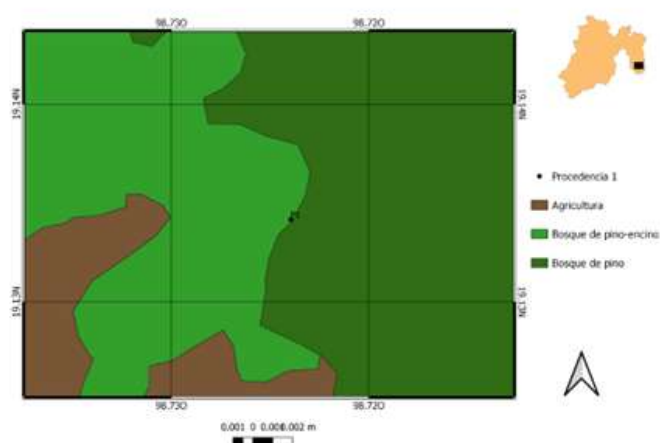


Figura 3. Tipos de vegetación para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia uno, Amecameca, Estado de México.

Tipo de clima

Clima templado subhúmedo, se caracteriza por presentar una temperatura media anual por debajo de los 18 °C, con una temporada invernal promedio de 10 °C. Hay una temporada cálida, en los meses de primavera, con una temperatura de hasta 25 °C. La humedad relativa de este clima va de entre el 30 y el 80 % a lo largo del año. La precipitación anual es menor a los 800 mm (García, 1964) (Figura, 4).

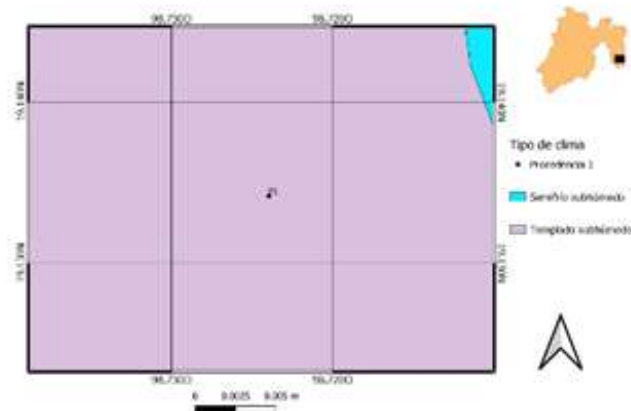


Figura 4. Tipos de clima para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia uno, Amecameca, Estado de México.

2) Procedencia dos

Descripción de la zona de estudio

La localidad Santa Ana Jeráhuaro pertenece al Municipio de Zinapécuaro Michoacán. Se encuentra al norte del estado, en las coordenadas de latitud 19°52'57"N y longitud 100°38'53" O, a una altitud sobre el nivel del mar de 2780 m.

Tipo de Suelo

El tipo de suelo presente en esta zona es andosol (Figura, 5), el cual es principalmente de origen volcánico y suele ser de color negro. El material parental es principalmente de cenizas volcánicas, aunque también puede haber sido formado a través de tobas y otras eyecciones volcánicas (INEGI, 2002).

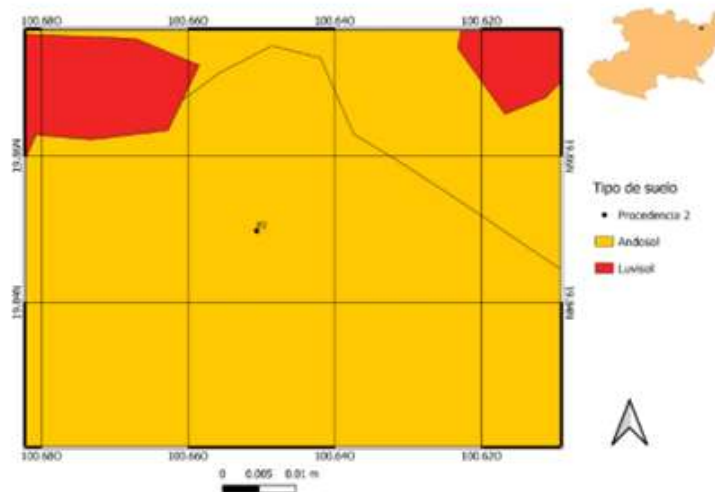


Figura 5. Tipos de suelo para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia dos, Sta Ana Jeráhuaro, Mpio. Zinapécuaro, Mich.

Tipo de vegetación

Bosque de pino, son comunidades que habitan principalmente zonas templadas y frías, donde la especie dominante en la zona es el género *Pinus*, puede presentarse una especie o más de dicho género y suele estar acompañado de otras especies de diferentes familias en menor cantidad; varios existen sólo en condiciones edáficas especiales (Rzedowski, 1994) (Figura, 6).

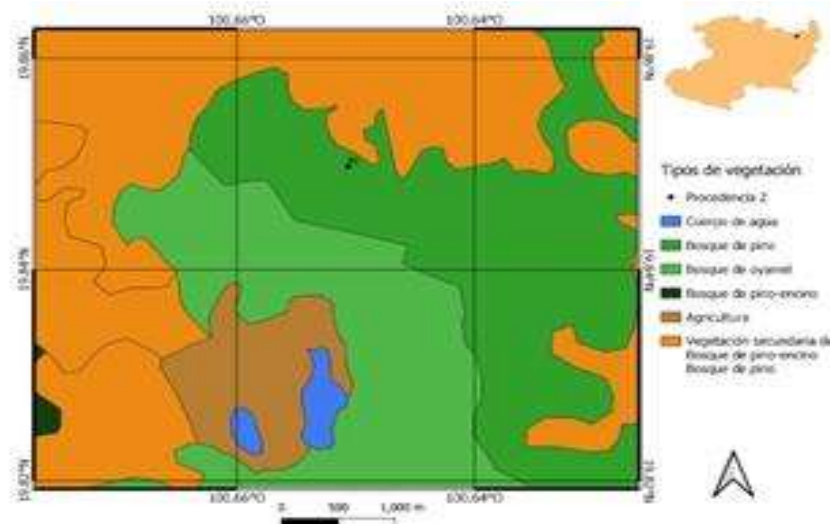


Figura 6. Tipos de vegetación para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia dos, Sta Ana Jeráhuaro, Mpio. Zinapécuaro, Mich.

Tipo de clima

Clima templado subhúmedo, se caracteriza por presentar una temperatura media anual por debajo de los 18 °C, con una temporada invernal promedio de 10 °C. Hay una temporada cálida, en los meses de primavera, con una temperatura de hasta 25 °C. La humedad relativa de este clima va de entre el 30 y el 80% a lo largo del año. La precipitación anual es menor a los 800 mm (García, 1964) (Figura, 7).

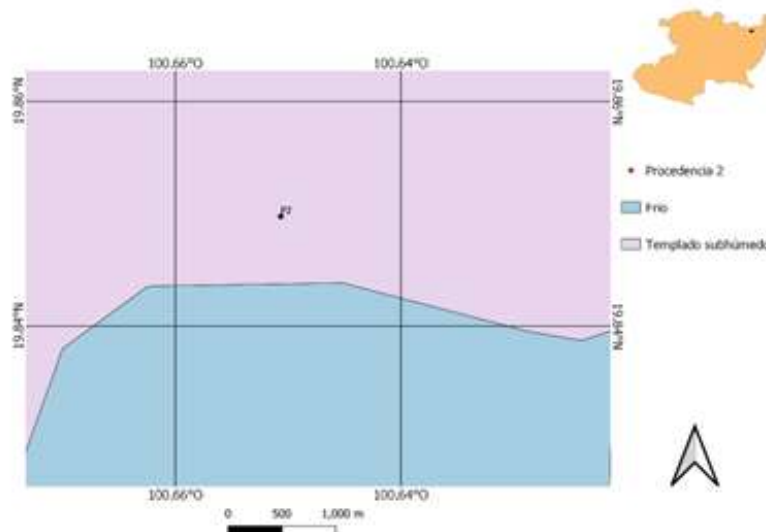


Figura 7. Tipos de clima para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia dos, Sta Ana Jerahuaro, Mpio. Zinapécuaro, Mich.

3) Procedencia tres

Descripción de la zona de estudio

La procedencia tres se encuentra en la localidad de El Floripondio, al sureste del municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, en la parte colindante con el Nevado de Colima.

Tipo de Suelo

El tipo de suelo en la zona es regosol, se caracterizan por ser suelos muy jóvenes, generalmente resultado del depósito reciente de roca y arena acarreadas por el agua, se encuentran principalmente en la base de los cerros donde son acumulados sedimentos por los ríos que descienden de la montaña (Figura, 8).

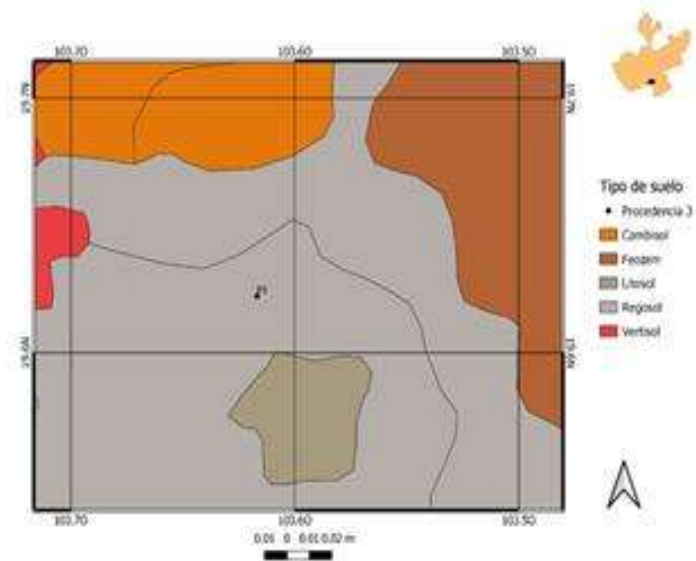


Figura 8. Tipos de suelo para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia tres, El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco.

Tipo de vegetación

El tipo de vegetación presente en esta zona es bosque de pino-encino, el cual se caracteriza por la dominancia de árboles altos, mayormente pinos y encinos, acompañados por otras especies. Se encuentra principalmente en zonas montañosas de clima templado frío (figura, 3); se distribuye a lo largo de las Sierra Madre Occidental y la Sierra Madre Oriental, así como en el Eje Neovolcánico, a una altitud entre 2000 y 3400 msnm (Rzedowski, 1994) (Figura, 9).

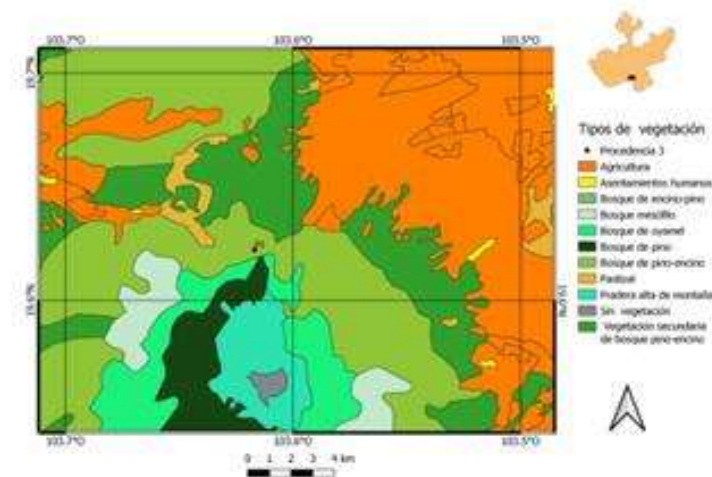


Figura 9. Tipos de vegetación para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia tres, El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco.

Tipo de clima

El clima presente en la zona es templado subhúmedo, se caracteriza por presentar una temperatura media anual por debajo de los 18 °C, con una temporada invernal promedio de 10 °C. Hay una temporada cálida, en los meses de primavera, con una temperatura de hasta 25 °C. La humedad relativa de este clima va de entre el 30 y el 80 % a lo largo del año. La precipitación anual es menor a los 800 mm (García, 1964) (Figura, 10).

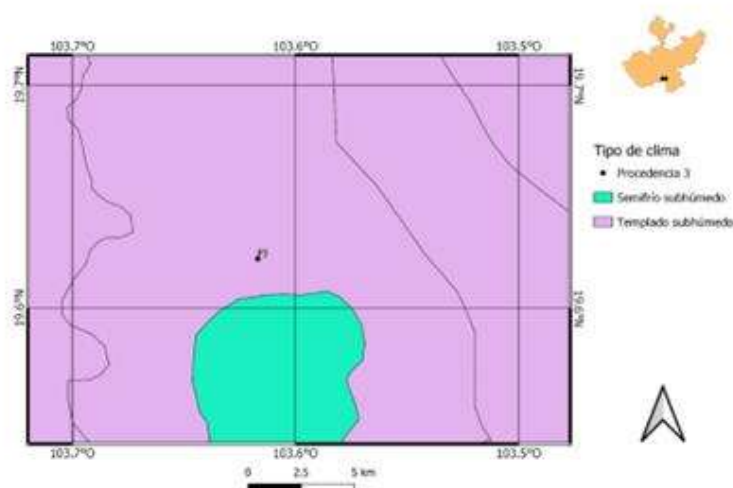


Figura 10. Tipos de clima para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de la procedencia tres, El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco.

4) Procedencias cuatro, cinco y seis

Descripción de las zonas de estudio

La procedencia cuatro pertenece a la localidad de La Gloria, municipio de Perote, se encuentra a una altitud de 2700 msnm. La procedencia cinco localizada en la comunidad de Francisco I Madero, municipio de Perote, a una altitud de 2750 msnm. La procedencia seis se encuentra en la localidad de la Mesa del Laurel, municipio de Coatepec, a una altitud de 2720 metros sobre el nivel del mar. Las tres procedencias pertenecen al estado de Veracruz.

Tipo de Suelo

En las tres zonas de estudio se presenta el tipo de suelo andosol el cual es principalmente de origen volcánico y suele ser de color negro. El material parental es

principalmente de cenizas volcánicas, aunque también puede haber sido formado a través de tobas y otras eyecciones volcánicas (INEGI, 2002) (Figura, 11).

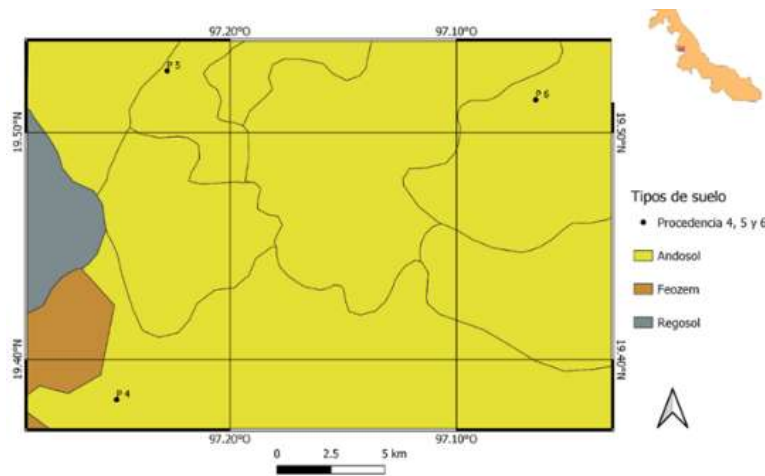


Figura 11. Tipos de suelo para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de las procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.

Tipo de vegetación

En las procedencias cuatro y cinco se encuentra presente el bosque de pino, mientras que en la zona de la procedencia seis predomina la vegetación secundaria derivada de bosque de pino-encino y bosque de pino; este tipo de vegetación se presenta después de un disturbio, como resultado de la sucesión natural de la zona (Figura 12).

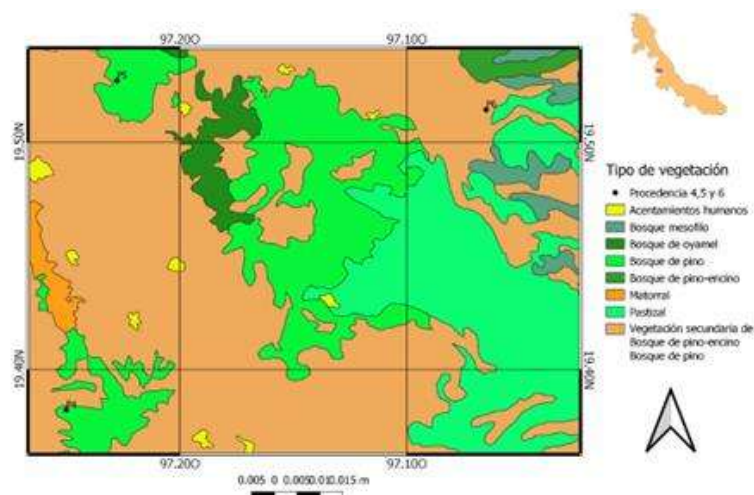


Figura 12. Tipos de vegetación para *Pinus pseudostrobus* Lindl. de las procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.

Tipo de clima

La procedencia cuatro presenta un clima semifrío subhúmedo y se caracteriza por temperaturas media anual entre 5 y 12 °C, con una precipitación media anual de 1,180 mm. La procedencia cinco tiene un clima templado subhúmedo, se caracteriza por presentar una temperatura media anual por debajo de los 18 °C, con una temporada invernal promedio de 10 °C. Hay una temporada cálida, en los meses de primavera, con una temperatura de hasta 25 °C. La humedad relativa de este clima va de entre el 30 y el 80 % a lo largo del año. La precipitación anual es menor a los 800 mm (García, 1964). La procedencia seis se desarrolla en clima templado húmedo, que se caracteriza por presentar una temperatura media anual cercana a los 15 °C, y condiciones ambientales muy similares tanto en la época invernal, como en los meses correspondientes a la primavera y verano; en cuanto a precipitación, anualmente registra un promedio mayor a 1,000 mm (García, 1964) (Figura, 13).

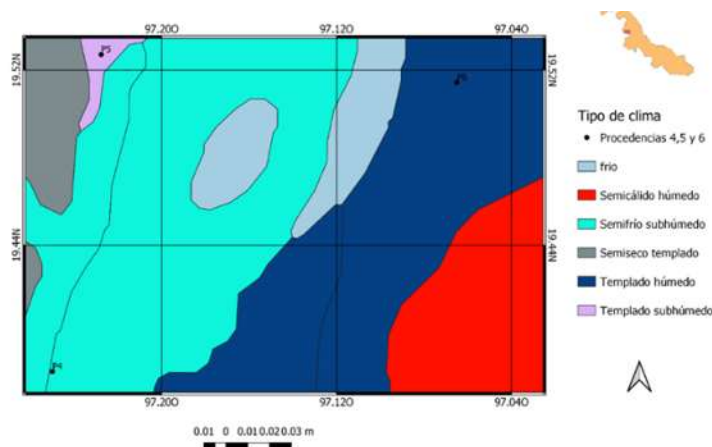


Figura 13. Tipos de clima para *Pinus pseudostrobus* en las procedencias cuatro, cinco y seis; La Gloria, Perote, Veracruz, Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.

6. Hipótesis

Las distintas procedencias de *Pinus pseudostrobus* presentan variaciones significativas en sus características morfológicas, capacidad germinativa y patrones de desarrollo, como resultado de su adaptación a diferentes condiciones ambientales de origen.

7. Objetivos

7.1 Objetivo General

Evaluar la variabilidad entre procedencias de *Pinus pseudostrobus*, mediante el análisis comparativo de sus características morfológicas, capacidad germinativa y desarrollo en condiciones de vivero y jardín común.

7.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar y comparar las propiedades macroscópicas y la capacidad germinativa de semillas provenientes de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus*.
- Cuantificar y analizar el desarrollo de cinco procedencias de *P. pseudostrobus*, en condiciones de vivero, mediante variables dasométricas (altura y diámetro del tallo).
- Evaluar características morfológicas de cuatro procedencias de *P. pseudostrobus* establecidas en jardín común para determinar patrones de variación inter-poblacionales.
- Analizar estadísticamente caracteres taxonómicos de cuatro procedencias de *P. pseudostrobus*.

Bibliografía general

- Aragón-Peralta R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez del Valle, J. R. Hernández-Hernández, A., y Campos-Ángeles, G.V. 2020. Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) SG Harrison. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(59): 118-140.
- Cambrón-Sandoval, V. H., Sánchez-Vargas, N. M. Sáenz-Romero, C. Vargas-Hernández, J. J., España-Boquera, M. L., and Herrerías-Diego, Y. 2013. Genetic parameters for seedling growth in *Pinus pseudostrobus* families under different competitive environments. New Forests (2013) 44:219–232.

- Cano, J. G. A., Saucedo, J. C. R., Payán, A. D., Pineda, A. C., Ramos, A. H., y Valenzuela-Núñez, L. M. 2021. Evaluación de la producción de planta de mezquite (*Prosopis* sp) de cuatro procedencias. *Agrofaz: publicación semestral de investigación científica*, 3(1), 46-53.
- Chicaiza Toapanta, J. K. 2019. Ensayo de germinación de seis procedencias de *Pinus patula* schl et cham, sector granja experimental Yuyucocha, cantón Ibarra, provincia de Imbabura (Bachelor's tesis).
- Eguíluz, P. T. 1985. Origen y evolución del género *Pinus* (con referencia especial a los pinos mexicanos). *Dasonomía Mexicana* 3(6): 5-31.
- Farjon, A. and Filer, D. 2013. An Atlas of the World's Conifers: an analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Leiden, Netherlands: Brill Academic Publishers.
- Farjon, A. and T. B. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropica, Monograph 75. Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden, New York, USA. 291 p.
- Fontana, M. L., Pérez, V. R., y Luna, C. V. 2020. Efecto de la procedencia sobre el comportamiento productivo de *Prosopis alba* en plantación. *Acta agronómica*, 69(1), 68-74.
- Fontana, M., Pérez, V., y Luna, C. 2018. Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de *Prosopis alba* (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical*, 66(2), 593-604.
- García de Miranda, E. 1964. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana* (No. QC 981. G37).
- García, E. O. R., Landa, J. A., y Hernández, L. D. C. M. 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl & Cham. *Foresta veracruzana*, 3(1), 27-35.
- Gernandt, D. S., y Pérez-de la Rosa, J. A. 2014. Biodiversidad de *Pinophyta* (coníferas) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 126-133.
- Hernández, P.C. 1995. Variación geográfica y genética en el crecimiento inicial de *Pinus engelmannii* Carr. en condiciones de invernadero. Tesis División de Ciencias Foerestales, UACH. Chapingo, México. 91 p.
- INEGI 2002, *Base Digital de Datos de Suelos*, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

- Jaquish, B. C. 1997. Abasto y manejo de semillas a partir de la recolección en rodales naturales, áreas de producción y huertos semilleros. In: Manejo de recursos genéticos forestales, USDA Forest Service-FAO-SEMARNAP. México, D.F. pp. 89-106.
- López-Santiago, J., Nieto-Ángel, R., Barrientos-Priego, A. F., Rodríguez-Pérez, E., Colinas-León, M. T., Borys, M. W., y González-Andrés, F. 2008. Selección de variables morfológicas para la caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2), 97-111.
- Narave-Flores, H. V., y Taylor, K. 1997. *Pinaceae*. Flora de Veracruz (No. Folleto 15658).
- Perry J. 1991. The Pines of México and Central America. Portland, OR: Timber Press.
- Ordóñez, J. A., y De Jong, B. H. 2001. Almacenamiento de carbono en un bosque de *Pinus pseudostrobus* en Nuevo San Juan, Michoacán. *Madera y bosques*, 7(2), 27-47.
- Perry, J. P. Jr., A. Graham and M. D. Richardson. 1998. The history of pines in México and Central America. In: M. D. Richardson (ed). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp: 137-149.
- Rzedowski, J., y Huerta, L. 1994. *Vegetación de México* (No. 582.16 R997r Ej. 1 002135). México: Limusa, Noriega Editores.
- Sáenz-Reyes, J.T, Muñoz-Flores, H.J. y Rueda-Sánchez, A. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. C.E. Uruapan, CIRPC, INIFAP, México. 213 p.
- Stead, J.W. 1983. Study of variation and taxonomy of the *Pinus pseudostrobus* complex, *Commonw. For. Rev.* 62(1): 25-35.
- Sun, Y. Q., Zhao, W., Xu, C. Q., Xu, Y., El-Kassaby, Y. A., De La Torre, A. R., and Mao, J. F. 2020. Genetic variation related to high elevation adaptation revealed by common garden experiments in *Pinus yunnanensis*. *Frontiers in genetics*, 10, 1405
- Trocha, L. K., Kałucka, I., Stasińska, M., Nowak, W., Dabert, M., Leski, T., and Oleksyn, J. 2012. Ectomycorrhizal fungal communities of native and non-native *Pinus* and *Quercus* species in a common garden of 35-year-old trees. *Mycorrhiza*, 22, 121-134.

- Tomlinson, P. B. and T. Takaso. 2002. Seed cone structure in conifers in relation to development and pollination: a biological approach. *Canadian Journal of Botany* 80: 1250-1273.
- Velasco-Velasco, V. A., Enríquez-del Valle, J. R., Rodríguez-Ortiz, G., Campos-Ángeles, G. V., Gómez-Cárdenas, M., y García-García, M. L. 2012. Evaluación de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Ex Parl. en plantaciones de la Mixteca Oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(9), 42-50.
- Villanueva-Almanza, L. y R. M. Fonseca. 2011. Revisión taxonómica y distribución geográfica de *Ephedra* (Ephedraceae) en México. *Acta Botanica Mexicana* 96: 79-116.
- Villegas-Jiménez, D. E., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. L., Enríquez-Del-Valle, J. R., y Carrillo-Rodríguez, J. C. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana. Botánica*, 73(1), 113-123.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J. J., y López-Upton, J. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 29(2), 121-121.

Capítulo 1

Caracteres morfométricos y germinación de semillas entre procedencias de *Pinus pseudostrobus*

Morphometric characteristics and seed germination among sources of *Pinus pseudostrobus*

Resumen

El estudio de las fuentes semilleras es de gran importancia para la conservación y uso sostenible de especies forestales. Las variaciones en las características de las semillas, como el largo, ancho, grosor y peso, son importantes para entender su comportamiento en la germinación y desarrollo de las plantas específicamente de *Pinus pseudostrobus*, especie que se seleccionó para este estudio. Por lo cual, este estudio investiga sus características morfométricas y el comportamiento de germinación de sus semillas. Se analizaron semillas de seis procedencias diferentes para identificar variaciones que puedan influir en su rendimiento y adaptabilidad. Los resultados revelaron diferencias significativas en las características de las semillas, incluyendo longitud, ancho, grosor y peso, lo que sugiere que las condiciones ambientales de cada procedencia afectan estas variables morfométricas. Además, se observaron variaciones en los porcentajes de germinación, indicando que algunas procedencias tienen un mayor potencial de viabilidad y crecimiento. La velocidad de germinación también mostró diferencias entre las procedencias, destacando la importancia de este aspecto en la selección de semillas para reforestación. Las contribuciones de este trabajo son múltiples. En primer lugar, proporciona información valiosa sobre la variabilidad de las semillas de *P. pseudostrobus* y su relación con las condiciones ambientales (plasticidad fenotípica), lo que es fundamental para la conservación y manejo de esta especie (adaptación). En segundo lugar, al identificar las procedencias con mejores características morfométricas y de germinación, el estudio ofrece una base sólida para optimizar las estrategias de reforestación y conservación de los recursos forestales. En conclusión, el estudio es un paso importante hacia la mejora de las prácticas de manejo forestal y la sostenibilidad ambiental en México.

Palabras clave: adaptación, caracterización de semillas plasticidad, Pino, velocidad de germinación.

Abstract

The study of seed sources is crucial for the conservation and sustainable use of forest species. Variations in seed characteristics, such as length, width, thickness, and weight, are essential for understanding their behavior in germination and plant development. *Pinus pseudostrobus*, a conifer species of significant biological, environmental, and economic importance in Mexico, was selected for this study due to its wood quality and rapid growth. Therefore, this research investigates its morphometric characteristics and the germination behavior of its seeds. Seeds from six different origins were analyzed to identify variations that influence their performance and adaptability. The results revealed significant differences in seed characteristics, including length, width, thickness, and weight, suggesting that the environmental conditions of each provenance affect these morphometric variables.

Additionally, variations in germination percentages were observed, indicating that some provenances have greater potential for viability and growth. Germination speed also showed differences between provenances, highlighting the importance of this factor in the selection of seeds for reforestation. The contributions of this study are multiple. Firstly, it provides valuable information on the variability of *P. pseudostrobus* seeds and their relationship with environmental conditions (phenotypic plasticity), which is essential for the conservation and management of this species (adaptation). Secondly, by identifying the provenances with the best morphometric and germination characteristics, this research offers a solid basis for optimizing reforestation and conservation strategies for forest resources. In conclusion, the study represents an important step toward improving Mexico's forest management practices and environmental sustainability.

Keywords: adaptation, germination speed, plasticity, Pine, seed characterization.

Introducción

Los bosques de coníferas prevalecen en todo en el hemisferio norte; México representa la distribución más meridional de este ecosistema que representa aproximadamente el 20% de la cobertura forestal del país (Rzedowski, 1978; Galicia *et al.*, 2018); la importancia de este ecosistema, desde una perspectiva biológica, es la presencia de 50 especies de pinos que representan el 50% del total mundial (CONABIO, 2001); en un contexto social, en ellos se concentra la mayor parte de la población rural del país (Bray *et al.*, 2007); en el económico, la mayor parte de la producción maderable nacional proviene de los bosques templados y representa el 1% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional (Galicia *et al.*, 2018); y en relación con las consideraciones ambientales, estos bosques proporcionan una multitud de servicios ecosistémicos, que son vitales para la preservación del capital natural y la mejora del bienestar social en las diversas regiones forestales del país (Palacio-Prieto *et al.*, 2000; Galicia *et al.*, 2018).

Pinus pseudostrobus es una conífera perteneciente a la familia Pinaceae, caracterizada por ser una especie forestal que se distribuye principalmente en el Eje Neovolcánico Transversal (centro de México); sin embargo, también se pueden identificar poblaciones al norte en Sinaloa, Durango, Coahuila y Nuevo León, así como al sur en Chiapas y Oaxaca (Martínez, 1948); debido a la calidad superior de su madera, tiene un alto aprovechamiento en bosques naturales y posee un potencial para el establecimiento de plantaciones comerciales atribuido a su crecimiento relativamente rápido (Eguiluz, 1978); debido a su adaptabilidad a diversas condiciones ambientales, es utilizada en programas de restauración, ocupando altitudes que oscilan entre 800 y 3000 msnm, principalmente en bosque de pino o pino-encino (Perry, 1991), esta amplia distribución da como resultado una variabilidad considerable dentro de la especie, dependiendo del contexto ambiental específico, estas variaciones pueden darse entre individuos o entre poblaciones, lo que puede resultar de la plasticidad que presenta la especie (Hernández *et al.*, 2012; Pedroso *et al.*, 2010).

Debido a esta gran diversidad, la utilización comercial, la restauración y la conservación de las especies forestales, requieren estar sustentadas por diversos estudios (Muñoz *et al.*, 2012). Estos estudios pueden ser de diferente tipo,

dependiendo del uso, centrándose principalmente en la germinación, el crecimiento, el desarrollo y la calidad de los productos. Una parte importante del conocimiento sobre el comportamiento de las especies en estos rubros proviene de poblaciones naturales de árboles forestales y se basa en estudios de procedencias en los que se recolectan las semillas de una misma especie, pero en diferentes zonas geográficas (Rodríguez *et al.*, 2012), se debe principalmente a que cada grupo de semillas proviene de zonas con diferentes condiciones ecológicas; estas semillas se siembran en uno o más sitios, los cuales deben contar con condiciones similares de temperatura, luz, precipitación, humedad, tipo de suelo o sustrato, lo que facilita comparar el rendimiento de cada fuente de semilla. De esta manera, resulta factible identificar fuentes superiores de semillas, capaces de satisfacer los diferentes tipos de plantaciones o usos que se le dará a la planta (Young, 1991).

El comportamiento natural de las fuentes semilleras, depende de la variabilidad que presentan entre ellas, estas variaciones son una herramienta para poder plantear estrategias dirigidas a la conservación y uso de una especie o población (Carmona *et al.*, 2003). La conservación de las especies, poblaciones y ecosistemas forestales depende fundamentalmente de las semillas producidas por los individuos (Zobel y Talbert, 1988; Nienstaedt, 1990), además de las condiciones ambientales que se presentan en los sitios o gradientes altitudinales (López-Toledo *et al.*, 2017; Aragón *et al.*, 2020; Muñoz-Flores *et al.*, 2023). La realización de estudios que consideren variables de las semillas, como la longitud, el ancho, el grosor, el peso y la germinación de cada una de las procedencias de una o varias especies es fundamental para realizar pruebas que evalúen su comportamiento (Rodríguez-Ortiz *et al.*, 2023). Es esencial para comprender la importancia que las variables de la semilla pueden tener en la germinación y desarrollo de las plantas, y así presentar alternativas que faciliten tener un panorama más claro al momento de seleccionar la semilla a sembrar (Eguiluz-Piedra, 1982; Aragón-Peralta *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2022).

En consecuencia, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características macroscópicas y el comportamiento germinativo de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus*.

Materiales y métodos

Se contó con semilla de seis procedencias distintas que fueron proporcionadas por el Colegio de Postgraduados, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, la Universidad Veracruzana y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; estas se mantuvieron separadas por procedencias y se almacenaron a una temperatura controlada de 4 °C, tres procedencias de *P. pseudostrobus* var. *pseudostrobus*, dos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* y una de *P. pseudostrobus* var. *coatepecensis* (Tabla, 1). Se realizó una caracterización a nivel de tipos de suelo, tipos de vegetación y tipos de clima por procedencia, utilizando el software QGIS y la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI (Tabla, 1).

Tabla 1. Localización geográfica y caracterización de tipos de clima, suelo y vegetación para las procedencias de estudio de *Pinus pseudostrobus*.

Procedencia	Origen	Taxón	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Tipo clima	Tipo desuelo	Tipo de vegetación	Precipitación media anual (mm)
P. 1	Amecameca, Estado de Mexico	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19° 8'3.00"N 98°43'26.21"O	2740	Templado subhúmedo	Cambisol	Bosque de pino-encino	800 mm
P. 2	Sta Ana Jerahuario, Mpio. Zinapécuaro, Mich.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°50'59.16"N 100°39'2.30"O	2780	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque de pino-encino	800 mm
P. 3	El Floripondio, Mpio. Zapotlán, Jal.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°37'19.96"N 103°37'0.56"O	2730	Templado subhúmedo	Regosol	Bosque de pino	800mm
P. 4	La Gloria, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°22'56.20"N 97°15'0.08"O	2700	Semifrío subhúmedo	Andosol	Bosque de pino	1180 mm
P. 5	Francisco I Madero, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°31'37.62"N 97°13'39.75"O	2750	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque de pino	800mm
P. 6	Mesa del laurel, Mpio. Coatepec, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>coatepecensis</i>	19°30'51.64"N 97° 3'53.96"O	2720	Templado húmedo	Andosol	Vegetación derivada de bosque de pino-encino	1000 mm

En laboratorio se trabajó con un tamaño de muestra de 100 semillas por cada procedencia, estas se eligieron completamente al azar, teniendo en total 600 semillas. Las variables evaluadas de las semillas, de manera individual, fueron: peso (g), longitud (mm), ancho (mm) y grosor (mm), obtenidas con un vernier digital (STREN HER-41 ±0.1 mm). El peso de cada una de las semillas se obtuvo con una balanza analítica marca OHAUS. Cada semilla fue separada y etiquetada para hacer un seguimiento individual. Posteriormente, las semillas fueron sembradas bajo un diseño

completamente al azar en contenedores rígidos de plástico de 310 ml de capacidad, en un sustrato de agrolita, vermiculita y turba de musgo en proporción 1:1:2, dispuestos en charolas con 54 cavidades, en condiciones de vivero. Cada contenedor se etiquetó con el número de semilla y procedencia para conservar su identidad. Después de la siembra los contenedores se cubrieron con malla sombra de 35 % de cobertura. La germinación se monitoreó desde la siembra hasta dejar de presentar cambios, llevando un registro diario de germinación de manera individual por semilla.

Posteriormente, para analizar la trayectoria de la germinación entre las procedencias, se utilizó el estimador de Kaplan-Mier, se realizó un análisis de supervivencia, adaptado a la germinación, con una distribución binomial. Para evaluar la velocidad de germinación y las variables morfométricas de las semillas, se realizó un análisis de varianza con el paquete estadístico SAS (SAS Institut, 2019); para definir diferencias entre las procedencias, se compararon los valores de las medias para las variables por el método de Tukey-Kramer. Se obtuvo un índice de semilla multiplicando las variables longitud, ancho y grueso de semilla con la fórmula: $IS = LS \times AS \times GS$. La correlación de Pearson se realizó entre características macroscópicas, porcentaje y velocidad de germinación, e índice de semilla (Tabla, 3); para los análisis las variables morfométricas fueron estandarizadas con media cero y varianza uno, la germinación fue transformada a valores de arcoseno.

Resultados

Al comparar las seis procedencias evaluadas de *Pinus pseudostrobus*, para las variables longitud de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grueso de semillas (GS) y peso de semilla (PS), se observó que las semillas de mayor promedio en las variables LS, AS y GS fueron las de la localidad de La Gloria, Perote, Veracruz (P4), mientras que el mayor PS lo obtuvo la procedencia de la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6).

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en todas las variables evaluadas ($P < 0.001$). Sin embargo, en la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$), la procedencia que mostró los promedios más bajos en todas las variables fue la de la localidad El Floripondio, Zapotlán el Grande, Jalisco (P3). La variable LS no mostró diferencias significativas en las P4 y P6, que presentaron los valores más altos,

seguidas de las procedencias de Amecameca, Estado de México, Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, y Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P1, P2 y P5, respectivamente). Los mayores valores promedio de AS los presentaron las semillas de las P2, P4 y P6, seguidas de las P1 y P5. El GS tuvo mayor variación entre procedencias, presentó el mayor valor en la P4, seguido por el de la P6, los de la P1 y P5 no mostraron diferencias, así como los de la P2 y P3. Finalmente, el PS de la P3 fue el más bajo y significativamente diferente al resto de las procedencias (Tabla, 2).

Tabla 2. Valores promedio por procedencia de las características macroscópicas de *Pinus pseudostrobus*.

Procedencia	LS (mm)	AS (mm)	GS (mm)	PS (g)	IS
P1	5.56±0.06 b	3.74±0.04 b	2.39±0.02 c	0.024±0.005 a	50.40±1.25 c
P2	5.76±0.04 b	3.89±0.03 a	2.25±0.02 d	0.023±0.002 a	50.50±0.69 c
P3	5.23±0.04 c	3.34±0.03 c	2.18±0.02 d	0.010±0.000 b	38.32±0.68 d
P4	6.29±0.06 a	4.04±0.04 a	2.63±0.03 a	0.027±0.001 a	67.71±1.58 a
P5	5.77±0.07 b	3.65±0.04 b	2.43±0.03 c	0.028±0.002 a	52.21±1.36 c
P6	6.19±0.07 a	3.95±0.04 a	2.54±0.02 b	0.031±0.004 a	62.46±1.33 b
Promedio	5.80±0.03	3.77±0.02	2.41±0.01	0.024±0.001	53.60±0.62

LS = longitud de semilla, AS = ancho de semilla, GS = grueso de semilla, PS = peso de semilla, ±=error estándar. P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P3=El Floripondio, Zapotlán, Jalisco, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes en una misma columna, muestran diferencias significativas ($P<0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

El análisis del índice de semilla (IS) permitió distinguir cuatro grupos diferentes, el valor más alto lo presentó la P4 seguida de la P6, las P1, P2 y P5 conformaron otro grupo distinto con valores intermedios y finalmente la P3 conformó el último grupo con los valores más bajos (Figura, 1).

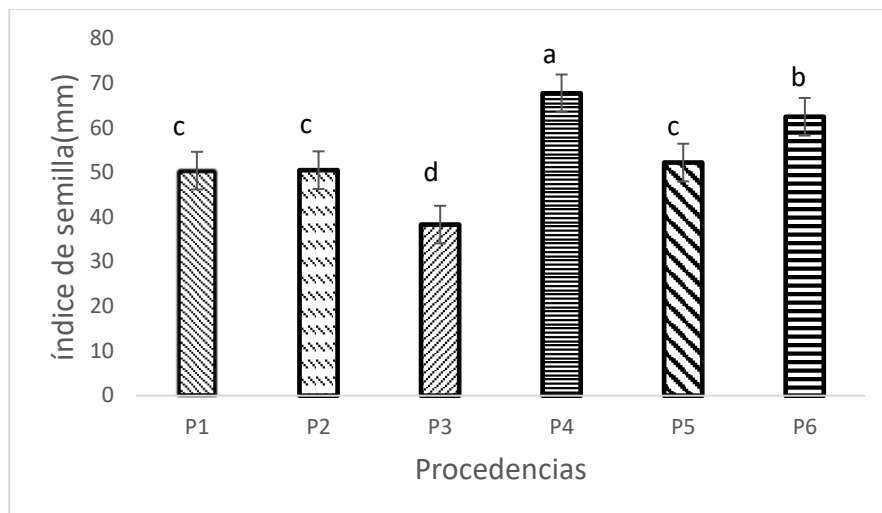


Figura 1. Índice de semilla (IS) en mm por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5) y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

El porcentaje de germinación por procedencia estuvo entre 0 y 71 %, el mayor porcentaje se presentó en la P1 (71%) mientras que el porcentaje más bajo lo presentó la P3 (0%) (Figura, 2).

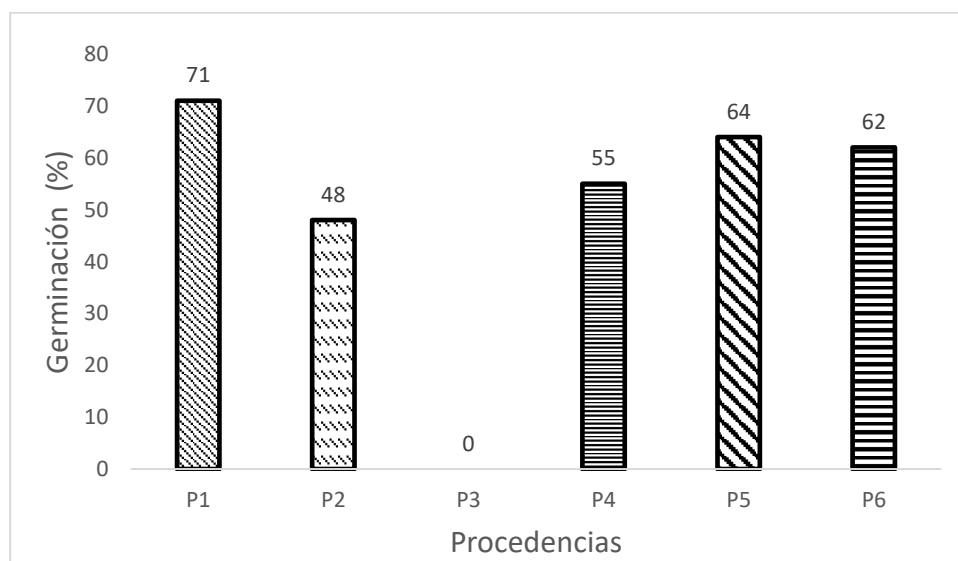


Figura 2. Porcentaje de germinación total por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer todas las procedencias fueron significativamente diferentes unas de otras ($P < 0.05$).

La velocidad de germinación presentó diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias ($P < 0.05$). Las procedencias formaron dos grupos en cuanto a velocidad de germinación; el primer grupo lo conformaron las P1, P2, P5 y P6; el segundo grupo lo conformó la P4, pero también se encuentran incluidas las P5 y P6. La P3 fue excluida ya que su germinación fue de 0 % (Figura, 3).

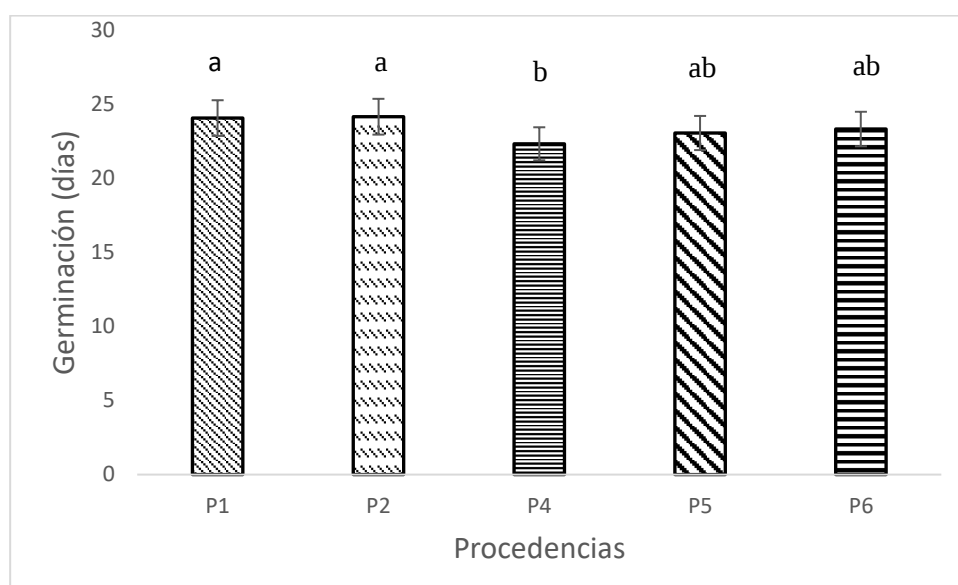


Figura 3. Velocidad de germinación en días por procedencia de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). Letras diferentes indican diferencia significativa, de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer ($P < 0.05$).

Los resultados del análisis para evaluar la germinación mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2 = 11.327$, G.L. = 4, $P = 0.023$). La germinación inició el día 18 después de la siembra en todas las procedencias, presentando la máxima germinación en las P1, P2 y P5 al día 23 y finalizando al día 29, en la P4 finalizó al día 28, mientras que en la P6 al día 27 (Figura, 4).

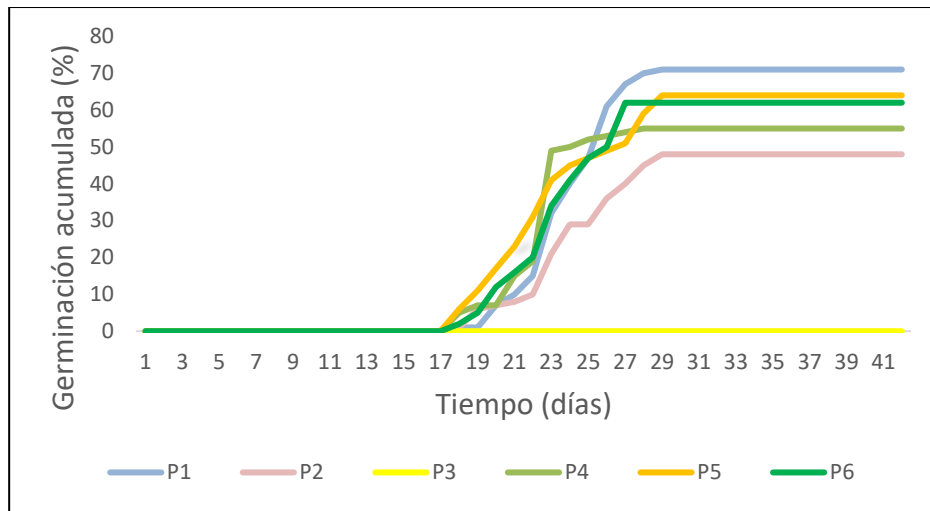


Figura 4. Germinación acumulada en días para las procedencias de *Pinus pseudostrobus*: Amecameca, Estado de México (P1); Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2); El Floripondio, Zapotlán, Jalisco (P3); La Gloria, Perote, Veracruz (P4); Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5); Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz (P6). De acuerdo con la prueba de Chi-cuadrada se presentaron diferencias significativas ($\chi^2=11.327$, G.L.= 4, $P=0.023$).

La relación entre las características evaluadas mostró correlaciones significativas ($P \leq 0.031$) para todos los pares de variables, excepto para la relación entre PS y DG ($P=0.569$). Las altas correlaciones entre las variables LS, AS y GS con el IS ($0.76 \leq r \leq 0.84$), incluso con valores mayores que las correlaciones entre las variables individuales de tamaño de semilla ($0.22 \leq r \leq 0.61$), mostraron que el índice de semilla utilizado es un buen indicador del tamaño de las semillas. Las correlaciones entre LS, AS, GS y PS con respecto al porcentaje de germinación fueron bajas ($0.28 \leq r \leq 0.38$), incluso el IS ($r=0.40$), lo que indica que hay una ligera relación positiva entre el tamaño de las semillas y el porcentaje de germinación. La relación negativa entre el IS y la velocidad de germinación (DG) ($r=-0.20$), aunque es baja, da una idea de que las semillas de menor tamaño germinaron más rápidamente, lo que es consistente con los valores negativos con LS, AS y GS por separado (Tabla, 3).

Tabla 3. Coeficiente de correlación de Pearson de las características evaluadas para las seis procedencias de *Pinus pseudostrobus*.

	AS	GS	PS	DG	IS	GERM
LS	0.61	0.41	0.31	-0.15	0.82	0.32
AS		0.47	0.29	-0.13	0.84	0.37
GS			0.22	-0.19	0.76	0.38
PS				-0.03 ^{ns}	0.34	0.28
DG					-0.20	0.04 ^{ns}
IS						0.40

LS= longitud de semilla, AS= ancho de semilla, GS=grosor de semilla, PS= peso de semilla, DG= días de germinación, IS= índice de semilla, GERM= Porcentaje de germinación; significativo ($P \leq 0.031$) ^{ns}= no significativo (>0.05).

Discusión

En este estudio, la variable longitud de semilla (LS), en las procedencias ensayadas, presentó un máximo de 6.29 mm y un mínimo de 5.23 mm, estos valores son similares a los reportados para esta especie por Carmona *et al.* (2003), donde se encontró un valor máximo de 5.74 mm y un mínimo de 5.24 mm; el ancho de semilla (AS) mostró valores de entre 4.03 mm y 3.34 mm, que son similares a los registrados por Muñoz-Flores *et al.* (2023), donde reportan un valor máximo de 4.19 mm y un mínimo de 3.84 mm; en grosor de semilla (GS), se registró un promedio máximo de 2.63 mm y un mínimo de 2.18 mm, estos promedios se encuentran entre el rango que reportan para *P. pseudostrobus*, Cervantes-Machuca *et al.* (2023), quienes registraron un valor máximo de 2.31 mm; con respecto al peso de semilla (PS), el valor máximo promedio fue de 0.031 g, mientras que el mínimo fue de 0.010 g, los cuales se encuentran en el rango de lo reportado para esta especie por Muñoz-Flores *et al.* (2023) con un valor máximo de 0.030 g y un mínimo de 0.017 g.

La longitud de las semillas (LG) de *P. pseudostrobus* en promedio es de 5 a 7 mm (Narave *et al.*, 1997), comparando con otras especies de pinos que presentan estos mismos rangos para esta variable, se encuentran las especies *P. martinezii* (Morales *et al.*, 2017), *P. greggii* (Rodríguez *et al.*, 2012; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2015) y *P. hartwegii* (Hernández *et al.*, 2012). Tomando en cuenta el análisis de las variables longitud (LS), ancho (AS), grosor (GS) y peso (PS) de semilla, más la caracterización de tipo de clima, suelo y vegetación de las procedencias de *P. pseudostrobus*, se observaron tendencias que permiten agrupar las procedencias, por ejemplo para la

variable longitud de semilla (LS), el análisis estadístico y la caracterización de tipo de clima (Tabla, 1), mostró la existencia de tres grupos distintos, las P1, P2 y P5, formaron un grupo al no presentar diferencias estadísticamente significativas y al compartir el mismo tipo de clima templado subhúmedo; el otro grupo lo conforma las P4 y P6 que se presentan en diferentes tipos de clima: semifrío subhúmedo y templado húmedo, respectivamente, pero que comparten el mismo tipo de suelo: Andosol; el grupo restante lo conformó la P3, que comparte el mismo tipo de clima que las P1, P2 y P5, pero que crece en suelos de tipo Regosol.

Para la variable ancho de semilla (AS) también se formaron tres grupos, las P2, P4 y P6 que crecen en diferente tipo de clima, pero comparten el mismo tipo de suelo: Andosol; el segundo grupo lo conforman la P1 y P5 que crecen en el mismo tipo de clima: Templado subhúmedo y de suelo: Andosol, pero en diferente tipo de vegetación: Bosque de pino-encino y bosque de pino, respectivamente; finalmente, la P3 que crece en un tipo de suelo diferente a las demás procedencias: Regosol. El grosor de semilla (GS) formó cuatro grupos, el primero con la P4, el segundo con la P6, el tercero con las P1 y P5, y el último con las P2 y P3, que parecen estar más relacionadas con el tipo de clima que prevalece en las procedencias: Semifrío subhúmedo, Templado húmedo, Templado subhúmedo y Templado subhúmedo, respectivamente; en este último grupo al parecer hay una compensación entre el tipo de suelo y el tipo de vegetación (Tabla, 1). Esto puede deberse a que las poblaciones o individuos aun siendo de una misma especie, responden de manera distinta en sitios específicos generando un comportamiento único (interacción individual con sitio) (Alba, 1993; Alba, 1996).

El porcentaje de germinación presentó los valores mínimos de 0 y máximos de 71 % entre procedencias, coincidiendo los valores máximos con lo reportado para *P. pseudostrobus* por Aparicio *et al.* (1999), estos porcentajes también fueron similares a los reportados para otras especies de pino: *P. hartwegii* (Ortega-Mata *et al.*, 2003) y *P. greggii* (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2015). La P1, con valores bajos para las variables morfológicas de semillas evaluadas y el valor más bajo de índice de semilla, presentó el porcentaje más alto de germinación (71%), con respecto a las demás procedencias, esto puede ser una estrategia de reproducción o de adaptación a las condiciones del sitio donde se encuentra (Solís-Sandoval *et al.*, 2019), ya que el tipo de suelo de esta procedencia es poco desarrollado y generalmente bajo en

nutrientes; por otro lado, la P2 que presentó el porcentaje de germinación más bajo (48 %), presentó un IS similar al de la P1, pero se desarrolla en suelos de origen volcánico de buena fertilidad.

Para la variable velocidad de germinación, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, la P4 presentó diferencias con P1 y P2, pero no presentó diferencias entre la P5 y P6 y estas dos fueron similares a las P1 y P2; estos resultados coinciden con lo reportado por Aparicio *et al.* (1999) para *P. pseudostrobus* aun cuando no se aplicó ningún tratamiento pregerminativo a las semillas.

La correlación entre características de semillas (longitud, ancho, grosor e índice de semilla) fue significativa y estos resultados son similares a los reportados por Alba *et al.* (2007); si bien la correlación negativa entre velocidad de germinación y el índice de semilla fue bajo, el hecho de que sea significativo debe tomarse en cuenta como una característica adaptativa de la especie (Solís-Sandoval *et al.*, 2019).

Conclusiones

Según la investigación realizada sobre las variables LS, AS, GS e índice de semilla (IS), la P4 de la localidad La Gloria, Perote, Veracruz, fue la que mostró las mayores dimensiones, para la variable peso de semilla (PS), la P6 de la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz, fue la que obtuvo un valor promedio mayor.

En cuanto a la velocidad de germinación, la P4 de La Gloria, Perote, Veracruz fue la que germinó en menor tiempo, mientras que las P1 de Amecameca, Estado de México y P2 de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, mostraron la mayor duración de germinación; en general, las semillas con índices superiores germinaron en el período más corto.

Con respecto a los porcentajes de germinación, la P1 de Amecameca, Estado de México presentó el porcentaje más alto (71 %), mientras que el porcentaje más bajo, excluyendo la P3, se observó en la P2 de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, con un 48 %.

En general, las procedencias evaluadas mostraron una plasticidad considerable y demostraron rasgos adaptativos pertinentes a los sitios de procedencia. Si se considerara la posibilidad de establecer programas de producción de plantas, cualquiera de las procedencias evaluadas podría ser eficaz, sin embargo, la opción más recomendable sería la P1 de Amecameca, (Estado de México) que presentó el

mayor porcentaje de germinación una variable esencial para los programas de producción de planta.

Bibliografía

- Alba L., J. 1993. Colecta y manejo de semillas forestales. Centro de Genética Forestal, Universidad Veracruzana, Xalapa, México. 62-63 p.
- Alba L., J. 1996. Mejoramiento genético forestal en el estado de Veracruz. Tesis de maestría en Ciencias. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. 80 p.
- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. O. y Aparicio-Rentería, A. 2007. Correlación de semillas y plántulas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 9(1): 23-28.
- Aparicio-Rentería, A., Cruz-Jiménez, H., y Alba-Landa, J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana*, 1(2): 31-34.
- Aragón-Peralta R. D., Rodríguez-Ortiz, G., Vargas-Hernández, J. J., Enríquez del Valle, J. R. Hernández-Hernández, A., Campos-Ángeles, G.V. 2020. Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) SG Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59): 118-140.
- Bray, D., Merino, L., y Barry, D. (eds). 2007. Los bosques comunitarios de México: Manejo sustentable de paisajes forestales. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat), Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible, Instituto de Geografía-UNAM, Florida International Institute.
- Carmona, O. H., García, E. O. R., y Hernández, L. M. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Foresta veracruzana*, 5(2): 23-28.
- Cervantes-Machuca, M. M., Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., y Rodríguez-Vásquez, M. E. 2023. Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patula* var. *longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. *e-CUCBA* (20): 44-51.

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [Conabio]. 2001. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México. 23-30
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de la investigación de conocimientos sobre el género *Pinus* en México, Tesis profesional, U. A. CH. Chapingo, México. 623 p.
- Eguiluz-Piedra, T. 1982. Clima y distribución del género *Pinus* en México. *Revista Ciencia Forestal*, 38(7): 30-43.
- Galicia, L., Chávez-Vergara, B. M., Kolb, M., Jasso-Flores, R. I., Rodríguez-Bustos, L. A., Solís, L. E., Guerra de la Cruz, V., Pérez Campuzano, E. y Villanueva, A. 2018. Perspectivas del enfoque socioecológico en la conservación, el aprovechamiento y pago de servicios ambientales de los bosques templados de México. *Madera y bosques*, 24(2): 1-18. doi: 10.21829/myb.2018.2421443.
- Hernández V., S., López E., R. G., Sánchez P., P., Villarreal R., M., Parra T., S., Iglesias, L. G., Solís-Ramos, L. Y., y Viveros-Viveros, H. 2012. Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* Lindl. del estado de Veracruz. *Phyton*, 81(2), 239-247.
- López-Toledo, L., Heredia-Hernández, M., Castellanos-Acuña, D., Castellanos-Acuña, D., Blanco-García, A., & Sáenz-Romero, C. (2017). Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in Western Mexico: implications of climate change. *New Forests*, 48(6), 867–881. <https://doi.org/10.1007/S11056-017-9602-8>
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Ediciones Botas. México, pp 108-126.
- Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García, E. O., Márquez-Ramírez, J., y Cruz-Jiménez, H. 2015. Estudio de germinación de cinco procedencias de *Pinus greggii* Engelm. *Foresta Veracruzana*, 17(1): 49-56.
- Morales Hernández, J., Gómez Romero, M., Sánchez Vargas, N. M., Velázquez Becerra, C., Cruz-de-León, J., y Ambriz, E. 2022. Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México. *Bosque*, 43(3): 221-229.
- Morales-Hernández, J., Zepeda-Guzmán, S., Cruz-de León, J., Gómez-Romero, M., y Ambriz-Parra, J. E. 2017. Descripción macroscópica y germinación de semillas de *Pinus martinezii* Larsen del estado de Michoacán. *Foresta Veracruzana*, 19(1), 23-28.

- Muñoz F., H. J., Orozco G., G., Coria A., V. M., Muñoz V., Y.Y., y García M., J. J. 2012. Comparación de dos métodos de selección de árboles superiores en un área semillera de *Abies religiosa* (H.B.K.) Schltdl. et Cham. en Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*, 14(1): 1-8.
- Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, J., Gómez Cárdenas, M., Hernández Ramos, J., y Barrera Ramírez, R. 2023. Variación morfológica en semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria*, 33. 1-14.
- Narave-Flores, H., Taylor, K., y Gómez-Pompa, A. 1997. Flora de Veracruz: pinaceae. 1-53.
- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria del Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal A. C. Lomas de San Juan Chapingo, México pp.16-18.
- Ortega Mata, A., Mendizabal Hernández, L., Alba Landa, J., y Aparicio Rentería, A., 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del Estado de México. *Foresta Veracruzana*, 5(2): 29-34.
- Palacio-Prieto, J. L., Bocco, G., Velázquez, A., Mas, J. F., Takaki-Takaki, F., Victoria, A., y Trejo-Vázquez, I. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del Inventario Forestal Nacional 2000. *Investigaciones Geográficas*, (43): 183-203.
- Pedroso, H. L., Rocha-Filho, L. C., y Lomônaco, C. 2010. Variación fenotípica de plantas del Cerrado (*Sabana brasileña*) frente a la heterogeneidad ambiental. *Ecosistemas*, 19(1): 24-36.
- Perry, Jr. J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Rodríguez Laguna, R., Razo Zárate, R., Juárez Muñoz, J., Capulín Grande, J., y Soto Gutiérrez, R. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 35(4): 289-298.
- Rodríguez-Ortiz, G., Enríquez del Valle, J. R., & Rodríguez-Vásquez, M. E. (2023). Caracterización morfológica de semillas y eficiencia germinativa de *Pinus patulavar. longepedunculata* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*. *E-Cucba*, 10(20), 44–51. <https://doi.org/10.32870/ecucba.vi20.295>

- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 504 p.
- SAS Institute. 2019. SAS/OR 9.3 User's Guide: Mathematical Programming Examples. SAS institute.
- Solís-Sandoval, S., Gómez-Romero, M., y Velázquez-Becerra, C. 2019. Viabilidad y germinación de semilla de *Cordia elaeagnoides* A. DC. *Polibotánica*, (48), 121-134.
- Young, R. A. 1991. Introducción a las Ciencias Forestales. Edit. Limusa. México D. F. 632 p.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed. Limusa. México D. F. 545 p.

Capítulo 2

Evaluación en vivero de un ensayo de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus*

Nursery evaluation of a five-provenance of *Pinus pseudostrobus*

Resumen

Se realizó un estudio experimental para evaluar el comportamiento de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* en condiciones de vivero en la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM), Morelia, Michoacán. La investigación se ejecutó mediante un diseño completamente aleatorizado con 296 plantas, empleando sistemas de información geográfica (QGIS) para la caracterización climática de las procedencias y el sitio de propagación. Se evaluaron variables morfológicas y de desarrollo incluyendo número (NHC) y largo de hojas cotiledonares (LHC), diámetro del tallo (DT) y altura de planta (AP).

Los resultados revelaron que en NHC y LHC no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre procedencias, aunque las procedencias La Gloria, Perote, Veracruz y La Mesa, Coatepec, Veracruz, (P4 y P6, respectivamente) mostraron los valores más elevados en NHC, mientras que la P6 destacó en LHC. El análisis de varianza para altura de planta evidenció diferencias significativas ($p=0.05$) desde el tercer mes, destacando las procedencias de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2) y Amecameca, Estado de México (P1). En diámetro de planta, se observaron diferencias significativas ($p=0.05$) entre el cuarto y quinto mes, y en las evaluaciones finales, donde P4 mostró el mayor promedio.

La supervivencia a un año varió significativamente, con Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5) alcanzando 82.8%, mientras que Amecameca, Estado de México (P1) registró 56.3%. Las procedencias de la variedad típica *pseudostrobus*, exhibieron superior desarrollo en altura. Este estudio proporciona información fundamental para la selección de procedencias en programas de reforestación y mejoramiento genético, considerando su adaptabilidad y desarrollo en condiciones de vivero.

Palabras clave: cotiledones, propagación, supervivencia, zonas geográficas.

Abstract

An experimental study was conducted to evaluate the performance of five provenances of *Pinus pseudostrobus* under nursery conditions at the Forestry Commission of the State of Michoacán (COFOM) in Morelia, Michoacán. The research utilized a completely randomized design with 296 plants, employing geographic information systems (QGIS) for the climatic characterization of the provenances and the propagation site.

Morphological and developmental variables were assessed, including the number of cotyledonary leaves (NHC), their length (LHC), stem diameter (DT), and plant height (AP). The results indicated that no statistically significant differences were observed between provenances for NHC and LHC, although the provenances La Gloria, Perote, Veracruz, and La Mesa, Coatepec, Veracruz (P4 and P6, respectively) displayed the highest values for NHC, with P6 excelling in LHC. The analysis of variance for plant height revealed significant differences ($p=0.05$) starting from the third month, particularly highlighting the provenances of Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (P2), and Amecameca, State of Mexico (P1). In terms of plant diameter, significant differences ($p=0.05$) were recorded between the fourth and fifth months, and in the final evaluations, where P4 had the highest average. One-year survival rates varied significantly, with Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (P5) achieved 82.8% survival, while Amecameca, State of Mexico (P1) recorded 56.3%. The provenances of the typical *pseudostrobus* variety exhibited superior growth in height. This study provides essential information for selecting provenances in reforestation and genetic improvement programs, considering their adaptability and growth under nursery conditions.

Keywords: cotyledons, geographic areas, propagation, survival.

Introducción

Las especies del género *Pinus* son originarias del hemisferio Norte y en el continente americano se localizan desde los 66°00'00" latitud N, en el norte de Canadá, hasta los 12°00'00" latitud N en el sur de Nicaragua (Torre, 2015); son la principal conífera de clima templado en México, distribuyéndose en 24 estados del país, sobresaliendo dos en la región Centro Norte del país, uno en la Occidente, uno más en el sur y dos en el Golfo Centro (Semarnat, 2016). En México se registran 47 especies de pinos, que representan más de 42 % de las especies conocidas en el mundo (Sánchez-González, 2008).

La diversidad forestal que México posee, ha permitido evaluar y elegir poblaciones del género *Pinus* para diferentes usos, estos pueden ser tan amplios de acuerdo a las necesidades que se quieran satisfacer (Vargas, 1994), por lo anterior se requiere realizar diversas evaluaciones de las especies, en adaptación y desarrollo. Las poblaciones forestales que se distribuyen de manera natural tienden a presentar variaciones dependiendo de la zona geográfica donde se desarrollen (Rehfeldt, 1988), estas variaciones son una respuesta del ambiente en que se desarrollan, la comparación de estas variaciones genéticas es necesaria para poder generar estrategias de movimiento de semilla, plántulas, planta, así como para garantizar la satisfacción al uso que se les quiera dar, según el ambiente al que estén adaptados (Rehfeldt, 1991). Un ensayo de procedencias es la propagación ya sea en vivero o campo de una especie o más, procedentes de distintas zonas geográficas, de tal manera que permita una comparación estadísticamente válida entre ellas en cuanto a productividad y otras características que se requieran evaluar (Flores-Flores *et al.*, 2014). La base de los ensayos de procedencias es la variación genética, esta puede ser a diferentes niveles: entre familias, especies, regiones geográficas o rodales (Contreras, 2004). Por lo tanto, un ensayo de procedencias ayuda a realizar programas de conservación y manejo de recursos naturales a corto, mediano y largo plazo, optimizando recursos tanto naturales como económicos (Torres-Valverde *et al.*, 2022).

Los pinos mexicanos son de gran importancia económica por su aporte al país y su contribución al Producto Interno Bruto (PIB) forestal (Moctezuma *et al.*, 2020). Desde el punto de vista social, la importancia radica en el número de habitantes en las zonas boscosas donde se benefician de los bienes y servicios que los bosques

les brindan (Recursos Forestales Maderables <RFM> y No Maderables <RFNM>), se estima que 5.3 millones de personas viven y dependen de los bosques (CONAPO, 2015). Ecológicamente las especies del género *Pinus* brindan diversos servicios estos pueden ser hidrológicos como la filtración de agua y la regulación de los flujos hídricos debido a que están adaptados a una amplia cantidad de condiciones que incluyen factores como temperatura, precipitación, altitud sobre el nivel del mar y suelos, entre otros (Bermejo, 1980)

Pinus pseudostrobus está presente desde los (800) 1900 a 3000 msnm principalmente en bosque de pino o pino-encino (Perry, 1991) principalmente en el centro del país. En el eje Neovolcánico transversal (ENT), esta amplia distribución da como resultado la variación fenotípica de la especie producto de la presión ambiental en la que ésta se desarrolle (Chávez-García *et al.*, 2022), denominada como plasticidad fenotípica es fundamental en los procesos de adaptación, supervivencia, desarrollo, reproducción y evolución en ecosistemas cambiantes (Hernández *et al.*, 2008; Parejo-Farnés *et al.*, 2019).

El principal aprovechamiento de *P. pseudostrobus* es la madera aserrada dada la calidad de la misma (Eguíluz, 1977), también el establecimiento de plantaciones comerciales, dado su rápido crecimiento (Eguíluz, 1978). La productividad o rendimiento de las reforestaciones o plantaciones comerciales dependen de la calidad y características de la planta que se emplea, estas características en la mayoría de las veces están dadas por la procedencia de la planta (Sigala-Rodríguez *et al.*, 2015; Villegas-Jiménez *et al.*, 2016). Realizar un ensayo de procedencias en vivero tomando en cuenta el crecimiento en diámetro y altura de la planta, así como el largo de hojas cotiledonares y supervivencia es básico para evaluar el comportamiento de la especie, esto con la finalidad de obtener información de caracteres adaptativos, que les permiten crecer en ambientes distintos al de su lugar de procedencia, su potencial producción operativa en vivero y el posible establecimiento de plantaciones comerciales, brindando alternativas que permitan tener un panorama más claro al momento de elegir planta según el objetivo que se tenga (Eguíluz, 1977). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue realizar una evaluación de un ensayo de cinco procedencias en vivero de *Pinus pseudostrobus*.

Materiales y métodos

El estudio inició con planta ya establecida en vivero, perteneciente a cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus*, ubicada en el vivero de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) en Morelia, Michoacán, México.

Se realizó una caracterización a nivel de tipo de clima por procedencia y para el sitio de propagación, utilizando el software QGIS y la serie VII de uso de suelo y vegetación de INEGI (Tabla, 1).

Tabla 1. Localización geográfica y caracterización de tipo de clima, suelo y vegetación para las procedencias de estudio de *Pinus pseudostrobus*.

Procedencia	Origen	Taxón	Coordenadas geográficas	Altitud (msnm)	Tipo clima	Tipo desuelo	Tipo de vegetación	Temperatura media anual (° C)	Precipitación media anual (mm)
P. 1	Amecameca, Amecameca, Mex.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19° 8'3.00"N 98°43'26.21"O	2740	Templado subhúmedo	Cambisol	Bosque de pino-encino	18	800
P. 2	Sta Ana Jerahuaro, Mpio. Zinapécuaro, Mich.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°50'59.16"N 100°39'2.30"O	2780	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque de pino-encino	18	800
P. 3	El Floripondio, Mpio. Zapotlán, Jal.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>pseudostrobus</i>	19°37'19.96"N 103°37'0.56"O	2730	Templado subhúmedo	Regosol	Bosque de pino	18	800
P. 4	La Gloria, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°22'56.20"N 97°15'0.08"O	2700	Semifrío subhúmedo	Andosol	Bosque de pino	12	1180
P. 5	Francisco I Madero, Mpio. Perote, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>oaxacana</i>	19°31'37.62"N 97°13'39.75"O	2750	Templado subhúmedo	Andosol	Bosque de pino	18	800
P. 6	Mesa del laurel, Mpio. Coatepec, Ver.	<i>P. pseudostrobus</i> var. <i>coatepecensis</i>	19°30'51.64"N 97° 3'53.96"O	2720	Templado húmedo	Andosol	Vegetación derivada de bosque de pino-encino	15	1000
Vivero	Morelia, Michoacán	-----	19°40'23.32"N 101°14'11.84"O	1800	Templado subhúmedo	-----	-----	20	754

En vivero se trabajó con un tamaño de muestra total inicial de 296 plantas, ya establecidas y ubicadas en un diseño experimental completamente al azar, cada planta previamente fue etiquetada según la procedencia correspondiente para no perder su identidad. Las variables evaluadas fueron número (NHC) y largo de hojas cotiledonales (LHC), diámetro a la base del tallo (DT) y altura total de planta (AP).

Para obtener el NHC, se realizó un conteo individual por cada una de las plantas de cada procedencia. El LHC se tomó con una regla con aproximación al milímetro, tomando una hoja por planta con orientación norte, esto para garantizar condiciones iguales.

Las variables evaluadas en planta DT y AP, se tomaron de manera mensual hasta un año después de la siembra. La AP se midió desde el cuello del tubete hasta la yema principal de crecimiento, con el apoyo de una regla con aproximación al milímetro. El DT se midió a la altura del cuello del tubete con la ayuda de un vernier digital (STREN, HER-41, $\pm 0,1$ mm de precisión) con aproximación al milímetro, a partir del tercer mes después de la siembra.

Para analizar las variables evaluadas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) en el paquete estadístico SAS; para definir diferencias entre las procedencias, se compararon los valores de las medias para las variables por el método de Tukey-Kramer. La supervivencia se calculó en porcentaje con un conteo individual de manera mensual.

Resultados

Comparando las cinco procedencias evaluadas de *P. pseudostrobus*, para las variables NHC y LHC no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, para la variable NHC, la P4 y la P6 presentaron los promedios más altos, mientras que el promedio más bajo lo presentó la P2 (Tabla, 2). En LHC la P6 presentó el promedio más alto, seguida de las P1 y P4, el promedio más bajo fue el de la P5 (Tabla, 3).

Tabla 2. Estadísticas descriptivas para número de hojas cotiledonales (NHC) en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán.

Procedencia	Mín.	Máx.	Media	Desviación estándar
P1	5	9	6.92	0.81
P2	5	8	6.81	0.66
P4	5	9	7.23	0.92
P5	5	9	6.82	0.78
P6	5	9	7.16	0.91

P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Min= número mínimo de hojas cotiledonales, Máx= número máximo de hojas cotiledonales.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas para largo de hojas cotiledonales (LHC) en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia Michoacán.

Procedencia	Mín.	Máx.	Media	Desviación estándar
P1	1	2	1.51	0.29
P2	1	2.1	1.49	0.32
P4	1.2	2.3	1.51	0.31
P5	1	2	1.45	0.31
P6	1	2.4	1.56	0.30

P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Min= mínimo, Máx= máximo.

El análisis de varianza realizado de manera mensual para altura de planta (AP), mostró diferencias significativas ($p \leq 0.017$), entre procedencias a partir del tercer mes de evaluación y hasta la evaluación final a un año después de la siembra (Tabla, 4).

Tabla 4. Análisis de varianza mensual para altura de planta (AP) en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán.

Tiempo (mes)	GL	F	P
1	4	1.16	0.326
2	4	0.77	0.543
3	4	3.06	0.017
4	4	7.10	<.0001
5	4	4.67	0.0012
6	4	15.91	<.0001
7	4	14.50	<.0001
8	4	34.83	<.0001
9	4	26.92	<.0001
10	4	29.77	<.0001
11	4	28.25	<.0001

GL=grados de libertad, F=valor de F, P=probabilidad.

La prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) para AP, mostró que al mes tres después de la siembra, la procedencia cuatro de La Gloria, Perote, Veracruz, presentó el promedio más alto y estadísticamente mostró similitud con la P1, P2, P6 y fue diferente respecto a la P5. Al mes cuatro después de la siembra la procedencia dos de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, mostró el promedio más alto y estadísticamente fue similar a la P4 y diferente respecto a la P1, P5 y P6. Del mes cinco al mes siete, las procedencias uno y dos presentaron los promedios más altos, sin embargo, a partir del mes ocho y hasta la evaluación final las tendencias fueron las mismas donde la procedencia dos de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán y uno de Amecameca Estado de México tuvieron los promedios más altos y estadísticamente fueron diferentes a la P4, P5 y P6 (Tabla 5).

En cuanto a los promedios más bajos en AP, en las evaluaciones del mes uno y dos los promedios más bajos, los presentó la procedencia uno de Amecameca Estado de México y a partir del mes tres y hasta la evaluación final los promedios más bajos fueron los de la cinco, de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (Tabla, 5).

Tabla 5. Valores promedio para altura por procedencia de *Pinus pseudostrobus* en un ensayo establecido en vivero en Morelia, Michoacán.

Tiempo (mes)	Procedencias	Altura total (cm)±error estándar	Tiempo (mes)	Procedencias	Altura total (cm) ±error estándar
1	P1	1.81±0.03 ^a	7	P1	14.78±0.32a
	P2	1.83±0.05 ^a		P2	15.55±0.52a
	P4	1.86±0.03 ^a		P4	14.11±0.38ab
	P5	1.83±0.03 ^a		P5	12.03±0.32c
	P6	1.92±0.04 ^a		P6	12.93±0.33bc
2	P1	3.29±0.09 ^a	8	P1	17.63±0.35 ^a
	P2	3.38±0.12 ^a		P2	18.87±0.60 ^a
	P4	3.52±0.10 ^a		P4	15.54±0.44b
	P5	3.31±0.09 ^a		P5	13.18±0.33c
	P6	3.44±0.11 ^a		P6	13.85±0.33c
3	P1	5.45±0.20ab	9	P1	18.69±0.35 ^a
	P2	6.07±0.25ab		P2	20.02±0.57 ^a
	P4	6.13±0.18 ^a		P4	16.56±0.47b
	P5	5.28±0.19b		P5	14.54±0.41c
	P6	5.69±0.20ab		P6	15.30±0.37bc
4	P1	7.76±0.33b	10	P1	19.14±0.36 ^a
	P2	9.45±0.38 ^a		P2	20.56±0.55 ^a
	P4	8.28±0.25ab		P4	16.79±0.46b
	P5	7.21±0.22b		P5	14.85±0.40c
	P6	8.21±0.28b		P6	15.65±0.37bc
5	P1	9.31±0.38b	11	P1	19.29±0.37 ^a
	P2	11±0.44 ^a		P2	20.62±0.55 ^a
	P4	9.24±0.27bc		P4	16.99±0.46b
	P5	8.03±0.27c		P5	15.01±0.41c
	P6	9.23±0.31bc		P6	15.95±0.36bc
6	P1	12.20±0.33ab			
	P2	13.47±0.44 ^a			
	P4	11.16±0.28bc			
	P5	10.03±0.26c			
	P6	11.08±0.27bc			

P1=Amecameca, Estado de México, P2=Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P4=La Gloria, Perote, Veracruz, P5=Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6=Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes en un mismo mes, muestran diferencias significativas ($P<0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

La variable altura de planta (AP) a un año después de la siembra, presentó diferencias estadísticamente significativas entre procedencias ($P<0.001$). Las procedencias formaron tres grupos, el primero con los promedios más altos conformado por las procedencias uno y dos, el segundo grupo lo conformó la P4, pero también se encuentra incluida la P6, el tercer grupo está integrado por la P5, pero también está incluida la P6 (Figura, 1).

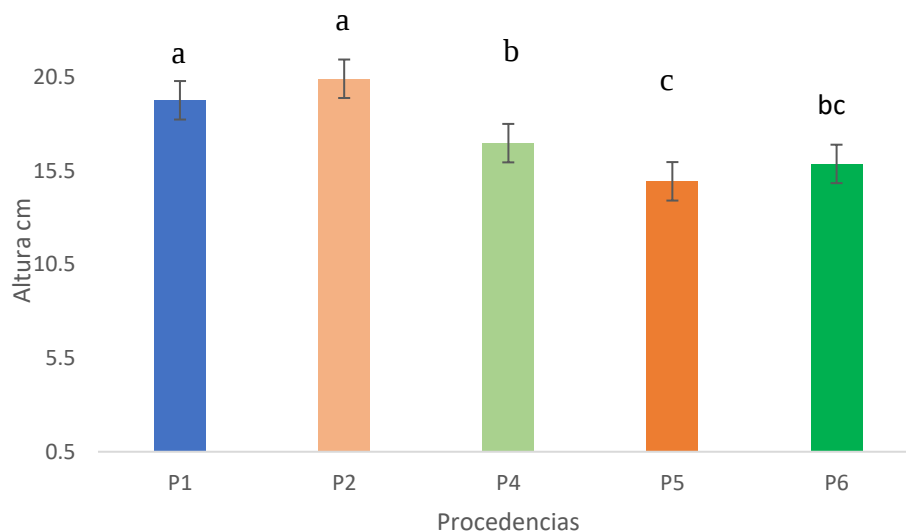


Figura 1. Altura de planta a un año después de la siembra en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P3= El Floripondio, Zapotlán, Jalisco; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y P6= Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En cuanto a la trayectoria de crecimiento en altura (AP) en los primeros tres meses, todas las procedencias presentaron un crecimiento similar con pequeñas diferencias, sin embargo, a partir del mes cuatro y hasta la última evaluación a un año después de la siembra la procedencia dos de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, mostró una trayectoria de crecimiento más rápida, respecto a las demás procedencias, al mismo tiempo, a partir del mismo mes y hasta la última evaluación a un año después de la siembra, la procedencia cinco de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz presentó la trayectoria de crecimiento más lenta (Figura, 2).

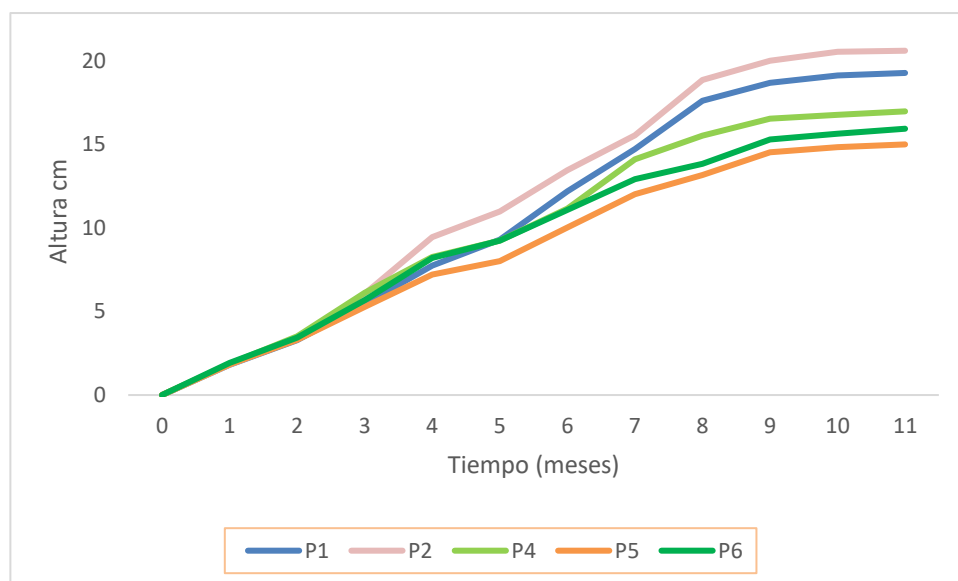


Figura 2. Trayectoria de crecimiento de planta en altura de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidos en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P3= El Floripondio, Zapotlán, Jalisco; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y P6= Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.

El análisis de varianza realizado para la variable diámetro de planta (DP), mostró diferencias significativas entre procedencias ($p=0.05$), partir de la segunda medición, mes cuatro después de la siembra y hasta la quinta, a partir de la sexta medición y hasta la octava no hubo diferencias estadísticamente significativas entre procedencias, mientras que en las últimas dos evaluaciones nuevamente el análisis de varianza presentó diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre procedencias (Tabla, 6)

Tabla 6. Análisis de varianza mensual para DP en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán.

Tiempo (mes)	GL	F	P
3	4	2.26	0.0628
4	4	4.20	0.0027
5	4	4.67	0.0012
6	4	2.29	0.0599
7	4	0.67	0.6070
8	4	1.06	0.412
9	4	1.56	0.1859
10	4	3.23	0.0133
11	4	5.03	0

GL=grados de libertad, F=valor de F, P=probabilidad.

La prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) para DP, al mes cuatro mostró que la procedencia seis de la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz presentó el promedio más alto, aunque estadísticamente fue similar a las P1, P2 y P6 y fue diferente respecto a la P5. Al mes cinco, las procedencias de la P6 continuaron mostrando el promedio más alto y estadísticamente fueron diferente a las plantas de P1 y P5. Del mes seis al mes nueve no se encontraron diferencias estadísticas entre procedencias, sin embargo, al mes diez la procedencia cuatro de La Gloria, Perote, Veracruz, presentó el promedio más alto; esta tendencia se mantuvo hasta la evaluación final a un año después de la siembra (Tabla, 7).

En cuanto a los promedios más bajos en DP, en todas las evaluaciones la procedencia uno de Amecameca Estado de México y la procedencia cinco de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, presentaron los valores más bajos (Tabla, 7).

Tabla 7. Valores promedio para diámetro por procedencia de *P. pseudostrobus* en un ensayo establecido en vivero en Morelia, Michoacán.

Tiempo (mes)	Procedencias	Diámetro (mm) $\pm$ error estándar	Tiempo (mes)	Procedencias	Diámetro (mm) $\pm$ error estándar
3	P1	1.15 $\pm$ 0.02	4	P1	1.67 $\pm$ 0.03ab
	P2	1.18 $\pm$ 0.02		P2	1.76 $\pm$ 0.04a
	P4	1.23 $\pm$ 0.02		P4	1.68 $\pm$ 0.04ab
	P5	1.17 $\pm$ 0.02		P5	1.58 $\pm$ 0.03b
	P6	1.21 $\pm$ 0.02		P6	1.77 $\pm$ 0.03a
5	P1	1.89 $\pm$ 0.04b	6	P1	2.43 $\pm$ 0.05
	P2	1.99 $\pm$ 0.05ab		P2	2.62 $\pm$ 0.08
	P4	1.94 $\pm$ 0.06ab		P4	2.51 $\pm$ 0.07
	P5	1.84 $\pm$ 0.04b		P5	2.42 $\pm$ 0.06
	P6	2.13 $\pm$ 0.05 ^a		P6	2.63 $\pm$ 0.05
7	P1	2.81 $\pm$ 0.06	8	P1	3.20 $\pm$ 0.07
	P2	2.83 $\pm$ 0.08		P2	3.31 $\pm$ 0.08
	P4	2.77 $\pm$ 0.07		P4	3.28 $\pm$ 0.08
	P5	2.72 $\pm$ 0.07		P5	3.15 $\pm$ 0.07
	P6	2.87 $\pm$ 0.07		P6	3.34 $\pm$ 0.08
9	P1	3.41 $\pm$ 0.08	10	P1	3.51 $\pm$ 0.08b
	P2	3.61 $\pm$ 0.10		P2	3.75 $\pm$ 0.10ab
	P4	3.65 $\pm$ 0.10		P4	3.87 $\pm$ 0.10a
	P5	3.41 $\pm$ 0.08		P5	3.57 $\pm$ 0.07ab
	P6	3.50 $\pm$ 0.07		P6	3.75 $\pm$ 0.05ab
11	P1	3.65 $\pm$ 0.07b			
	P2	3.85 $\pm$ 0.09ab			
	P4	4.09 $\pm$ 0.10 ^a			
	P5	3.65 $\pm$ 0.07b			
	P6	3.85 $\pm$ 0.05ab			

P1= Amecameca, Estado de México, P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, P4= La Gloria, Perote, Veracruz, P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, P6= Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes en un mismo mes, muestran diferencias significativas ($P<0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

La variable diámetro de planta (DP) a un año después de la siembra, presentó diferencias estadísticamente significativas entre procedencias ($P < 0.05$). Las procedencias formaron dos grupos el primero con los promedios más altos conformado por la procedencia cuatro, pero también están incluidas las P2 y P6, el segundo grupo lo conformaron las procedencias uno y cinco, pero también están incluidas las P2 y P6 (Figura, 3).

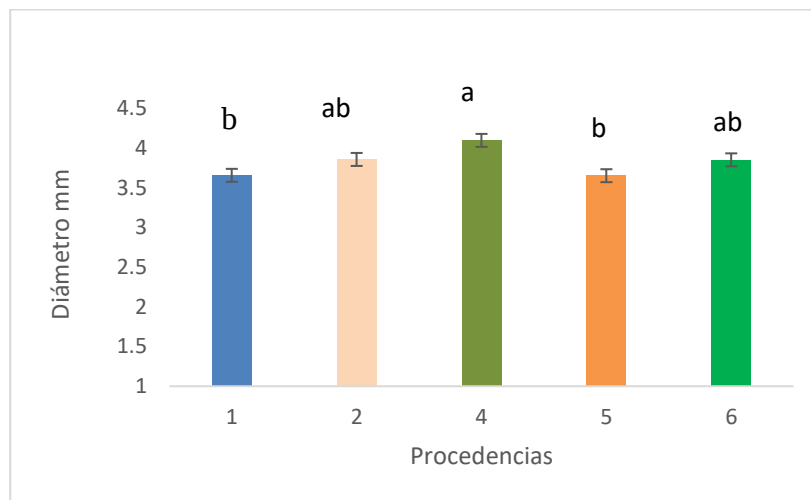


Figura 3. Diámetro del tallo de planta a un año después de la siembra en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P3= El Floripondio, Zapotlán, Jalisco; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y P6= Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz. Letras diferentes indican diferencia significativa ($p < 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

La trayectoria de crecimiento en diámetro de planta (DP) fue muy similar en todas las procedencias, sobre todo en las evaluaciones de los meses iniciales, sin embargo, a partir de la evaluación al mes diez y hasta la medición final a un año después de la siembra la procedencia cuatro de La Gloria, Perote, Veracruz, presentó la trayectoria más rápida para esta variable, mientras que las trayectorias más lentas fueron las de las procedencias uno de Amecameca Estado de México y cinco de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz (Figura, 4).

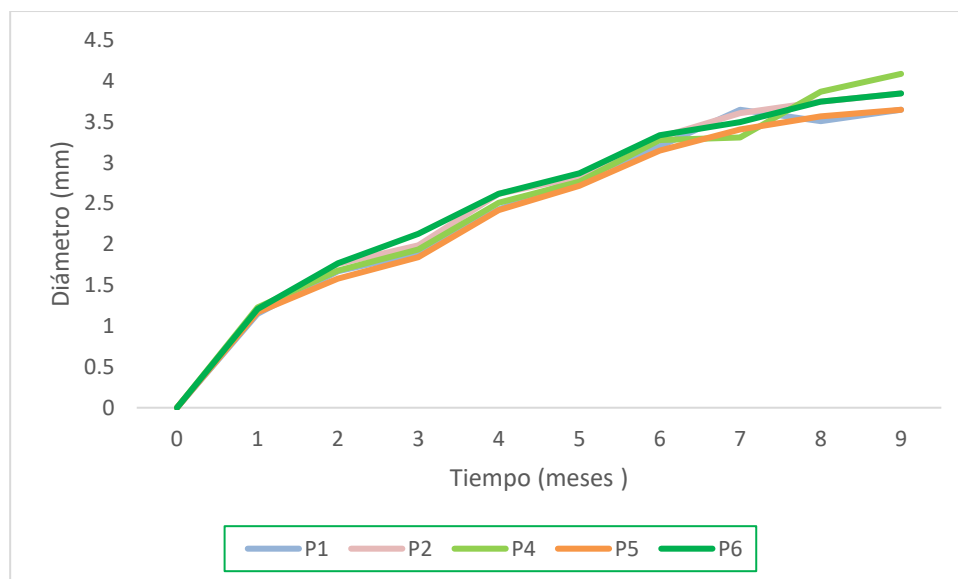


Figura 4. Trayectoria de crecimiento en diámetro del tallo de planta en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P3= El Floripondio, Zapotlán, Jalisco; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y (P6) Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz.

En cuanto a la mortalidad de planta la procedencia que tuvo mayor pérdida, fue la uno de Amecameca Estado de México, dicha pérdida se presentó del mes uno al mes ocho después de la siembra, la procedencia que presentó una menor mortalidad fue la cinco de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz, al no presentar pérdidas a partir del mes seis después de la siembra (Figura, 5).

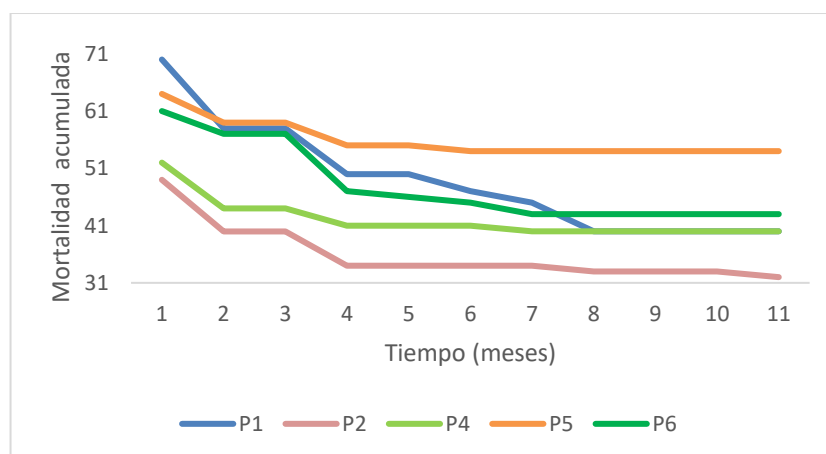


Figura 5. Mortalidad acumulada en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y P6= Mesa del laurel, Coatepec, Veracruz.

La supervivencia más alta en porcentaje a un año después de la siembra la presentó la procedencia cinco de Francisco I. Madero, Perote, Veracruz con un 82.8%, seguida por la procedencia cuatro de La Gloria, Perote, Veracruz con un 72.7%, el porcentaje más bajo fue de la procedencia uno de Amecameca Estado de México con un 56.3 % (Figura, 6).

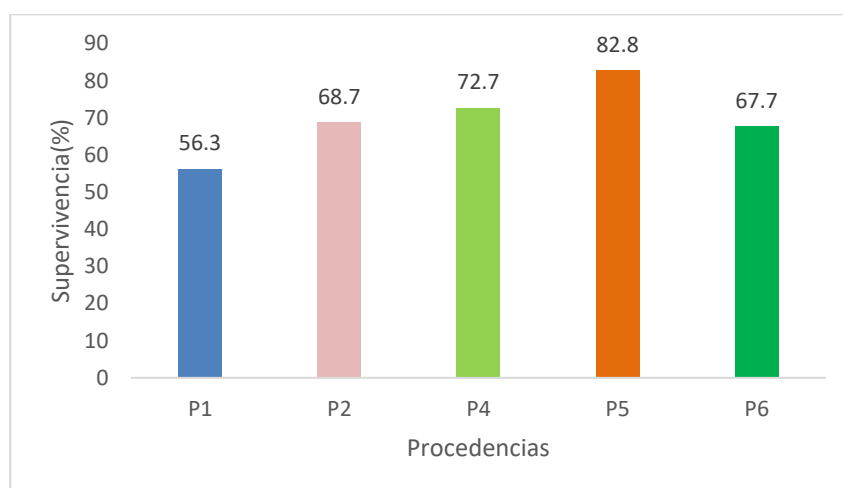


Figura 6. Supervivencia en porcentaje en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en vivero en Morelia, Michoacán. P1= Amecameca, Estado de México; P2= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán; P3= El Floripondio, Zapotlán, Jalisco; P4= La Gloria, Perote, Veracruz; P5= Francisco I. Madero, Perote, Veracruz y P6= Mesa del laurel, Coatepec, Veracruz.

Discusión

En el presente estudio, la caracterización morfológica de las procedencias de *Pinus pseudostrobus*, reveló patrones distintivos en diferentes variables de desarrollo. El largo de hojas cotiledonales (LHC) mostró una variación entre 1.0 y 2.3 cm, valores que se encuentran dentro del rango reportado por García *et al.* (2001), para *Pinus teocote* (0.90-3.30 cm). Respecto al número de hojas cotiledonales (NHC), se registraron entre 5 y 9, mostrando similitud en el rango inferior con lo reportado para *P. montezumae* por Herrera-Hernández *et al.* (2024), quienes observaron entre 6 y 7 hojas y coincidiendo también para *P. patula* para el cual Fuentes-Amaro *et al.* (2020), registraron 5 hojas cotiledonales.

En cuanto al desarrollo en altura de planta (AP), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre procedencias a partir de los 60 días después de la siembra (dds), dato que concuerda con lo reportado por Castellanos-Acuña *et al.* (2013) y Villegas-Jiménez *et al.* (2016), para la misma especie. Este patrón temporal

difiere de lo observado en otras especies del género como *P. patula* donde Pérez-Luna *et al.* (2024), reportaron diferencias a los siete meses (García *et al.*, 2001) y *P. chiapensis*, donde Salazar (1994) encontró variaciones significativas hasta un año después de la siembra.

El análisis del crecimiento, mostró que a los dos meses después de la siembra, la altura osciló entre 3.29 y 3.52 cm, valores similares reportados por Villegas-Jiménez *et al.* (2016), para la especie (3.2-4.5 cm). A los tres meses se registraron alturas entre 5.28 y 6.13 cm, inferiores a los 8.8 cm reportados por Castellanos-Acuña *et al.* (2013). Al año de establecimiento, las plantas alcanzaron alturas entre 15.01 y 20.62 cm, ligeramente menores a los reportado por Contreras *et al.* (2004), para la especie. Esta variación en el crecimiento también se evidencia al comparar con otras especies del género; Sáenz Reyes *et al.* (2014), reportaron para *P. michoacana* y *P. ayacahuite* alturas de 9.83 cm y 28.45 cm respectivamente, al año de edad, valores que difieren de los observados en el presente estudio.

El análisis del diámetro de planta (DP), reveló diferencias estadísticamente significativas entre procedencias durante los meses cuatro y cinco después de la siembra, que coinciden con lo encontrado por Villegas-Jiménez *et al.* (2016), quienes reportaron variaciones similares a los 54 y 166 días. Estos resultados también son consistentes con los estudios de Viveros-Viveros *et al.* (2005b), en una plantación en los Amoles, Michoacán y los de Castellanos-Acuña *et al.* (2013), en condiciones de vivero a los tres y cinco meses de edad. Es notable que las diferencias entre procedencias se disiparon al sexto mes reapareciendo al décimo mes, patrón similar al reportado por Contreras *et al.* (2004), para *Pinus oaxacana* actualmente considerado sinónimo de *P. pseudostrobus* según Farjon (2001).

Las mediciones de diámetro del tallo a los cuatro meses oscilaron entre 1.58 y 1.77 mm, valores que se encuentran dentro del rango reportado por Villegas-Jiménez *et al.* (2016), de 1.44 a 1.68 mm. Al año de establecimiento, los diámetros variaron entre 3.65 y 4.09 mm, manteniéndose dentro del intervalo reportado por Contreras *et al.* (2004), de 3.5 a 5.3 mm.

El análisis de altura de planta (AP) y diámetro de tallo de planta (DTA), junto con las características climáticas, edáficas, de vegetación, así como taxonómicas, reveló patrones distintivos entre procedencias de *P. pseudostrobus*. Durante los primeros tres meses, las P4 y P6 originarias de zonas con mayor humedad (precipitación media anual de 1180 y 1000 mm), mostraron los promedios mayores en altura, aunque sin

diferencias estadísticas significativas en los dos primeros meses. Al año de establecimiento, el análisis estadístico identificó tres grupos, donde la P1 de Amecameca estado de México y la P2 de Santa Ana Jerahuraro Michoacán conformaron el grupo de mayor desarrollo. Estas dos procedencias comparten características climáticas y de vegetación además de altitud similar. Sin embargo, la P5 que comparte estas mismas condiciones ambientales, presentó los promedios más bajos, posiblemente debido a su diferencia taxonómica (*P. pseudostrobus* var. *oaxacana*) sugiriendo que la variedad taxonómica fue un factor determinante en la adaptación y desarrollo de las plantas. Respecto al diámetro al año de establecimiento, el análisis estadístico también identificó tres grupos, destacando la P4 y la P6 con los mayores promedios, correlacionando positivamente con su origen en zonas con mayor humedad.

Los patrones de crecimiento en altura, durante los primeros seis meses no mostraron tendencias claras entre procedencias, a pesar de las diferencias significativas. Fue hasta el séptimo mes cuando se estableció un patrón claro de comportamiento, similar a lo reportado por García *et al.* (2001), para *P. teocote*.

Conclusiones

El estudio de las diferentes procedencias de *Pinus pseudostrobus* reveló patrones distintivos en sus características morfológicas y de desarrollo. Las procedencias de zonas con mayor humedad (La Gloria, Perote, Veracruz -P4- y Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz -P6-) exhibieron valores superiores en el número de hojas cotiledonares. En cuanto al largo de hojas cotiledonares, la P6 mostró las mayores dimensiones, seguida por la P1 (Amecameca, Estado de México) y la P4, sin evidenciar un patrón específico relacionado con factores climáticos, altitudinales o edáficos, sugiriendo una posible respuesta de origen genético.

El análisis del crecimiento en altura, evidenció diferencias significativas entre procedencias a partir del tercer mes post-siembra, con patrones que se consolidaron al octavo mes y se mantuvieron estables hasta el primer año. Destacaron la P2 (Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán) y la P1 con los mayores promedios en altura, mientras que la P5 (Francisco I. Madero, Perote, Veracruz) mostró el menor desarrollo. Es notable que las procedencias correspondientes a la variedad típica (var.

pseudostrobus), exhibieron un crecimiento superior en altura respecto a las otras variedades taxonómicas estudiadas.

En diámetro, la P4 alcanzó el mayor desarrollo, posiblemente debido a sus condiciones climáticas de origen, diferenciadas del resto de las procedencias. Respecto a la supervivencia, la P5 mostró el mejor desempeño con 82.8%, mientras que la P1 registró la mayor mortalidad.

La evaluación sugiere una notable plasticidad adaptativa en todas las procedencias estudiadas, haciéndolas potencialmente viables para programas de reforestación y plantaciones forestales. Sin embargo, la P2 se destaca como la opción más recomendable por su rendimiento superior en altura, segundo lugar en diámetro y alta supervivencia (68.7%), características fundamentales para programas de restauración y plantaciones forestales.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa para la selección de procedencias en futuros programas de reforestación y mejoramiento genético de *P. pseudostrobus*, considerando tanto el desempeño en vivero como las características adaptativas de cada procedencia.

Bibliografía

- Bermejo, V. B. 1980. Estudio de Variación de Características Morfológicas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. en Chiapas. Tesis de grado, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Estado de México 99 p.
- Castellanos-Acuña, D., Sáenz-Romero, C., Linding-Cisneros, R.A., Sánchez-Vargas, N., M., Lobbit., P y Montero-Castro., J. C. 2013. variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo de vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3): 399-411.
- Chávez-García, A. S., Hernández-Ramos, J., Muñoz-Flores, H. J., García-Magaña, J. J., Gómez-Cardenas, M., y Gutiérrez-Contreras, M. 2022. Plasticidad fenotípica de progenies de árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. superiores en producción de resina en vivero. *Madera y Bosques*, 28(1).
- Comisión Nacional de Población (Conapo). 2015. Proyecciones de la población de México: Indicadores Demográficos.

- Contreras, F. H. Z., y Rentería., A. A. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus oaxacana* Mirov de tres poblaciones de México. *Foresta Veracruzana*, 6(1), 21-26.
- Farjon, A. 2001. World Checklist and Bibliography of Conifers, ed. 2: 1-309. The Royal Botanic Gardens, Kew. [Cited as *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis*.
- Flores Flores, C., Lopez Upton, J., y Valencia Manzo, S. 2014. Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies.
- Fuentes-Amaro S. L., R. Rodríguez-Laguna, R. Razo-Zárate, J. Meza-Rangel, M. Jiménez-Casas y G. A. López-Zepeda. 2020. Energía germinativa en árboles selectos de *P. patula* Schl. et Cham. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 7:69-78.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, 28-30.
- García, E. O. R., Landa, J. A., y Hernández, L. D. C. M. 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl & Cham. *Foresta veracruzana*, 3(1), 27-35.
- Hernández V., S., López E., R. G., Sánchez P., P., Villarreal R., M., Parra T., S., Porras, F. y Corrales M., J. L. 2008. Variación fenotípica entre y dentro de poblaciones silvestres de chile del Noroeste de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(4), 323-330.
- Herrera-Hernández, R., López-Upton, J., Muñoz-Gutiérrez, L., y Ramírez-Herrera, C. 2024. Germinación y características de plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. En poblaciones del centro de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 47(2), 199-207.
- Moctezuma-López, G., y Flores, A. 2020. Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(60), 161-185.
- Parejo-Farnés, C., Aparicio, A., y Albaladejo, R. G. 2019. Una aproximación a la ecología epigenética en plantas. *Ecosistemas*, 28(1), 69-74. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1605>
- Pérez-Luna, A., Prieto-Ruíz, J. Á., López-Upton, J., Madrid-Aispuro, R. E., y Salcido-Ruíz, S. 2024. Ensayos de germinación y producción de planta de procedencias-progenies de *Pinus patula*. *Bosque (Valdivia)*, 45(2), 257-269.

- Rehfeldt, G. E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): A synthesis. *Silvae Genetica*, 37(3-4), 131–135.
- Rehfeldt, G. E. 1991. Gene resource management: Using models of genetic variation in silviculture. In USDA Forest Service (Ed.), Genetics/Silviculture workshop proceedings (pp. 31–44). Wenatchee, Washington, USA: USDA Forest Service.
- Sáenz Reyes, J., Muñoz Flores, H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda Sánchez, A., y Hernández Ramos, J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero " Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111.
- Salazar G. J.G. 1994. Variación Genética en el Crecimiento Inicial de Plántulas de *Pinus chiapensis* (Mtz) Andresen, bajo condiciones de invernadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y bosques*, 14(1), 107-120.
- Sigala Rodríguez, J. Á., González Tagle, M. A., & Prieto Ruíz, J. Á. (2015). Survival of *Pinus pseudostrobus* Lindl. plantations in terms of the production system and pre-conditioning in the nursery. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(30), 20-31.
- Torres-Rojo, J. M., R. Moreno-Sánchez and M. A. Mendoza-Briseño. 2016. Sustainable forest management in Mexico. Current Forestry Reports, 23 p.
- Torres-Valverde, J. M., Hernández-Díaz, J. C., Carrillo-Parra, A., Mendoza-Maya, E., y Wehenkel, 2022. Ensayo de procedencias de las piceas mexicanas en condiciones de vivero: tres especies amenazadas por la variación climática. (picea, pinaceae) de México, 89 p.
- Villegas-Jiménez, D. E., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. L., Enríquez-del-Valle, J. R., y Carrillo-Rodríguez, J. C. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana. Botánica*, 73(1), 113-123
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-romero, C., López-Upton C.J., y Vargas-Hernández, J.J. 2005a. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39: 575-587.

Capítulo 3

Caracterización morfológica de cuatro procedencias de *Pinus pseudostrobus* bajo estudio en jardín común

Morphological characterization of four provenances of *Pinus pseudostrobus* under study in a common garden

Resumen

Se realizó un estudio exhaustivo sobre *Pinus pseudostrobus*, una especie con amplia distribución altitudinal (800-3000 msnm) en México, principalmente en bosques de pino y pino-encino del Cinturón Volcánico Transmexicano. La investigación evaluó cuatro procedencias distribuidas en 35 familias en condiciones de jardín común, analizando variables morfológicas como altura total, diámetro del tallo, características de acículas y vainas.

Los análisis de varianza revelaron diferencias estadísticamente significativas entre procedencias para todas las variables evaluadas ($p \leq 0.05$). La procedencia de La Gloria, Perote, Veracruz (P3) mostró superioridad en altura y diámetro, mientras que la de Amecameca Estado de México (P1) presentó los valores más bajos. Las procedencias P2 de Teococuico, Oaxaca, P3 de La Gloria, Perote, Veracruz y P4 de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán exhibieron consistentemente cinco acículas por fascículo, mientras que la P1 de Amecameca estado de México varió entre cuatro y cinco. La procedencia P2 destacó en largo de acículas y P1 en largo de vaina.

A nivel familiar, se encontraron diferencias significativas en todas las variables. Las familias 8 y 32 sobresalieron en altura y diámetro, F8 178.79 cm de altura y 23.08 mm diámetro, F32 190.9 cm de altura y 20 mm de diámetro, mientras que las familias 26 y 37 mostraron los valores más bajos, F26 104.5 cm de altura y 10 mm de diámetro, F37 100 cm de altura y 10.4 en diámetro. Siete familias (26, 29, 30, 32, 36, 37 y 38) presentaron consistentemente cinco acículas por fascículo. La familia 17 destacó en largo de vaina con 12.3 mm y junto con la familia 22, en largo de acículas con 22.9 cm. Esta investigación proporciona información fundamental sobre la plasticidad fenotípica de *P. pseudostrobus* y su adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, contribuyendo significativamente al conocimiento necesario para programas de conservación y manejo forestal.

Palabras clave: acículas, desarrollo, tallo, vaina.

Abstract

An exhaustive study was conducted on *Pinus pseudostrobus*, a species with a wide altitudinal distribution (800-3000 m asl) in Mexico, mainly in pine and pine-oak forests of the Trans-Mexican Volcanic Belt. The research evaluated four provenances distributed in 35 families under common garden conditions, analyzing morphological variables such as total height, stem diameter, and needle and pod characteristics. The variance analyses revealed statistically significant differences between provenances for all variables evaluated ($p \leq 0.05$). The provenance from La Gloria, Perote, Veracruz (P3) showed superiority in height and diameter, while the one from Amecameca, State of Mexico (P1) presented the lowest values. Provenances P2 from Teococuico, Oaxaca, P3 from La Gloria, Perote, Veracruz, and P4 from Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán consistently exhibited five needles per fascicle, while P1 from Amecameca, State of Mexico, varied between four and five. Provenance P2 stood out in needle length, and P1 in sheath length. At the family level, significant differences were found in all variables. Families 8 and 32 stood out in height and diameter, F8 178.79 cm in height and 23.08 mm in diameter, F32 190.9 cm in height and 20 mm in diameter, while families 26 and 37 showed the lowest values, F26 104.5 cm in height and 10 mm in diameter, F37 100 cm in height and 10.4 in diameter. Seven families (26, 29, 30, 32, 36, 37, and 38) consistently presented five needles per fascicle. Family 17 stood out in sheath length at 12.3 mm, and together with family 22, in needle length at 22.9 cm. This research provides fundamental information on the phenotypic plasticity of *P. pseudostrobus* and its adaptability to different environmental conditions, contributing significantly to the knowledge needed for forest conservation and management programs.

Keywords: development, needles, stem, sheath.

Introducción

La diversidad biológica que México presenta es una de las más importantes a nivel mundial (Espinosa *et al.*, 2008), el territorio nacional cuenta con una compleja fisiografía y una variedad de climas y su historia geológica han creado una gran variedad de condiciones que hizo posible la existencia de especies tropicales y boreales y la diversificación de muchos grupos taxonómicos dentro del territorio (Koleff *et al.*, 2008). Esta variedad de condiciones ambientales causan variaciones fenotípicas en especies de amplia distribución, producto de la presión ambiental de sitio donde se desarrollan, estas variaciones están dadas por la plasticidad de las especies y no es más que la capacidad de un genotipo de generar un amplio rango de fenotipos distintos según el ambiente en el que se desarrolla (Climent *et al.*, 2005), se reconocen distintos tipos de plasticidad fenotípica, actuando a diferentes niveles del organismo o entre una generación y la siguiente (Climent *et al.*, 2005). En entornos hostiles ya sea por falta de humedad o suelos pobres, la selección natural puede hacer cambios en los alelos para maximizar la aptitud de las especies (Hoffmann y Sgrò, 2011), el estudio de la influencia que tiene la selección natural en la variación de las poblaciones o especies, es de gran importancia para comprender el comportamiento de estas (Tiffin y Ross-Ibarra, 2014; Flood y Hancock, 2017).

Las especies del género *Pinus* en México se distribuyen en condiciones ambientales distintas, pueden estar presentes en altitudes cercanas al nivel del mar, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (Sénécl.) W.H. Barret o a alturas superiores a los 4000 m como *Pinus hartwegii* Lindl. (Farjon y Styles, 1997), la mayoría de las especies del género se distribuyen en clima templado, otras habitan en zonas semidesérticas o zonas áridas (Piñero, 2004).

Pinus pseudostrobus es una especie que cuenta con amplia distribución está presente desde los (800) 1900 a 3000 metros sobre el nivel del mar, principalmente en bosque de pino o pino-encino (Perry, 1991), siendo una de las especies de pino que presenta poblaciones más continuas (Farjon y Styles, 1997), principalmente en el Cinturón Volcánico Transmexicano, y en menor proporción en la Sierra Madre del Sur y Sierra de Chiapas, también se ha reportado en la parte sur de la Sierra Madre Occidental y dentro del género *Pinus* es una de las especies con mayor aprovechamiento maderable en bosques naturales, aunque no está considerada una especie en riesgo o en peligro de extinción, en la actualidad se ha observado una

disminución de sus poblaciones, debido fundamentalmente a su sobreexplotación, donde varias de las poblaciones en Michoacán, Estado de México, Puebla y Chiapas, que habían sido reportadas por algunos autores (Madrigal, 1986) se encuentran fragmentadas (Manzanilla-Quñones *et al.*, 2019). Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue describir y analizar características morfológicas de cuatro procedencias de *P. pseudostrobus* bajo estudio en jardín común.

Materiales y métodos

Se contó con planta ya establecida en jardín común proveniente de cuatro procedencias: P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuico Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán.

Se tomó la altura total de planta desde la base del tallo hasta el ápice, con el apoyo de un flexómetro con aproximación a milímetros. El diámetro del tallo se tomó con un vernier digital (STREN HER-41 ± 0.1 mm). Posteriormente por cada familia se eligieron al azar tres individuos a los cuales se les extrajeron tres fascículos, a cada uno, de manera manual, se les contó el número de acículas, también se tomó la longitud en cm de las mimas con ayuda de una regla con aproximación al mm, se tomó el largo de vainas con ayuda de un vernier digital (STREN HER-41 ± 0.1 mm). Para evaluar el diámetro, altura, número de acículas por fascículo, longitud de vainas y de acículas se realizó un análisis de varianza en el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2014); para definir diferencias entre las procedencias y familias, se compararon los valores de las medias para las variables por el método de Tukey-Kramer.

Resultados

Al comparar las cuatro procedencias evaluadas de *P. pseudostrobus* en jardín común para la variable de altura, el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre procedencias ($P < 0.0001$), se observó que los individuos que presentaron un mayor promedio general son los correspondientes a la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz con 160.8 cm, seguida de la procedencia dos, Teococuico Oaxaca con 151.4 cm, el promedio general más bajo lo mostró la procedencia uno Amecameca Estado de México con 108.6 cm, sin embargo, la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió distinguir tres grupos diferentes, el grupo

uno fue conformado por la P3 y la P2 con los promedios más altos, la P4 formó otro grupo con los valores intermedios, finalmente la P1 formó el grupo restante con el promedio más bajo (Figura, 1).

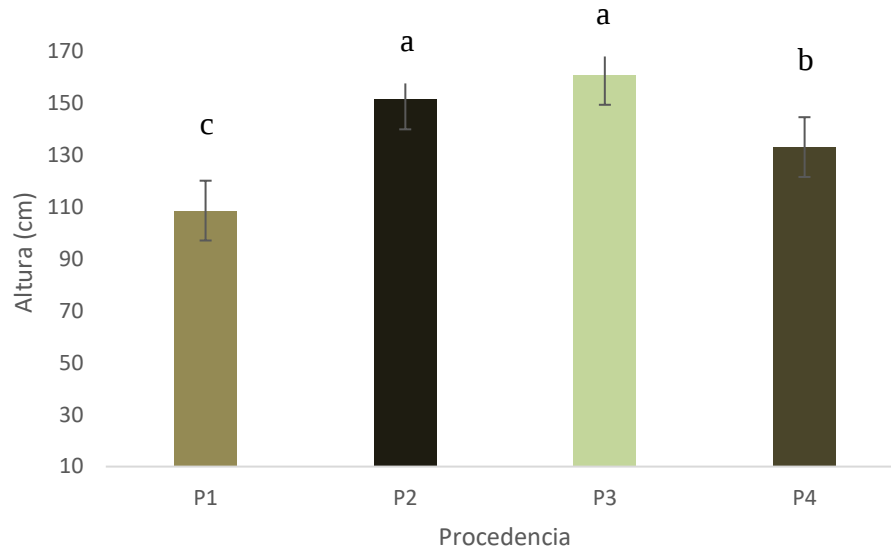


Figura 1. Altura de planta en cm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* en jardín común establecido en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En la variable diámetro del tallo, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las procedencias evaluadas ($P < 0.0001$) y la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió distinguir la formación de tres grupos entre procedencias, el grupo uno fue conformado por la P3 con el promedio más alto con 18.5 mm, la P2 formó otro grupo con los valores intermedios con 15.7 mm, finalmente las P1 y P4 formaron el grupo restante con los promedios más bajos los cuales fueron de 13.1 y 11.9 mm (Figura, 2).

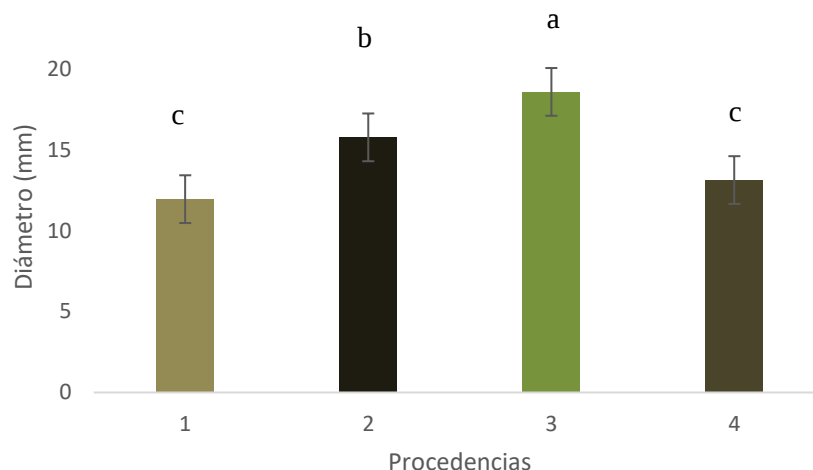


Figura 2. Diámetro a la base del tallo de planta en mm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Tarimbaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En cuanto a número de acículas, se presentaron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$), donde la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió distinguir dos grupos entre procedencias, el grupo uno está formado por las procedencias P3, P2 y P4 con los promedios generales más altos de número de acículas por fascículo 4.8 a 4.9, y el segundo grupo fue conformado por la P1 con el promedio más bajo de 4.6 (Figura, 3).

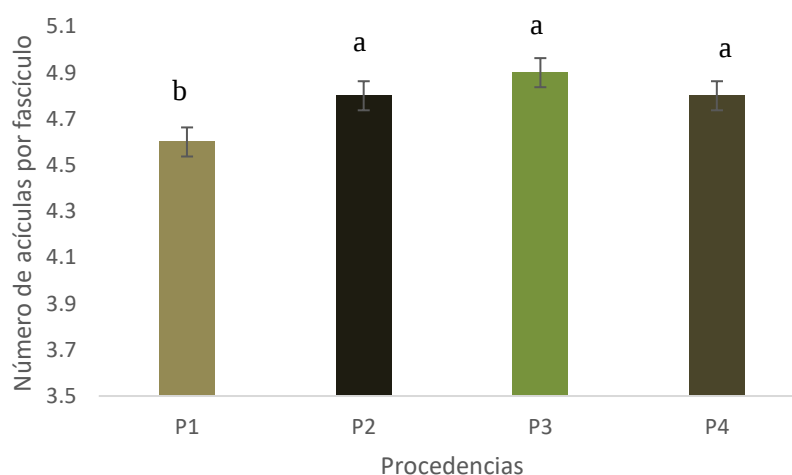


Figura 3. Número de acículas por fascículo en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus*: establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En largo acículas se presentaron diferencias altamente significativas entre las procedencias ($P < 0.0001$). Las procedencias formaron tres grupos según la prueba de Tukey-Kramer ($p \leq 0.05$), el primer grupo con el promedio más alto de lo conformó la P2 con 20.7 cm, pero también se encuentra incluida la P3 con 19.3 cm, el segundo grupo lo conforma la P1 con 18.1 cm, pero también está incluida la P3 y finalmente el grupo con el promedio más bajo lo conforma la P4 con 16.5 cm, pero también está incluida la P1 (Figura, 4).

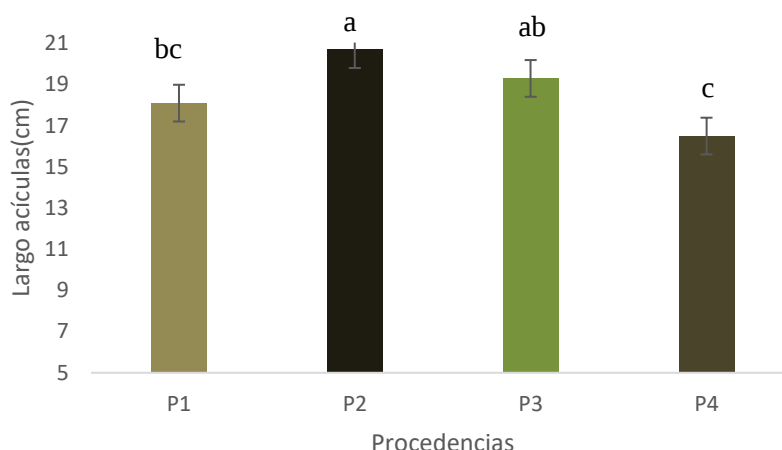


Figura 4. Largo de acículas en cm, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En largo de vaina, el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas entre las procedencias evaluadas ($P < 0.013$), la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió distinguir dos grupos entre procedencias, el primer grupo lo formó la P1, pero también estuvieron incluidas las P2 y P4 con promedios de 9.8 a 9.3 mm, y el segundo grupo lo conformó la P3, pero también estuvieron incluidas las P2 y P4 con promedios de 8.6 a 9.3 mm (Figura, 5).

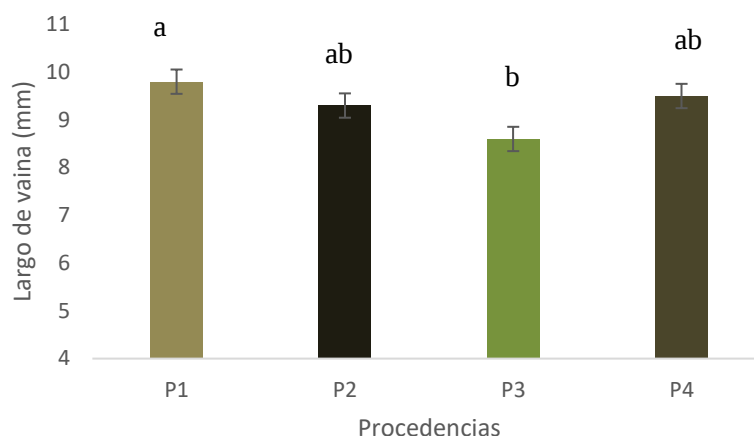


Figura 5. Largo de vaina en mm, por procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. Amecameca Estado de México, Teococuilco Oaxaca, La Gloria, Perote, Veracruz, Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Comparando las familias que se encuentran dentro de las procedencias de *P. pseudostrobus* en jardín común para las variables altura, diámetro, número de acículas por fascículo, largo de acículas y largo de vainas, el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas entre familias para todas las variables evaluadas ($P < 0.0001$).

Para altura total de planta el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticamente significativas entre familias ($P < 0.0001$), la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) mostró la formación de varios grupos entre familias donde los promedios más altos para esta variable se presentaron en las familias 32 y 8 con 190 y 178.8 cm, ambas correspondientes a la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz, mientras que los promedios más bajos los mostraron las familias 11, 20 y 37 con 104, 102 y 100.6 cm respectivamente, las primeras dos pertenecientes a la procedencia uno Amecameca Estado de México y la última de la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz (Figura, 6).

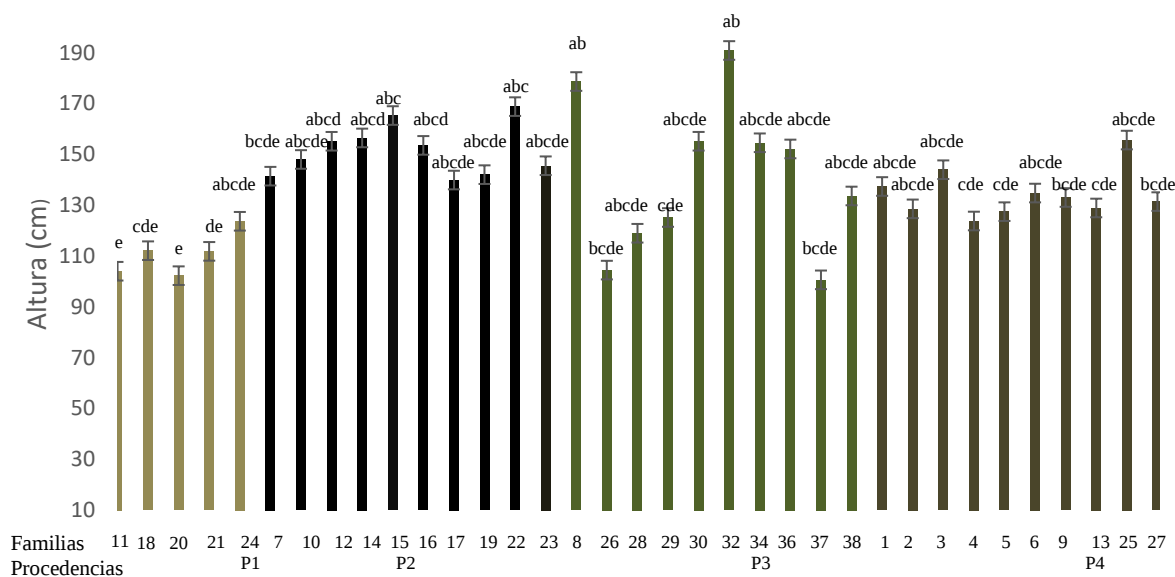


Figura 6. Altura de planta en cm, por familia, en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuillo Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En la variable de diámetro a la base del tallo de planta, el análisis de varianza mostró diferencias entre familias ($P < 0.0001$) y la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió observar la formación de varios grupos donde los promedios más altos para dicha variable fueron los de las familias 8 y 32 con 23 y 20 mm pertenecientes a la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz, sin embargo, los promedios más bajos fueron los de las familias 26 y 36, pertenecientes a la misma procedencia (Figura, 7).

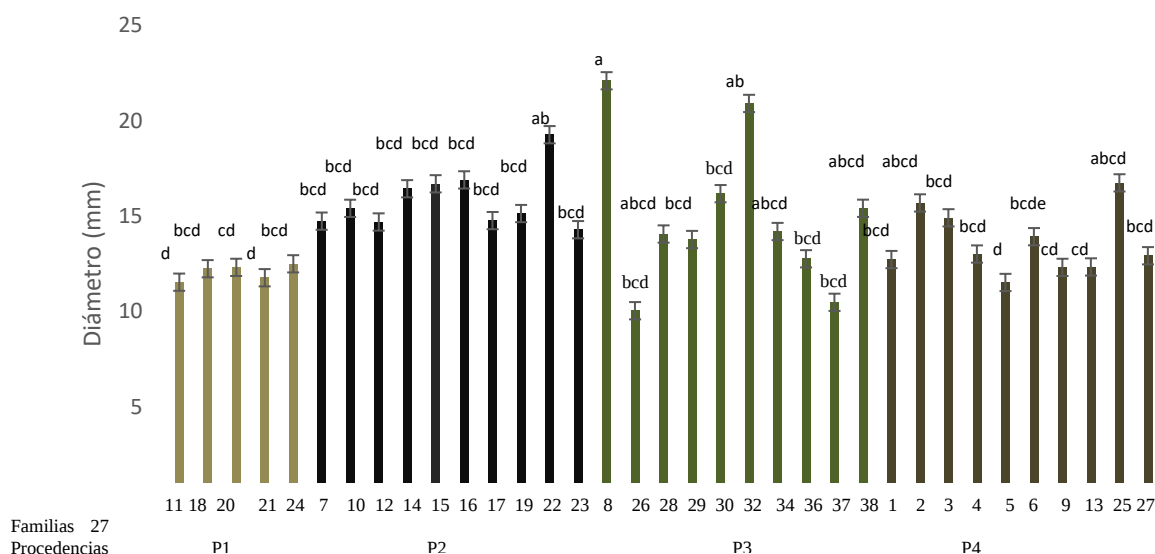


Figura 7. Diámetro del tallo de planta en mm por familia, en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuico Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Para el número de acículas por fascículo, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre familias ($P < 0.0001$), la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió observar la formación de dos grupos entre familias, las familias que presentaron los promedios más altos (cinco acículas) fueron 26, 29, 30, 32, 36, 37 y 38, pertenecientes a la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz, también las familias 19, 15 y 23 de la procedencia dos de Teococuico Oaxaca y finalmente las familias 3, 9 y 25 de la procedencia cuatro de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, las familias que presentaron los promedios más bajos (cuatro y cinco acículas) fueron la 11, 20 y 21 de la procedencia uno de Amecameca Estado de México, la 17 de la procedencia dos de Teococuico Oaxaca y finalmente las familias 4, 13, 14 y 27 de la procedencia cuatro de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (Figura, 8).

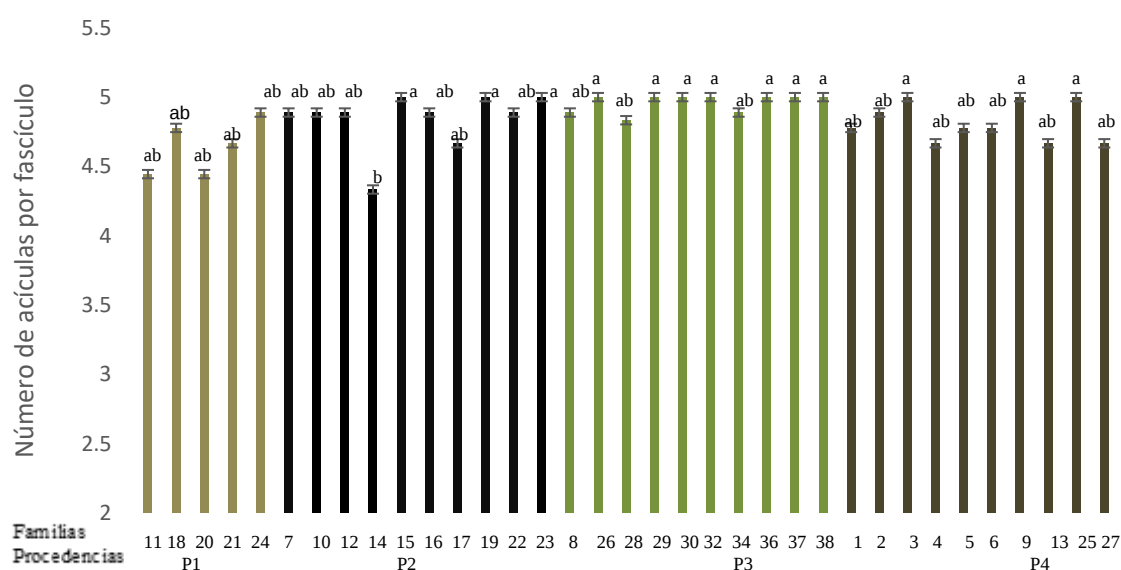


Figura 8. Número de acículas por fascículo de familias en un ensayo de procedencias de *Pinus Pseudostrobus*. establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuico Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En largo de vainas (mm), el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre familias ($P < 0.0001$), la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió observar la formación de varios grupos entre familias, la familia que mostró el promedio más alto fue la 17 con 24. Cm correspondiente a la procedencia dos de Teococuilco Oaxaca, seguida de las familias 21 y 23 con 22 y 22.5 cm correspondientes a la procedencia cuatro de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán, los promedios más bajos los mostró la familia 15 con 19.3 cm de la procedencia dos de Teococuilco Oaxaca y la 37 con 15.1 cm de largo de la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz (Figura, 9).

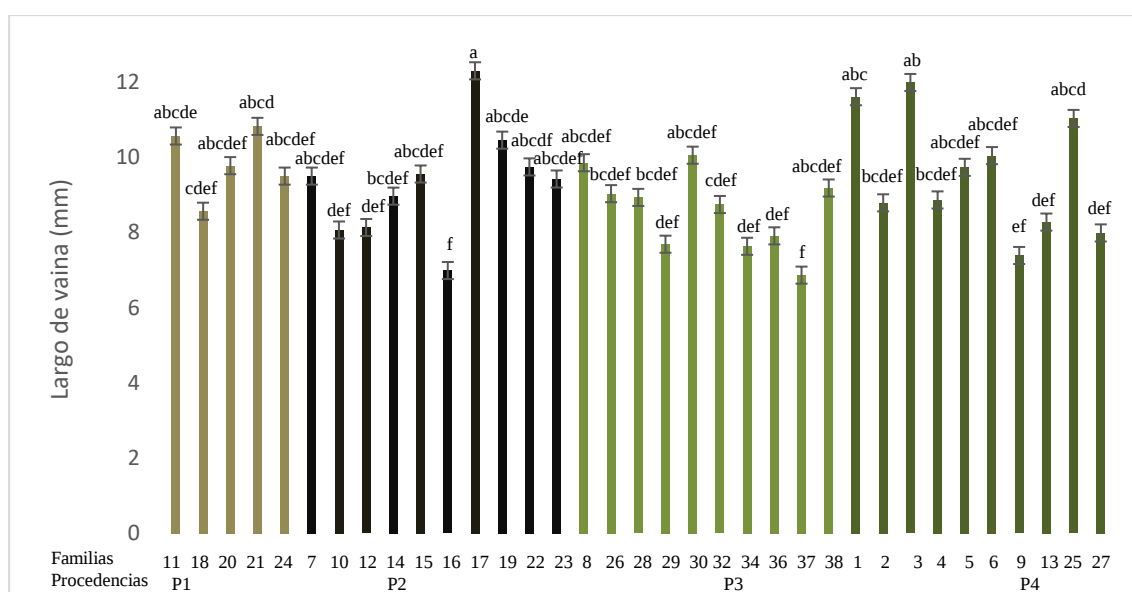


Figura 9. Largo de vainas (mm) por familia en un ensayo de progenies de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Para largo de acículas (cm), el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre familias ($P < 0.0001$), y la prueba de Tukey-Kramer ($p = 0.05$) permitió observar la formación de grupos entre familias, donde los promedios más altos fueron los de las familias 17 y 3 con 12.3 y 11.9 cm, pertenecientes a la procedencia dos de Teococuilco Oaxaca, los promedios más bajos correspondieron a las familias 4 y 13 con 12 y 12.2 cm ambas correspondientes a la procedencia cuatro de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán (Figura, 10).

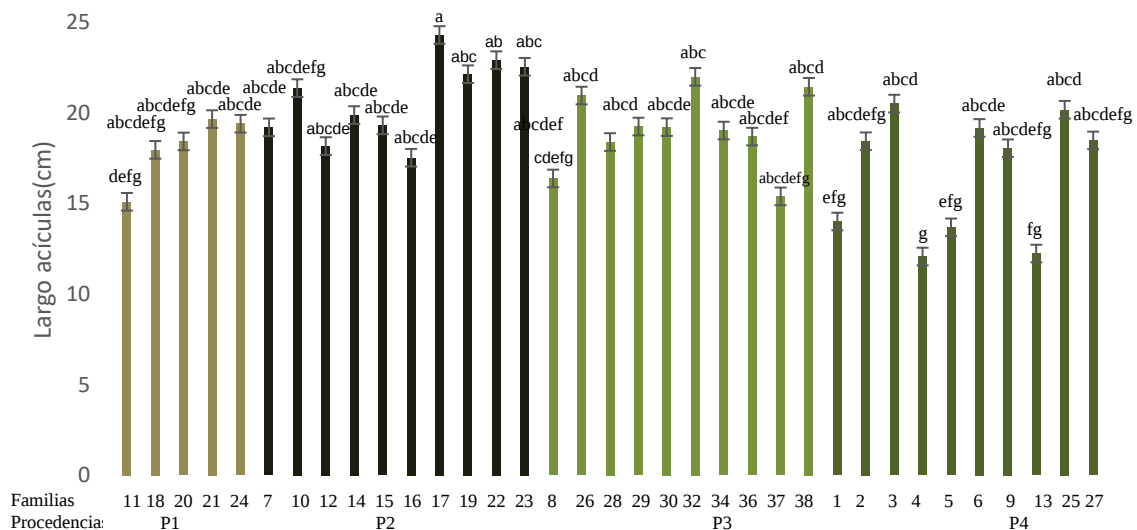


Figura 10. Largo de acículas (cm) por familia en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Zinapécuaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Discusión

El análisis morfométrico y de desarrollo de las procedencias de *Pinus pseudostrobus* reveló variaciones significativas en múltiples características. Las variables de crecimiento mostraron rangos de altura entre 100.6 y 190.9 cm, y diámetros entre 12.07 y 24.31 mm, con diferencias estadísticamente significativas entre procedencias ($P \leq 0.05$), resultados que concuerdan con lo reportado por Castellanos-Acuña *et al.* (2022) en su estudio comparativo de tres especies y siete procedencias de jardín común.

El análisis a nivel de familias evidenció diferencias significativas tanto en diámetro como en altura coincidiendo con lo reportado por Acosta-Rico *et al.* (2024), en *Pinus patula*. Los rangos de altura observados son comparables con los reportados por Rebolledo-Camacho *et al.* (1999), quienes reportan valores entre 90 y 210 cm para *P. patula* provenientes de un huerto semillero sexual de segunda generación. Estas variaciones también son consistentes con los resultados de Morales-González *et al.* (2013), en su evaluación de 84 familias de medios hermanos de *P. patula*, a los cuatro años de edad.

El análisis morfológico de las características foliares de *P. pseudostrobus* reveló patrones específicos que permiten su diferenciación dentro del género. El número de acículas por fascículo varió entre cuatro y cinco concordando con la descripción taxonómica de Narave *et al.* (1997), quienes además señalaron la rara de seis acículas. Esta característica establece una clara distinción con especies como *P. arizonica*, *P. herrerae*, *P. teocote*, que presentan tres acículas por fascículo, mientras muestra similitud con *P. cooperi*, *P. durangensis* y *P. leiophylla*, que presentan entre cinco y seis acículas según lo reportado por Pérez-Olvera *et al.* (2019).

La longitud de las acículas osciló entre 12.0 y 23.3 cm, rango que se encuentra dentro de los parámetros establecidos por Narave *et al.* (1997), para la especie (12-18 cm). Esta característica morfológica distingue claramente a *P. pseudostrobus* de otras especies del género como *P. herrerae*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *P. cooperi* que presentan acículas más cortas (7-11 cm). Sin embargo, muestra similitud con *P. durangensis* y *P. arizonica* que presentan longitudes entre 12 y 22 cm según Pérez-Olvera *et al.* (2019).

Respecto a la longitud de vainas, se registraron valores entre 6.8 y 11.9 mm, que se ajustan al intervalo de 4-15 mm reportado por Narave *et al.* (1997), para *P. pseudostrobus*. Estos valores son comparables con los rangos reportados por Pérez-Olvera *et al.* (2019) para otras especies del género: *P. arizonica* (8-9 mm), *P. cooperi* (8-12 mm), *P. herrerae* (10-12 mm) y *P. teocote* (5-9 mm). Esta consistencia en las dimensiones de las vainas sugiere que esta característica podría tener menor valor diagnóstico para la diferenciación interespecífica dentro del género *Pinus*, en comparación con otros caracteres morfológicos analizados.

Conclusiones

La evaluación morfológica y dasométrica de *Pinus pseudostrobus* en condiciones de jardín común, reveló diferencias estadísticamente significativas entre procedencias en todas las variables analizadas.

La procedencia tres (P3) originaria de La Gloria, Perote, Veracruz, presentó los valores mayores en los parámetros de crecimiento, con los valores promedios mayores, tanto en altura como en diámetro. En contraste, la procedencia uno (P1), proveniente de Amecameca Estado de México exhibió los valores más bajos en ambas variables.

En cuanto a las características foliares, las procedencias dos (Teococuilco Oaxaca), tres (La Gloria, Perote, Veracruz) y cuatro (Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán) se distinguieron por presentar el mayor número de acículas por fascículo, mientras que la procedencia uno (Amecameca Estado de México) mostró consistentemente los valores más bajos en este carácter morfológico.

El análisis a nivel de familias evidenció patrones diferentes de variación: las familias 8 y 32 sobresalieron en las variables de crecimiento (diámetro y altura), las familias 17 y 22 destacaron por la longitud de sus acículas, y las familias 2 y 17 presentaron las mayores dimensiones en largo de vainas.

Considerando los resultados del estudio, la procedencia tres (La Gloria, Perote, Veracruz), ha mostrado una mejor plasticidad adaptativa y podría recomendarse para programas de reforestación y plantaciones forestales fuera de su área natural de crecimiento.

Debido a su superior desempeño en las variables dasométricas: altura y diámetro. Esta recomendación se fundamenta en la importancia de estos parámetros como indicadores de vigor y potencial para el establecimiento en campo, características esenciales para el éxito de programas de restauración forestal.

Bibliografía

- Castellanos-Acuña, D., Mota-Narváez, L. A., López-Mondragón, T., Lindig-Cisneros, R. A., y Sáenz-Romero, C. 2022. *Pinus devoniana* likely avoids drought stress by delaying shoot elongation. *Revista fitotecnica mexicana*, 45(1), 135-143.
- Acosta-Rico, R., López-Upton, J., Vargas-Hernández, J. J., y Cruz-Huerta, N. 2024. Variación genética en la respuesta de familias de *Pinus patula* a condiciones de sequía. *Bosque (Valdivia)*, 45(1), 55-66.
- Climent, J., Chambel, M. R., Alía, R., y Valladares, F. 2005. Plasticidad fenotípica: un marco útil para entender la adaptación de las especies forestales. Investigación Agraria. Sistemas y Recursos Forestales (España).
- Espinosa, D., Ocegueda, S., Aguilar, C., Flores, O., Llorente-Bousquets, J., y Vázquez, B. 2008. El conocimiento biogeográfico de las especies y su regionalización natural. *Capital natural de México*, 1, 33-65.
- Farjon, A. and B. T. Styles. 1997. *Pinus* (Pinaceae). Flora Neotropical Monograph 75. New York Botanical Garden Press. New York, USA. 291 p.

- Flood, P. J., Hancock, A. M. 2017. The genomic basis of adaptation in plants. *Curr. Opin. Plant Biol.* 36, 88–94. doi: 10.1016/j.pbi.2017.02.003
- Madrigal, S. X. 1986. Claves para la identificación de las coníferas silvestres del estado de Michoacán. Escuela de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México. 101 p.
- Morales González, E., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., Ramírez Herrera, C., y Gil Muñoz, A. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 155-162.
- Manzanilla Quiñones, U., Delgado Valerio, P., Hernández Ramos, J., Molina Sánchez, A., García Magaña, J. J., y Rocha Granados, M. D. C. 2019. Similaridad del nicho ecológico de *Pinus montezumae* y *P. pseudostrobus* (Pinaceae) en México: implicaciones para la selección de áreas productoras de semillas y de conservación. *Acta Botánica Mexicana*, (126).
- Hoffmann, A. A., Sgrò, C. M. 2011. Climate change and evolutionary adaptation. *Nature* 470, 479–485.
- Koleff, P., Soberón, J., Arita, H. T., Dávila, P., Flores-Villela, O., Golubov, J., y Rodríguez, P. 2008. Patrones de diversidad espacial en grupos selectos de especies. *Capital natural de México*, 1, 323-364.
- Narave-Flores, H., Taylor, K., and Gómez-Pompa, A. 1997. Flora de Veracruz: pinaceae. pp. 1-53.
- Pérez Olvera, C. D. L. P., y Ceja-Romero, J. 2019. Anatomía de la hoja de seis especies de *Pinus* del estado de Durango, México. *Madera y bosques*, 25(1).
- Perry, Jr. J.P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Piñero, D. 2004. Estructura genética y conservación: El caso de los pinos mexicanos. *Biodiversitas* 30: 8-11.
- SAS Institute 2024. Versión para Windows SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Tiffin, P., Ross-Ibarra, J. 2014. Advances and limits of using population genetics to understand local adaptation. *Trends Ecol. Evol.* 29, 673–680. doi: 10.1016/j.tree.2014.10.004

Capítulo 4

Anatomía de acículas de cuatro procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en condiciones de jardín común

Anatomy of needles from four provenances of *Pinus pseudostrobus* established under common garden conditions

Resumen

La investigación se realizó sobre 35 familias de *Pinus pseudostrobus*, evaluando características morfológicas y anatómicas detalladas. Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas entre procedencias ($P < 0.0001$), para el número de hileras de estomas (NHE) y pares de dientes (PD). La procedencia Oaxaca mostró los promedios más altos en NHE, mientras que la procedencia Veracruz destacó en PD. Los canales resiníferos (CR) se ubicaron consistentemente en posición externa tanto en procedencias como en familias.

A nivel familiar, se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) en todas las variables evaluadas. Las familias 3 y 10 presentaron los mayores promedios en hileras de estomas, (4) mientras que las familias 11 y 18 mostraron los valores más bajos (2). En pares de dientes, las familias 8 y 12 exhibieron los promedios más altos (22.5 y 22.4), y las familias 3 y 2 los más bajos (1.6 y 10). La familia 25 destacó con el mayor número de canales resiníferos (2.6), mientras que la familia 12 presentó el menor (1.4).

El análisis de componentes principales identificó los pares de dientes y el largo de acículas como las variables que más aportan a la variación total y por lo tanto las más informativas. Esta investigación proporciona información fundamental sobre la variabilidad morfológica y anatómica de *P. pseudostrobus*, contribuyendo significativamente al conocimiento necesario para programas de conservación y manejo forestal en México.

Palabras clave: Canales resiníferos, estomas, pares de dientes, morfología de acículas, vainas.

Abstract

The research was carried out on 35 families of *Pinus pseudostrobus*, evaluating detailed morphological and anatomical characteristics. The results revealed statistically significant differences between provenances ($P < 0.0001$) for the number of stomatal rows (NHE) and tooth pairs (PD). The Oaxaca provenance showed the highest averages in NHE, while the Veracruz provenance stood out in PD. Resin canals (RC) were consistently located in an external position in both provenances and families.

At the family level, significant differences ($P < 0.0001$) were found in all the variables evaluated. Families 3 and 10 presented the highest averages in stomatal rows, (4) while families 11 and 18 showed the lowest values (2). In tooth pairs, families 8 and 12 exhibited the highest averages (22.5 and 22.4), and families 3 and 2 had the lowest (1.6 and 10). Family 25 stood out with the highest number of resin canals (2.6), while family 12 had the lowest (1.4).

The principal component analysis identified tooth pairs and needle length as the variables that contribute the most to the total variation and therefore the most informative. This research provides fundamental information on the morphological and anatomical variability of *P. pseudostrobus*, contributing significantly to the knowledge needed for forest conservation and management programs in Mexico.

Keywords: Pairs of teeth, needle morphology, resin canals, sheaths, stomata,

Introducción

Actualmente, la distribución natural de las especies del género *Pinus* va desde las regiones árticas y subárticas de Norte América y Eurasia al sur de las regiones subtropicales y tropicales de América Central y Asia (Price *et al.*, 1998; Farjon y Filder, 2013). Existe la probabilidad de que se hallan originado en el hemisferio norte, en el este de Asia o el Oeste de Norteamérica hace alrededor 155 millones de años (Gernandt *et al.*, 2008). México tiene alrededor de 138 millones de hectáreas con vegetación forestal, esto equivale al 70 % de la superficie del país, estas áreas están cubierta por bosques y selvas en una cantidad de 64.9 millones de hectáreas, de las cuales se calcula que 15 millones tienen potencial productivo para su aprovechamiento comercial. Sin embargo, la superficie en la que se realiza la extracción maderable es de 5.9 millones de hectáreas (Torres, 2015).

Las especies de pinos son importantes ecológicamente en los bosques tropicales cercanos al nivel del mar, en zonas desérticas y bosques de las tierras altas de México (Farjon *et al.*, 1997); el país es considerado como el centro secundario de diversificación del género *Pinus*, con 50 (41.3 %) de las 121 especies reportadas en el mundo (Pérez-De La Rosa y Gernandt, 2017).

Pinus pseudostrobus es una especie forestal se distribuye principalmente en el Cinturón Volcánico Transmexicano (centro de México), al norte existen poblaciones en Sinaloa, Durango, Coahuila y Nuevo León, al sur Chiapas y Oaxaca (Sáenz-Reyes *et al.*, 2011). Está presente desde los (800) 1900 a 3000 m snm, principalmente en bosque de pino o pino-encino. Esta amplia distribución, da como resultado una gran variación de la especie, dependiendo donde ésta se desarrolle (Narave y Taylor, 1997). La anatomía de las hojas es el estudio de la estructura interna de las hojas de las plantas (Pérez Olvera *et al.*, 2019), la variación de la anatomía en hojas del género *Pinus* puede ser producto de la interacción con el ambiente en el cual los individuos se desarrollan (Mesa, 2020), los estudios en jardín común son útiles para analizar los fenómenos adaptativos y el potencial de adaptación de las especies, debido a que estos jardines simulan las mismas condiciones que se presentan en campo, pero reducen la variación que podrían causar factores como el clima y el suelo, entre otros (Trocha *et al.*, 2012), el objetivo este estudio fue caracterizar la anatomía de hojas de cuatro procedencias *Pinus pseudostrobus* establecidas en jardín común.

Materiales y métodos

El material se obtuvo a partir de ejemplares de cuatro procedencias (Tabla, 1), establecidas bajo condiciones de jardín común, ubicado en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo (IIAF-UMSNH).

Tabla 1. Origen del material utilizado.

Procedencias	Origen
1	Amecameca Estado de Mexico
2	Teococuilco Oaxaca
3	La Gloria, Perote, Veracruz
4	Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán

Dentro de estas cuatro procedencias se cuenta con 35 familias de *Pinus pseudostrobus*, de las cuales se eligieron al azar tres individuos por familia, a los que se les dividió la copa en tres partes: alta, media y baja; de cada división de la copa se extrajo una muestra de tres fascículos. En laboratorio y con ayuda de un estereoscopio marca sioux, se evaluaron las variables: hileras de estomas, pares de dientes, y número y posición de canales resiníferos. Para hileras de estomas se realizó un conteo de las hileras tomando en cuenta las presentes en la cara adaxial de las acículas. En pares de dientes con ayuda de una regla (aproximación a mm) se cortaron trozos de 0.5 mm de la mitad de la acícula y se contaron los pares de dientes marginales presentes en dichos trozos. Para número y posición de canales resiníferos se realizaron cortes longitudinales delgados: registrando la posición y el número de los canales resiníferos presentes.

Posteriormente, los datos fueron procesados con un análisis en el paquete estadístico SAS; a nivel de procedencia y familia sin tomar en cuenta las divisiones de copa, después se realizó otro análisis tomando en cuenta dichas divisiones; para definir diferencias entre procedencias y divisiones de copa se realizó una prueba de Tukey-Kramer.

Enseguida, se realizó un análisis de componentes principales donde se tomaron en cuenta las variables: número de hileras de estomas (NHE), pares de dientes (PD),

número de canales resiníferos (NCR) además de manera manual se midió las variables número (NA) y largo de acículas en cm (LA) por fascículo con ayuda de una regla (aproximación a mm) y largo de vaina (LV), con ayuda de un vernier digital (STREN HER-41 ± 0.1 mm).

Resultados

La posición de los canales resiníferos (CR) tanto en procedencias como entre familias fue externos. Al comparar las cuatro procedencias evaluadas de *P. pseudostrobus* en jardín común para las variables de NHE y PD el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre procedencias ($P < 0.0001$), sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas para NCR (Tabla, 2)

Tabla 2. Análisis de varianza por procedencia para número de canales resiníferos (NCR), número de hileras de estomas (NHE) y pares de dientes (PD) en un ensayo de procedencias-progenie establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán.

Variable	Grados de libertad	Cuadrados de le media	Valor de F	Pr > F
Número de canales resiníferos (NCR)	3	3.84	0.88	0.0973
Número de hileras de estomas (NHE)	3	3.84	9.77	<.0001
Pares de dientes (PD)	3	1235.34	120.66	<.0001

Para NHE la prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) mostró la formación de dos grupos entre procedencias, el primero con el promedio más alto (valor con la procedencia dos de Teococuilco Oaxaca y el segundo formado por el resto de las procedencias con los promedios más bajos (Figura, 1).

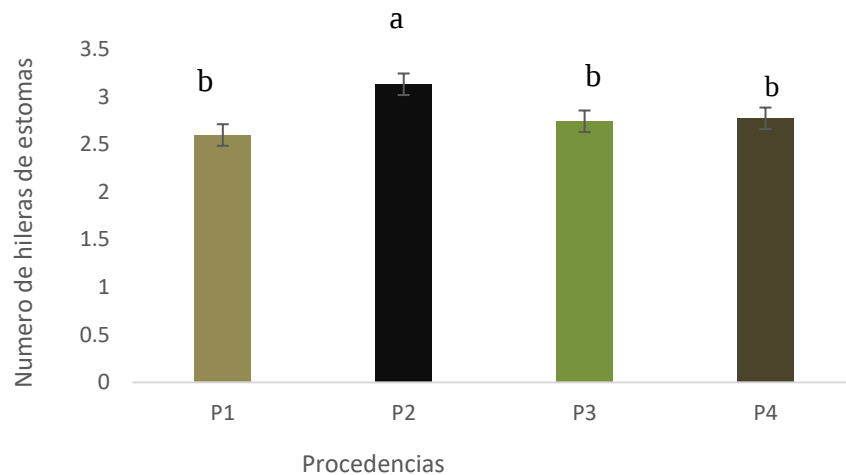


Figura 1. Número de hileras de estomas (NHE), en un ensayo de procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

En número PD la prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) arrojó la formación de cuatros grupos entre procedencias, cada procedencia formó individualmente un grupo, el primero con el promedio más alto formado por la procedencia tres de La Gloria, Perote, Veracruz, el segundo formado por la procedencia uno de Amecameca Estado de México, el tercero lo conformo la procedencia dos de Teococuilco Oaxaca y finalmente, el último grupo con el promedio más bajo lo formó la procedencia cuatro de Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro (Figura, 2).

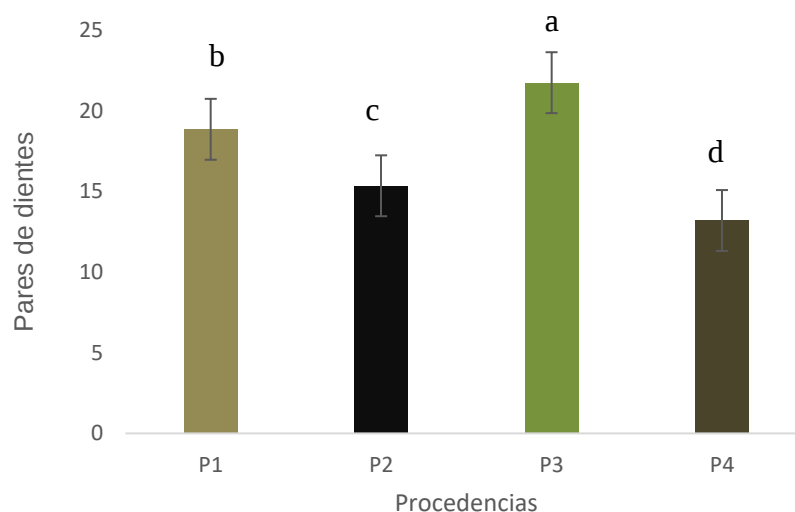


Figura 2. Pares de dientes (PD), en un ensayo de procedencias-progenie de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de Mexico, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

A nivel de familia, se evaluaron 35 familias de *P. pseudostrobus* en jardín común, para las variables número de canales resiníferos, número de hileras de estomas y pares de dientes; el análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre familias ($P < 0.0001$) (Tabla, 2).

Tabla 3. Análisis de varianza por procedencia para número de canales resiníferos (NCR), número de hileras de estomas (NHE) y pares de dientes (PD) de un ensayo de procedencia-progenie de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán.

Variable	Grados de libertad	Cuadrados de la media	Valor de F	Pr > F
Número de canales resiníferos (NDR)	34	0.85	2.3	<.0001
Numero de hileras de estomas (NHE)	34	1.35	4.32	<.0001
Pares de dientes (PD)	34	170,22	43.49	<.0001

Para número de canales resiníferos la prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) permitió distinguir la formación de dos grupos, el primero conformado por las familias con los promedios más altos (valores); estas familias fueron la 25, 27, 19 y 26 pero también están incluidas todas las familias desde la 16 hasta la 4, el segundo grupo lo formó la familia 12 con el promedio más bajo (valor), pero también están incluidas todas las familias desde la 4 hasta la 16 (Tabla, 4).

Tabla 4. Número de canales resiníferos (NCR) entre familias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en un ensayo de jardín común en Tarímbaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p \leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Procedencia	Familias	Media	Tukey-kramer
4	25	2.6	a
4	27	2.6	a
2	19	2.6	a
3	26	2.5	a
2	16	2.4	ab
4	3	2.4	ab
4	13	2.4	ab
2	23	2.4	ab
3	8	2.4	ab
3	36	2.4	ab
3	32	2.4	ab

4	5	2.4	ab
3	30	2.3	ab
3	38	2.3	ab
2	22	2.3	ab
3	37	2.2	ab
4	9	2.2	ab
1	24	2.2	ab
1	20	2.1	ab
1	18	2.1	ab
3	34	2.1	ab
3	29	2.1	ab
2	7	2.1	ab
3	28	2	ab
2	10	2	ab
2	17	2	ab
4	1	2	ab
1	11	1.8	ab
4	2	1.8	ab
2	14	1.8	ab
1	21	1.8	ab
2	15	1.7	ab
4	6	1.6	ab
4	4	1.6	ab
2	12	1.4	b

En hileras de estomas, la prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) permitió distinguir la formación de varios grupos, destacando con los promedios mayores las familias 3 y 10 y con los menores las familias 11 y 18 (Tabla, 5).

Tabla 5. Número de hileras de estomas (NHE) entre familias de *Pinus pseudostrobus* establecido en un ensayo de jardín común en Tarímbaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Procedencia	Familias	Media	Tukey-kramer
4	3	4	a
2	10	3.7	ab
2	22	3.4	abc
1	17	3.3	abcd
2	7	3.3	abcd
2	23	3.2	abcd
2	19	3.2	abcd
2	15	3.1	abcd
2	2	3	abcd
1	20	3	abcd

3	36	2.8	bcd
3	28	2.8	bcd
3	29	2.8	bcd
3	32	2.8	bcd
2	14	2.7	bcd
4	13	2.7	bcd
4	25	2.7	bcd
3	8	2.7	bcd
3	34	2.6	cd
3	30	2.6	cd
3	26	2.6	cd
1	21	2.6	cd
2	12	2.6	cd
1	24	2.6	cd
4	27	2.5	cd
3	37	2.5	cd
4	5	2.5	cd
4	6	2.5	cd
3	38	2.5	cd
4	1	2.5	cd
4	4	2.5	cd
4	9	2.4	cd
2	16	2.4	cd
1	11	2.3	d
1	18	2.3	d

Para pares de dientes la prueba de Tukey-Kramer ($p=0.05$) permitió distinguir la formación de varios grupos destacando con los promedios mayores (valor) las familias 8 y 12 y con los menores (valor) las familias 3 y 2 (Tabla, 6).

Tabla 6. Pares de dientes (PD) entre familias de *Pinus pseudostrobus* en un ensayo de procedencias-progenies establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p\leq 0.05$) de acuerdo con la prueba de Tukey-Kramer.

Procedencias	Familias	Media	Tukey-kramer
3	8	22.5	a
2	12	22.4	a
3	37	22.3	a
3	28	22	a
3	30	22	a
3	26	21.8	a
3	32	21.8	a
3	38	21.5	ab
3	34	21.5	ab
4	4	21.3	ab

3	36	20.8	ab
2	14	20.6	ab
3	29	20.6	ab
1	20	20.5	ab
2	16	19.2	ab
1	24	19.2	ab
1	21	18.2	bc
1	11	18.1	bc
1	18	18.1	bc
2	15	15.4	cd
4	19	14.7	cde
4	6	14.3	ed
4	9	13.7	de
2	22	13.2	df
4	5	12.7	df
4	25	12.4	df
4	27	12.4	df
4	1	12.2	df
2	17	12.1	df
2	23	12	df
2	10	11.8	df
4	13	11.7	ef
2	7	11.6	ef
4	3	11.6	ef
4	2	10	f

En cuanto a la división de la copa de tres estratos, no se presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) para ninguna de las variables evaluadas.

En un análisis de componentes principales, se analizaron las variables procedencia árbol, largo de acículas, número de acículas, largo de vaina, pares de dientes, hileras de estomas, número de canales resiníferos, donde el análisis demostró que las variables que más información aportan a la variación total fueron pares de dientes y largo de acículas (Figura, 3).

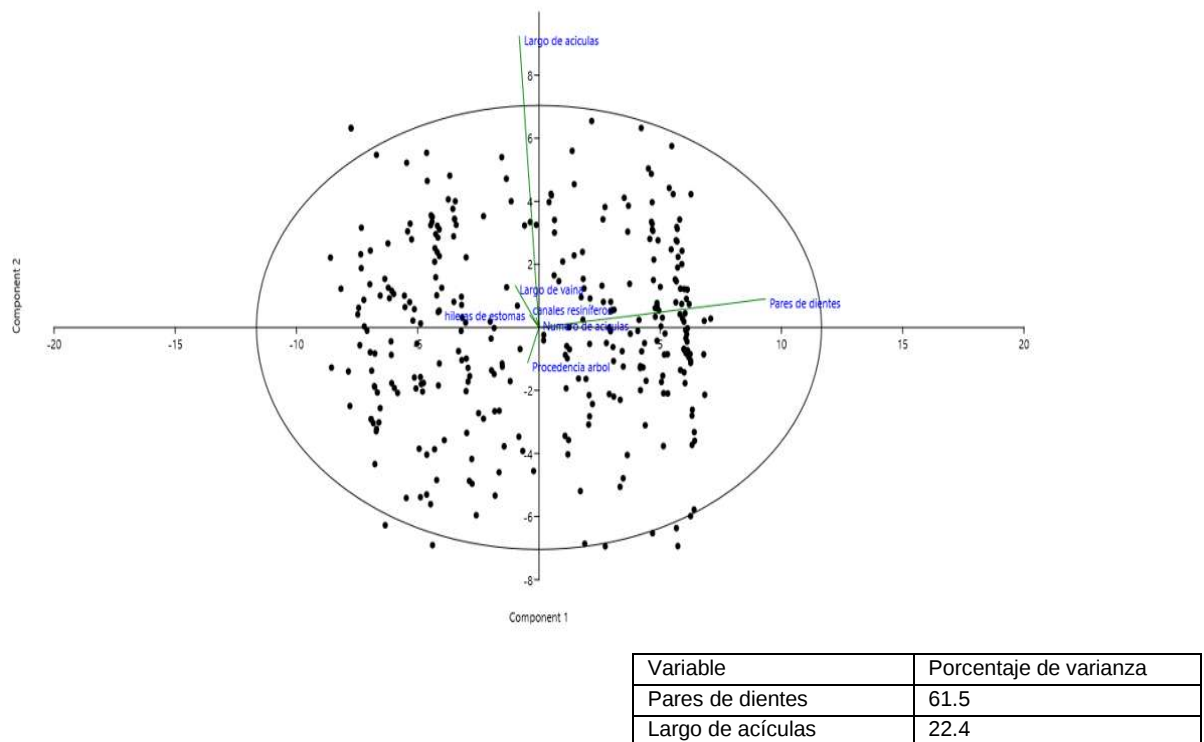


Figura 3. Análisis de componentes principales en un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus pseudostrobus* establecido en jardín común en Tarímbaro, Michoacán. P1= Amecameca Estado de México, P2= Teococuilco Oaxaca, P3= La Gloria, Perote, Veracruz, P4= Santa Ana Jeráhuaro, Zinapécuaro, Michoacán.

Discusión

En este estudio, la posición de los canales resiníferos para *P. pseudostrobus* fue externa, lo cual difiere en dicha posición para otras especies, López-Upton *et al.* (2001), reportan canales resiníferos internos en *Pinus pringlei* e híbridos entre *P. oocarpa* y *P. pringlei*. Valle *et al.* (2019), reportan canales resiníferos externos en acículas de *P. tropicalis*, lo cual coincide con el presente estudio.

En el presente estudio, el número de canales resiníferos fue variado, se presentó un mínimo de un canal resinífero y un máximo de tres, esto difiere a lo reportado por Valle *et al.*, (2019) para la especie *Pinus tropicalis*, donde reporta rangos que van desde 6.2 hasta 7.5 canales resiníferos dependiendo de la región donde el individuo en estudio se desarrolle, López-Upton *et al.* (2001), encontraron en una población de *Pinus .oocarpa* del municipio de Ario de Rosales, Michoacán la presencia de hasta 7 canales resiníferos lo cual también difiere con lo reportado en el presente estudio.

En especies estudiadas por Pérez-Olvera *et al.* (2019), se reporta para las especies de *Pinus cooperi* 5 canales resiníferos, en *P. durangensis* 3 canales

resiníferos, *P. herrerae* 1 canal resinífero, *P. leiophylla* 5 canales resiníferos y *P. teocote* 1 canal resinífero; algunas de las especies mencionadas anteriormente se encuentran dentro de los rangos encontrados en el presente trabajo por ejemplo *Pinus durangensis*, *P. herrerae*, *P. teocote*; sin embargo, *P. cooperi* y *P. leiophylla* al presentar un número mayor de canales resiníferos difieren con el presente estudio. en hileras de estomas en la superficie adaxial los individuos examinados para este estudio presentaron un máximo de 4 y un mínimo de 2.3 hileras, esto coincide con lo encontrado por (Vilela *et al.*, 2000) donde reportan para *P. chiapensis*, dependiendo el lugar de procedencia, que las hileras en la cara adaxial van de 3, 2-3, 2-4.

Los márgenes de todas las acículas evaluadas fueron dentados esto coincide con los caracteres descritos para el género *Pinus* (Narave y Taylor, 1997) también coincide con lo reportado por Pérez-Olvera *et al.* (2019), para especies del género *Pinus* que habitan el estado de Durango, Vilela *et al.*, (2000) reportan para *Pinus chiapensis* márgenes dentados igual que Valle *et al.* (2019), en *Pinus tropicalis* de diferentes procedencias, sin embargo, éstos últimos mencionan que aún no se ha establecido cual es la función específica de dichas estructuras las cuales podrían ser mecanismos de defensa ante posibles depredadores.

Conclusiones

Finalmente, la evaluación de anatomía de acículas de *Pinus pseudostrobus* en condiciones de jardín común reveló diferencias estadísticamente significativas entre procedencias para las variables número de hileras de estomas (NHE) y pares de dientes (PD) y entre familias se observaron diferencias estadísticamente significativas en todas las variables evaluadas.

Bibliografía

- Farjon, A., J. Pérez de la Rosa y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens Kew. Richmond, London, England. 151 p.
- Farjon, A.; Filer, D. 2013. An atlas of the world's conifers: An analysis of their distribution, biogeography, diversity and conservation status. Brill, Leiden, Netherlands

- Gernandt, D. Magallón, S. Geada-López, G; Zenón-Flores, O. Willyard, A. S. and Liston, A. 2008. Use of simultaneous analyses to guide fossil-based calibrations of Pinaceae phylogeny. *International Journal of Plant Science*, 169,1086-1099.
- Mesa, R. R. R., y del Valle, L. P. 2020. Anatomía de acículas de *Pinus caribaea* Morelet var. *caribaea* Barret y Golfari en cuatro biótupos de Pinar del Río. *Revista Científico estudiantil Ciencias Forestales y Ambientales*, 5(1), 43-50.
- Muñoz-Flores, H. J., Sáenz Reyes, J., García Sánchez, J. J., Hernández Máximo, E., y Anguiano Contreras, J. 2011. Áreas potenciales para establecer plantaciones forestales comerciales de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus greggii* Engelm. en Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(5), 29-44.
- Narave, Flores, H., Taylor, K., y Gómez-Pompa, A. 1997. Flora de Veracruz: pinaceae. pp. 1-53.
- Pérez-Olvera, C. D. L. P., y Ceja-Romero, J. 2019. Anatomía de la hoja de seis especies de *Pinus* del estado de Durango, México. *Madera y bosques*, 25(1).
- Pérez-De La Rosa, J. A. and D. S. Gernandt. 2017. *Pinus vallartensis* (Pinaceae), a new species from western Jalisco, Mexico. *Phytotaxa* 331(2): 233-242.
- Price, R. A.; Liston, A. y Strauss, S. H. 1998. Phylogeny and systematics of *Pinus*. In: Richardson, D. M. (Ed) Ecology and biogeography of *Pinus*. Cambridge: Cambridge University Press. pp. 49-68.
- Trocha, L. K., Kałucka, I., Stasińska, M., Nowak, W., Dabert, M., Leski, T., & Oleksyn, J. 2012. Ectomycorrhizal fungal communities of native and non-native *Pinus* and *Quercus* species in a common garden of 35-year-old trees. *Mycorrhiza*, 22, 121-134.
- Upton, J. L., Fiscal, V. V., Mata, J. J., Herrera, C. R., & Hernández, J. V. 2001. Hibridación natural entre *Pinus oocarpa* y *P. pringlei*. *Acta Botanica Mexicana*, (57), 51-66.
- Valle, P. D., Geada López, G., y Sotolongo-Sospedra, R. 2019. Diferencias anatómicas en acículas de *Pinus tropicalis* Morelet en edátupos extremos de pizarras y arenas blancas en Pinar del Río. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 7(2), 225-239.
- Vilela, E., y Castellanos, S. A. 2000. *Pinus chiapensis*: Un enfoque ecológico de su anatomía foliar. *Polibotanica*, (11), 111-120.

Discusión general

El estudio sobre *Pinus pseudostrobus* Lindl. ofrece un análisis integral de seis procedencias de esta especie, destacando su importancia en los ecosistemas forestales de México. A través de un enfoque ontogénico que abarca desde la germinación, hasta el desarrollo morfológico en diferentes condiciones, además proporciona información valiosa para la reforestación y el manejo sostenible de los recursos forestales. A continuación, se discuten los hallazgos del estudio, resaltando su relevancia y contribuciones al conocimiento científico.

En esta investigación las variables largo de semilla (LS), ancho de semilla (AS), grosor de semilla (GS) e índice de semilla (IS) mostraron las mayores dimensiones en la procedencia cuatro (P4) de la localidad La Gloria, Perote, Veracruz; sin embargo, la variable peso de semilla (PS) obtuvo un valor promedio mayor en la procedencia seis (P6) de la Mesa del Laurel, Coatepec, Veracruz; este comportamiento coincide con la caracterización climática, ya que las procedencias cuatro y seis son las que provienen de las zonas de mayor humedad.

El índice de semilla (IS), el cual es un indicador que engloba a largo, ancho y grosor de semilla, formó cuatro grupos en el análisis estadístico; el valor más alto se presentó en la procedencia P4 seguida de la procedencia P6; las P1, P2 y P5 conformaron otro grupo distinto con valores intermedios y finalmente la P3 conformó el último grupo con los valores más bajos, estos grupos fueron similares al comportamiento en velocidad de germinación donde las procedencias que tuvieron las trayectorias de germinación más cortas fueron las que presentaron índice de semilla más altos, sin embargo, las procedencias de menor índice tardaron más en germinar, estos grupos ya no se mantuvieron en el comportamiento en desarrollo en altura, a un año después de la siembra en vivero, las procedencias con las dimensiones más bajas fueron la P1 y la P2, es decir semillas más pequeñas fueron las que mostraron una mayor altura respecto al resto, en cuanto al desarrollo en diámetro la procedencia cuatro (P4), que mostró las dimensiones más grandes en cuanto a semilla, también presentó el mayor desarrollo para esta variable.

La evaluación en condiciones de jardín común, mostró que la procedencia tres de Veracruz tuvo las mayores dimensiones dasométricas, es decir, los árboles pertenecientes a esta procedencia tuvieron las mayores dimensiones respecto al del resto de las procedencias, esto indica que estos individuos son los que mostraron

mayor plasticidad, los que mejor expresaron sus caracteres adaptativos y que fueron más competitivos por luz, agua, nutrimentos, etc., y por lo tanto se podría inferir que serían los más adaptables en programas de restauración o plantaciones comerciales fuera de su entorno de crecimiento natural.

A nivel de familias, la familia 8 destacó con los promedios más altos en diámetro y altura, así como en pares de dientes, aunque no es claro el valor adaptativo de este último carácter, podría estar relacionado con condiciones de estrés hídrico, lo cual podría indicar cualidades adaptativas a condiciones especiales fuera de su área de distribución natural.

Conclusiones generales

Los resultados de este estudio indican diferencias en las variables longitud, ancho, grosor y peso de las semillas, así como en los porcentajes y la velocidad de germinación, lo que los evidencia como caracteres genéticamente adaptados a las condiciones ambientales de las que proceden y subraya la necesidad de seleccionar adecuadamente las semillas para proyectos de reforestación. Esta información es crucial para optimizar las estrategias de conservación y manejo de recursos forestales, permitiendo identificar las procedencias más prometedoras para la producción comercial que pueden ser llevadas más allá de sus fronteras de distribución natural.

Además, el análisis morfológico de las plantas en un entorno de competencia como lo son las condiciones de jardín común, proporciona información sobre su potencial de desarrollo en edades tempranas y de adaptación a diversas condiciones ambientales, lo que coadyuba a la identificación taxonómica y la comprensión de su comportamiento en ecosistemas variados.

En conjunto, el trabajo no solo amplía el conocimiento científico sobre *Pinus pseudostrobus*, sino que también tiene implicaciones prácticas para mejorar su manejo forestal y promover la sostenibilidad ambiental en México. Este estudio representa un paso importante hacia la conservación de la biodiversidad y el desarrollo de estrategias efectivas de reforestación, contribuyendo al bienestar social y económico de las comunidades rurales. Esta investigación no solo contribuye al

conocimiento científico de la especie, sino que también resalta la necesidad de continuar investigando las variaciones genéticas y morfológicas de las especies forestales para garantizar su conservación y uso sostenible en el futuro.

Tarímbaro, Michoacán, a 28 de marzo de 2025.

ASUNTO: Carta de Revisión Anti plagio

DR. LUIS LÓPEZ PÉREZ
Coordinador de la Maestría en Producción Agropecuaria
Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
PRESENTE.

Por este conducto, le informo que una vez concluido el trabajo para la obtención de grado de la estudiante C. DANIEL MADRIGAL GONZÁLEZ del Programa de Maestría en Producción Agropecuaria y Forestales en la opción terminal Forestal, se ha sometido en el software *Turnitin iThenticate* el día 28 del mes de marzo año 2025, obteniendo los siguientes resultados: 30% de similitud general, por lo que apoyado en este instrumento, doy fe de que el trabajo intitulado "Caracterización de seis procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl: análisis morfológico, de germinación y desarrollo en condiciones de vivero y jardín común" es un documento original de la estudiante. Anexo el resultado impreso del proceso de revisión originario del software mencionado.

Sin más por el momento, quedo a sus órdenes para cualquier aclaración o duda al respecto y le envío un saludo respetuoso.

ATENTAMENTE



NAHUM MODESTO SÁNCHEZ VARGAS

DIRECTOR DE TESIS

Daniel Madrigal González

Caracterización de seis procedencias de Pinus.pdf

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::3117-443223062

Fecha de entrega

27 mar 2025, 12:41 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

27 mar 2025, 12:53 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

Caracterización de seis procedencias de Pinus.pdf

Tamaño de archivo

1.4 MB

100 Páginas

28.123 Palabras

152.292 Caracteres

30% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

29%  Internet sources

17%  Publications

0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

1 Integrity Flag for Review



Hidden Text

12 suspect characters on 1 page

Text is altered to blend into the white background of the document.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'll recommend you focus your attention there for further review.

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

Datos del manuscrito que se presenta a revisión		
Programa educativo	Maestría en Producción Agropecuaria	
Título del trabajo	Caracterización de seis procedencias de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl: análisis morfológico, de germinación y desarrollo en condiciones de vivero y jardín común	
	Nombre	Correo electrónico
Autor/es	Daniel Madrigal González	2330497j@umich.mx
Director	Dr. Nahum Modesto Sánchez Vargas	nahum.sanchez@umich.mx
Codirector	Dra. Selene Ramos Ortiz	selene.ramos@umich.mx
Coordinador del programa	Luis López Pérez	mae.prod.agropecuaria.agricola@umich.mx

Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Uso de Inteligencia Artificial		
Rubro	Uso (sí/no)	Descripción
Asistencia en la redacción	No	
Traducción al español	No	
Traducción a otra lengua	No	
Revisión y corrección de estilo	No	
Análisis de datos	No	
Búsqueda y organización de información	No	
Formateo de las referencias bibliográficas	No	
Generación de contenido multimedia	No	
Otro	No	

Datos del solicitante	
Nombre y firma	Daniel Madrigal Gonzalez
Lugar y fecha	Morelia, Michoacán a 26 de marzo del 2025