UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

"CRECIMIENTO INICIAL EN ÁRBOLES DE *Pinus patula Schiede Ex Schitdl et Cham*. EN TRES ENSAYOS DE PROGENIE EN EL CENTRO DE SU DISTRIBUCIÓN NATURAL"

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

DANIELA AGUILAR CID

DIRECTOR

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

CODIRECTOR

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. MÉXICO. JUNIO 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

"CRECIMIENTO INICIAL EN ÁRBOLES DE *Pinus patula Schiede Ex Schitdl et Cham*. EN TRES ENSAYOS DE PROGENIE EN EL CENTRO DE SU DISTRIBUCIÓN NATURAL"

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

DANIELA AGUILAR CID

DIRECTOR

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

CODIRECTOR

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

COMITÉ TUTORIAL

M. en C. DIANA GÓMEZ GARCÍA

M. en C. TOMÁS ESCOBEDO LUNA

DR. ABRAHAM PALACIOS ROMERO

TULANCINGO DE BRAVO, HGO. MÉXICO. JUNIO 2025

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

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 17 de junio de 2025
Asunto: Autorización de impresión

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

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Daniela Aguilar Cid**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **"CRECIMIENTO INICIAL EN ÁRBOLES DE *Pinus patula* Schiede ex Schitdl et Cham. EN TRES ENSAYOS DE PROGENIE EN EL CENTRO DE SU DISTRIBUCIÓN NATURAL",** que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

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

PRESIDENTE:	Dr. Ramón Razo Zárate
SECRETARIO:	M. en C. Diana Gómez García
VOCAL 1:	M. en C. Tomás Escobedo Luna
VOCAL 2:	Dr. Abraham Palacios Romero
SUPLENTE 1:	Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna

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

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. José González Ávalos
Coordinador del Programa Educativo
en Ingeniería Forestal

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx

La presente tesis titulada: **"Crecimiento inicial en árboles de *Pinus patula* Schiede ex Schitdl et Cham. en tres ensayos de progenie en el centro de su distribución natural"** realizada por la pasante **Daniela Aguilar Cid,** bajo la dirección del Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna y Codirector Dr. Ramón Razo Zárate y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

Comité asesor

Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna
Director

Dr. Ramón Razo Zárate
Codirector

M. en C. Diana Gómez García
Asesora

M. en C. Tomás Escobedo Luna
Asesor

Dr. Abraham Palacios Romero
Asesor

Ciudad Universitaria, Tulancingo, Hidalgo, México. Junio, 2025.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco profundamente al Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, director de este trabajo, por su guía, paciencia y compromiso a lo largo de todo el proceso. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo. Extiendo también mi agradecimiento al Dr. Ramón Razo Zárate, codirector de tesis, por su apoyo constante, sus valiosas observaciones y su generosa disposición para compartir conocimientos.

Agradezco al comité revisor, conformado por la M. en C. Diana Gómez García, el M. en C. Tomás Escobedo Luna y el Dr. Abraham Palacios Romero, por su tiempo, sus aportes y su compromiso con la calidad académica de este trabajo.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y motivación en cada etapa de mi formación académica. Gracias por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A mis amigos y compañeros, quienes me brindaron palabras de aliento, compañía y valiosos consejos. Compartir este camino con ustedes hizo la experiencia más enriquecedora.

Agradezco al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR por ocupar información derivada del proyecto con clave 291322: *Establecimiento de huertos semilleros asexuales regionales y ensayos de progenie de Pinus patula para la valoración genética de los progenitores*, en el cual se enmarca el presente trabajo.

Finalmente, a todos aquellos que, de una u otra forma, contribuyeron a que esta tesis fuera posible, mi más sincero reconocimiento y gratitud.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis, con profundo respeto y gratitud, a mi padre Alberto Aguilar Gerardo y a mi madre Maricela Cid Paz, por su amor, esfuerzo incansable y constante apoyo a lo largo de mi formación académica. Su ejemplo de dedicación y fortaleza ha sido fundamental en cada etapa de este camino, el día de hoy puedo decir que no son únicamente mis logros si no también les pertenece.

A mi hermana Litzeth Aguilar Cid, por su comprensión, aliento y compañía en los momentos más importantes de este proceso.

Asimismo, agradezco a mis amigos, cuya amistad y respaldo han sido un sostén invaluable durante este trayecto. A todos ellos, mi más sincero reconocimiento.

A todos ustedes, gracias por creer en mí y caminar a mi lado en esta etapa tan significativa de mi vida.

"Detrás de cada logro hay horas de esfuerzo, dudas superadas y el deseo constante de avanzar. Esta tesis es testimonio de ese viaje."

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS IV
ÍNDICE DE TABLAS VIII
RESUMEN IX
ABSTRACT X
1. INTRODUCCIÓN 1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 5
2.1. Objetivo general 5
2.2. Objetivos específicos 5
2.3. Hipótesis 5
3. MARCO TEÓRICO 6
3.1. Descripción botánica de *Pinus patula* 6
3.1.1. Hábitat y distribución 7
3.1.2. Usos 7
3.1.3. Ecología 7
3.1.4. Recolección de conos 8
3.1.5. Obtención de las semillas de los frutos en el vivero 8
3.2. Mejoramiento genético 9
3.3. La variabilidad genética 9
3.4. Mutaciones 10
3.5. Recombinación genética 10
3.6. Deriva genética 10
3.7. Flujo génico 11
3.8. Variación genética 11
3.9. Efecto clonal 11
3.10. Fuentes de variación 11
3.11. Ensayo de progenies 12
3.12. Ensayo de procedencia 13
3.13. Interacción genotipo-amiente en especies forestales 14
3.14. Adaptación 15
3.14.1. Agujas en lugar de hojas: 15

3.14.2. Forma cónica: 15
3.14.3. Resina: 15
3.14.4. Raíces largas y profundas: 15
3.14.5. Conos de semillas resistentes: 15
3.15. Evaluación del crecimiento inicial 16
3.16. Procedencia 16
3.17. Raza geográfica 16
3.18. Ecotipo 17
3.19. Ecocline 17
3.20. Mejoramiento por retro cruzamiento 17
3.21. Huerto semillero genéticamente comprobado 17
3.22. Huerto semillero no comprobado 18
3.23. Los rodales semilleros 18
3.24. Área semillera 18
3.25. Estudios similares 19
3.26. Conservación de germoplasma *ex-situ* 19
3.27. Conservación de germoplasma *in situ* 19
3.28. Calidad de sitio 19
3.29. Patrón de crecimiento 20
3.30. Crecimiento monopodial 21
3.31. Crecimiento simpodial 21
3.32. Crecimiento excurrente 22
3.33. Crecimiento decurrente 22
3.34. Crecimiento policormico 22
3.35. Crecimiento en verticilos 23
3.36. Crecimiento por gemación 23
3.37. Índice de selección 23
3.38. Selección masal 24
3.39. Los patrones de crecimiento en altura 24
3.40. Desarrollo e incremento del árbol en diámetro 24
3.41. Desarrollo e incremento del árbol en altura 25

3.42. Fotoperiodo 25
3.43. Fototropismo 26
3.44. Efecto del ambiente en las plantas 26
3.45. Estudios similares 26
4. MATERIALES Y MÉTODOS 28
4.1. Colecta de germoplasma 28
4.2. Ubicación de los ensayos de progenie 28
4.3. Producción de planta 32
4.4. Preparación del terreno y diseño experimental para cada sitio 32
4.5. Medición de variables en campo 37
4.6. Análisis estadístico 38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39
5.1. Ensayo de progenie bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla 39
5.1.1. Altura total 39
5.1.2. Diámetro normal 40
5.2. Ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz 41
5.2.1. Altura total 41
5.2.2. Diámetro normal 42
5.3. Ensayo de progenie predio particular Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo 44
5.3.1. Altura total 44
5.3.2. Diámetro normal 45
5.4. Altura mayor obtenida en tres ensayos de progenie 47
5.5. Altura menor obtenida en tres ensayos de progenie 49
5.6. Diámetro mayor obtenido en tres ensayos de progenie 50
5.7. Diámetro menor obtenido en tres ensayos de progenie 52
6. CONCLUSIONES 54
7. REFERENCIAS 55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fuentes de variación que ilustran los factores ambientales, el desarrollo y la genética que influyen en la estructura de diferentes tipos de bosques (Willian et al., 1993). 12

Figura 2 Esquema de la sección del tronco de pino. El desarrollo de los árboles se produce generando anillos año con año. Estos anillos registran las condiciones en las que se ha desarrollado del árbol Sus anillos de épocas lluviosas son anchos mientras que los de épocas secas son estrechos. También se pueden ver cicatrices si el árbol sufrió alguna lesión, por un incendio o los golpes de las piedras de una avalancha (Georaman, Geología desde Ávila, 2019). 21

Figura 3 Ubicación del 1er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bienes comunales Chignautla, Chignautla, Puebla. 29

Figura 4 Ubicación del 2do ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. 30

Figura 5 Ubicación del 3er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en el predio particular rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. 31

Figura 6 Plantación de *Pinus patula* en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. 33

Figura 7 Diseño de bloques del 1er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 21 bloques en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. 33

Figura 8 Diseño de experimental del 2do ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 21 bloques en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. 34

Figura 9 Plantación de *Pinus patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua Huayacocotla, Veracruz. 35

Figura 10 Plantación de *Pinus patula* en el rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, México. 36

Figura 11 Diseño de bloques del 3er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 20 bloques en el rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, México. 37

Figura 12 Medición directa de altura de los árboles de *Pinus patula* del ensayo de progenie en bienes comunales San Mateo, Chignautla, Puebla 38

Figura 13 Altura promedio de árboles en el 1er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 40

Figura 14 Valores promedio de diámetros en el 1er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 41

Figura 15 Valores promedio de altura en el 2do ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 42

Figura 16 Valores promedio de diámetro en el 2do ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 43

Figura 17 Valores promedio de altura en el 3er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula,* predio particular rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 45

Figura 18 Valores promedio de diámetro en el 3er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula,* predio particular Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 46

Figura 19 Valores promedio de mayores alturas en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. I) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-35, I-55, I-36, I-48, I-47. I-21) (puntos verticales). II) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-66, II-48, II-21, II-33, II-27, II-47) (líneas diagonales) y III) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-21, III-43, III-44, III-27, III-46, III-66) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). 48

Figura 20 Familia 35 sobresaliente en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. 49

Figura 21 Valores promedio de menores alturas en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-42, I-12, I-15, I-3, I-11, I-74) (puntos verticales). ii) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-22, II-63, II-75, II-37, II-74, II-4) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-6, III-22, III-23, III-25, III-74, III-64) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 50

Figura 22 Valores promedio de diámetros máximos en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-53, I-51, I-6, I-55, I-35, I-62) (puntos verticales). ii) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-48, II-66, II-21, II-33, II-68, II-67) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-21, III-43, III-60, III-34, III-46, III-56) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). 51

Figura 23 Valores promedio de diámetros mínimos en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula.* i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-12, I-63, I-11, I-59, I-15, I-74) (puntos verticales). ii) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-49, II-40, II-2, II-54, II-63, II-22) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-23, III-42, III-6, III-16, III-5, III-64) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)..... 53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de progenie 13

RESUMEN

Los ensayos de progenie tienen como propósito estimar el valor genético de individuos superiores de donde se recolecta semilla y comparar el desempeño de su descendencia en campo. Se planteó como objetivo evaluar las características dasométricas de tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula* para identificar las progenies con mayor potencial productivo en el centro de su distribución natural. En cada ensayo de progenie se plantaron las mismas 64 familias repetidas 21 veces, establecidas en 1.2 hectáreas, con diseño en marco real en bloques completos al azar. En el año 2019 se plantó en agosto el ensayo de progenie en Chignautla, Puebla (ensayo 1); en septiembre en Zacualtipán, Hidalgo (ensayo 3). y en octubre en Huayacocotla, Veracruz (ensayo 2). Después de 2.8 años de plantados se midió altura total y diámetro normal de cada árbol. Los resultados muestran diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) en altura y diámetro por familia dentro de los ensayos de progenie y entre los ensayos. La familia 66 tuvo mayor promedio en altura (3.6 m) en Huayacocotla, la familia 21 (3.3 m) en Zacualtipán y la 35 (2.3 m) en Chignautla. En diámetro normal la familia 66 tuvo mayor promedio (4.1 mm) en Huayacocotla, la familia 21 (3.1 mm) en Zacualtipán y la 35 (2.0 mm) en Chignautla. En general los árboles del ensayo plantado en Huayacocotla tuvieron mayor altura y diámetro comparado con los árboles de los ensayos de Chignautla y Zacualtipán. La familia 66 procedente de Tlahuiltepa, Hidalgo, tuvo los primeros lugares en altura en los tres ensayos de progenie. La calidad del sitio de Huayacocotla comparado con los otros dos sitios evidencia las condiciones favorables para el crecimiento de la especie de *Pinus patula*.

PALABRAS CLAVE:

Altura, diámetro, ensayo de progenie, huerto semillero, mejoramiento genético

ABSTRACT

The purpose of progeny trials is to estimate the genetic value of superior individuals from which seed is collected and to compare the performance of their offspring in the field. The objective was to evaluate the dasometric characteristics of three progeny trials with 64 *Pinus patula* families to identify the progenies with the highest productive potential in the centre of their natural distribution. In each progeny trial, the same 64 families were planted 21 times repeated, established in 1.2 hectares, with a randomised complete block design. In 2019, the progeny trial was planted in August in Chignautla, Puebla (trial 1); in September in Zacualtipán, Hidalgo (trial 3); and in October in Huayacocotla, Veracruz (trial 2). After 2.8 years of planting, total height and normal diameter of each tree were measured. Results show significant statistical differences ($P \leq 0.0001$) in height and diameter by family within and between progeny trials. Family 66 had the greatest average height (3.6 m) in Huayacocotla, family 21 (3.3 m) in Zacualtipán and family 35 (2.3 m) in Chignautla. . In normal diameter family 66 had the highest average (4.1 mm) in Huayacocotla, family 21 (3.1 mm) in Zacualtipán and family 35 (2.0 mm) in Chignautla. In general, trees from the trial planted in Huayacocotla had greater height and diameter compared to trees from the Chignautla and Zacualtipán trials. Family 66 from Tlahuiltepa, Hidalgo, had the first places in height in all three progeny trials. The quality of the Huayacocotla site compared to the other two sites is evidence of favourable conditions for the growth of *Pinus patula* species.

KEYWORDS:

Height, diameter, progeny testing, seed orchard, genetic improvement

1. INTRODUCCIÓN

Desde principios del siglo XX la especie de *Pinus patula* Schiede Ex Schitdl et Cham. fue reconocida y llevada a otros países para el establecimiento de plantaciones comerciales a distintas partes del mundo en donde ha tenido éxito, sobre todo para producción de material celulósico y aserrío (Nyoka, 2002). Después Dvorak *et al.* (2003), reportaron que CAMCORE (Central América and México Coniferous Resources Cooperative) estableció ensayos de procedencias y progenies en países de África y el sur de América, en donde la especie tuvo éxito y fue establecida como exótica y las procedencias fueron recolectadas del Estado de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Desde el año 2005 la especie de *Pinus patula* se ha establecido en plantaciones a gran escala con el propósito de producción de material celulósico y madera en rollo en más de 20 países, la mayoría se encuentran en el Sur de África y Este de Asia. En Sudamérica se presentan en Argentina, Colombia, Ecuador, Chile, Brasil y Perú (Talonia, 2010). En Colombia obtuvo excelente adaptación y desarrollo convirtiéndose útil para los programas de reforestación en zonas altas como especie maderable (Cardona, 2010).

Pinus patula es una especie clave para los ecosistemas forestales templados de México, contribuyendo tanto a la economía local como a la conservación del medio ambiente. Se distribuye geográficamente en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Veracruz, Puebla, Hidalgo, y Nuevo León. En el eje Neovolcánico Transversal, en los estados de Michoacán, Estado de México, Tlaxcala y Distrito Federal y en la Sierra Madre del Sur, en los estados de Guerrero y Oaxaca. Tiene una distribución especifica en México caracterizada por sus zonas montañosas y húmedas, que se encuentran en Veracruz, Puebla y Michoacán (Sánchez-González, 2008).

Pinus patula tiene gran importancia ecológica y se considera especie pionera y agresiva, ya que sobreviven a incendios de baja intensidad o se regeneran rápidamente en las áreas dañadas por los incendios superficiales debido a que presenta conos serótinos que requieren de altas temperaturas en el ambiente para abrir y soltar sus semillas. Por otra parte, el pino presenta una notable capacidad

para desarrollarse en sitios de alta densidad y espacios reducidos, además de tolerar condiciones climáticas adversas como las heladas. Estas características hacen que esta especie sea ampliamente reconocida por su elevado potencial productivo y la calidad de su madera (Talonia, 2010). *Pinus patula* tiene múltiples usos principalmente la producción de celulósicos y madera para aserrío, y es muy recomendada para construcciones con mayor resistencia mecánica y en el país su contribución es significativa a la economía, al ambiente y a la sociedad (Monrroy, 1995). Su cultivo y manejo sostenible son esenciales para maximizar sus beneficios y garantizar la conservación de los recursos forestales del país (Fuentes-Amaro *et al*., 2021).

Un ensayo de progenie consiste en identificar y seleccionar los árboles que exhiben características deseables y superiores en términos de crecimiento, adaptabilidad y calidad de la madera. Los ensayos consisten prácticamente en producir planta en vivero y establecerlas en campo, para comparar el crecimiento de las progenies de árboles seleccionados bajo un diseño experimental determinado (Flores-Valencia, 2014). Estos ensayos son fundamentales para mejorar la productividad y sostenibilidad de los recursos forestales en México. Además, contribuyen a la conservación de la diversidad genética de las especies forestales en México se inició el mejoramiento genético de esta especie alrededor de los años 90´s. A la fecha existen 12 huertos semilleros, principalmente de primera generación, los cuales aún no producen semilla genéticamente mejorada para uso en plantaciones comerciales (FAO, 2011).

Debido a la longevidad y tasa de crecimiento de la mayoría de los árboles se requieren muchos años para la evaluación y para acelerar el proceso se usa la selección temprana, esto es, seleccionar genotipos con base en una característica manifestada a edad joven con el fin de mejorar otra en edades posteriores (Vargas-Adams, 1992). Los ensayos de progenie son parte integral de la mayoría de los programas de mejoramiento genético, ya que proporcionan información que permite reevaluar o modificar las estrategias de mejora genética a base de diseños de cruzamiento o apareamiento que constituyen un aspecto central de las pruebas de

progenie, ya que permiten evaluar a los progenitores y estimar parámetros genéticos en algunas especies que ayudan a determinar la superioridad del fenotipo (Fernández, 2018).

La regionalización basada en zonas de movimiento de germoplasma es una alternativa al manejo de masa arbórea que no limita el esfuerzo económico y técnico de las áreas operativas locales, estatales o de las unidades de manejo forestal; sin embargo, son pocos los trabajos desarrollados con esta visión (Flores- Moctezuma, 2021).

Se han realizado estudios similares como es el caso del estudio presentado por, Rebolledo *et al*. (1999), que realizaron un ensayo sobre la evaluación de familias comunes de *Pinus patula*. Establecidas en dos ensayos de progenie en Calpulalpan y Orizaba, Veracruz se evaluó la progenie de 12 familias comunes, para comparar su crecimiento y supervivencia entre familias, se midió altura total y diámetro, y se encontró que las familias de Calpulalpan presentaron mayores promedios de altura que Orizaba. Y en Orizaba las familias presentaron supervivencias superiores a los 80%, mayores que Calpulalpan (60%).

Otro de los ensayos realizados en México por (Mendizabal-Hernández *et a*l, 2020). con *P. greggii* Engelm la cual es una especie de rápido crecimiento y de importancia económica, se estableció una prueba de procedencias/progenie en el estado de Veracruz que incluye 10 familias de Huayacocotla y 11 familias de Naolinco, con la finalidad de determinar la existencia de diferencias en el crecimiento de las yemas vegetativas de ramas de esta prueba, se evaluó durante un año dicho crecimiento. Se encontró que el mayor crecimiento ocurrió en los meses de marzo a junio; el crecimiento promedio de las yemas vegetativas fue de 20 cm para Naolinco y de 17.5 cm para Huayacocotla, siendo Naolinco la procedencia que presentó mayor crecimiento durante todo el año; entre familias Naolinco alcanzó un crecimiento de 24 cm en la familia 11 y 23 cm en la familia 7, mientras que las familias 4 y 10 de Huayacocotla tuvieron un crecimiento final de 22 y 21 cm respectivamente.

Dicho lo anterior para el centro de su distribución natural de *Pinus patula* existe poca información sobre ensayos de progenie establecidos en tres sitios diferentes con las mismas familias que refleje la calidad genética de la región, principalmente en el crecimiento de altura total y diámetro normal del árbol. Esta investigación permite generar información a mediano y largo plazo para mover semilla de las familias que mejor se adapten a las condiciones ambientales y ecológicas particulares en cada sitio de plantación, de tal manera que los ensayos de progenie se convertirán en huertos semilleros al eliminar las familias de la plantación con poco crecimiento en altura y diámetro. De modo que las familias que mejor expresen su fenotipo en cada sitio en particular serán las que se polinicen entre sí para posteriormente obtener semilla con alto valor genético para cada región. Lo anterior son principios básicos de la genética y otras disciplinas de la silvicultura que permitirán aumentar la productividad y calidad maderable.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características dasométricas de tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula* para identificar las progenies con mayor potencial productivo en su centro del área de distribución natural.

.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables dasométricas (altura total y diámetro normal) de tres ensayos de progenie de *Pinus patula* a la edad de 2.8 años.
- Identificar familias con características dasométricas superiores en cada ensayo de progenie de *Pinus patula* a la edad de 2.8 años.
- Comparar las características dasométricas de las 64 familias de *Pinus patula* en tres ensayos de progenie.

2.3. HIPÓTESIS

Los árboles de las 64 familias de *Pinus patula* provenientes de semillas recolectadas en diferentes áreas geográficas dentro del rango de distribución natural establecidos en tres sitios diferentes con condiciones edáficas y climáticas locales expresen adaptaciones particulares al ambiente específico, lo que podría reflejarse en diferencias en el crecimiento inicial en altura total y diámetro normal de los árboles.

.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE *PINUS PATULA*

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham. es el nombre científico de una especie de pino ampliamente conocida en diversas regiones de México. Popularmente, se le identifica con múltiples nombres comunes, entre los que destacan *Pinus patula*, *ocote*, *pino llorón*, *pino triste*, *pino colorado*, *pino chino*, *pino xalocote*, *pino macho*, *ocote liso* y *ocote colorado*. Esta variedad de denominaciones refleja su presencia y relevancia en distintas comunidades, especialmente en los estados de Veracruz e Hidalgo. (CONAFOR, 2023).

Es un árbol de tamaño mediano a grande, que puede alcanzar alturas de 25 a 45m. Tiene hábito de crecimiento recto y cónico, con una copa estrecha y puntiaguda. Su copa es abierta y redondeada, tronco recto y libre de ramas hasta la altura de 20 m, con raíz profunda y poco extendida. Es de rápido crecimiento, 20 m3 /Ha/año. El crecimiento se detiene sensiblemente entre los 30 y 35 años de edad (CONAFOR, 2010).

La corteza es delgada y suave, inicialmente de color gris claro y luego volviéndose más áspera y de tonos grises a marrones con la edad. Las hojas son aciculares, perennifolia, dispuestas en fascículos (grupos) de tres, y miden alrededor de 15 a 25 cm de longitud. Son de color verde brillante y flexibles, con bordes finamente serrados. perennifolia. El renuevo de hojas ocurre en dos períodos, en febrero brotan las hojas del primer internudo (maduran en marzo) (Jiménez, 2007).

Los estróbilos (conos) son el órgano reproductor femenino y masculino de la planta. Los conos femeninos son grandes, de forma ovalada a cilíndrica, de 10 a 20 centímetros de longitud. Los conos masculinos son más pequeños y de color amarillo. Las flores son monoicas, lo que significa que una planta tiene tanto flores masculinas como femeninas (Zambrano, 2023).

3.1.1. HÁBITAT Y DISTRIBUCIÓN

Pinus patula es nativo de México y América Central. Se ha introducido y cultivado en diversas regiones del mundo debido a su valor comercial como madera (Pacheco *et al*., 2024). Con una distribución natural que abarca desde el noreste de Oaxaca hasta el centro de Guerrero, principalmente en la Sierra Madre del Sur (Dvorak, 2001). Se encuentra en altitudes que varían entre 1,800 y 3,200 metros sobre el nivel del mar, en bosques húmedos y muy húmedos montanos bajos (bh-MB). Aunque su distribución natural es restringida, ha sido ampliamente utilizada en plantaciones industriales en regiones tropicales y subtropicales de América del Sur, África, Asia y Oceanía, debido a su buena forma, crecimiento acelerado y gran tamaño (Viveros *et al*., 2013).

3.1.2. USOS

Además de su importancia como fuente de madera, el *Pinus patula* también se utiliza en la reforestación y plantaciones forestales. La madera es de buena calidad. Se recomienda para construcciones que requieran resistencia, para postes, durmientes, pilotes, armaduras y vigas. Se emplea para la elaboración de cajas de empaque y para acabados interiores y exteriores. También es muy apreciada en la fabricación de papel debido a la longitud de sus fibras.

3.1.3. ECOLOGÍA

Es una especie resistente y adaptable a diferentes condiciones climáticas y tipos de suelos. Es importante tener en cuenta que las características específicas pueden variar ligeramente según la región geográfica y las condiciones ambientales locales. Esta descripción proporciona una visión general de la morfología y ecología de *Pinus patula*.

Se desarrolla principalmente en zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben una gran cantidad de niebla durante el año. es posible encontrarla en lugares donde llegan los vientos húmedos del Golfo de México. aunque también

pueden crecer en donde no exista humedad relativa alta. Crece en terrenos de topografía plana y lomeríos con pendientes moderadas y hasta de 45°. Se menciona que la regeneración natural de *Pinus patula* se presenta con mayor frecuencia al pie de arbustos de *Baccharis conferta,* supuestamente debido a la protección mecánica que reciben las plántulas contra el pastoreo (Oliva *et al*, 2014,).

3.1.4. Recolección de conos

Este pino es de los más precoces para producir frutos. Lo más común es recolectar los conos verdes, pero haciendo pruebas de corte para constatar la madurez fisiológica de las semillas. La mejor época para la recolección de conos es entre los meses de diciembre a marzo, antes de que inicie la primavera y que los conos se abran por efecto de los cambios de temperatura. Aunque como todas las especies de cono serótino la recolección de semilla no se encuentra restringida a un período breve, además se cree que la maduración de la semilla no es uniforme en un mismo árbol. La obtención de conos puede realizarse escalando el árbol y haciendo el corte manualmente, o con garrochas especiales de corte; esta actividad debe realizarse de tal forma que las ramas y meristemos de crecimiento no se dañen, de lo contrario la producción de frutos de la próxima temporada se verá afectada. Una vez colectados los conos se colocan en sacos de yute para su transporte. Se etiquetan con los datos de campo necesarios para su posterior identificación (Nieto *et al*., 2003).

3.1.5. Obtención de las semillas de los frutos en el vivero

En el vivero los frutos se ponen a secar con el fin de disminuir su contenido de agua y concluir con la maduración, lo que propiciará la apertura de los conos. Los métodos de secado pueden ser al aire libre, por una corriente de aire seco a través de ellos, o bien secados al horno. Como esta especie presenta conos serótinos se recomienda sumergirlos en agua caliente (entre 40 y 60°C) previo al secado, con la finalidad de favorecer su apertura. La extracción de las semillas puede hacerse manualmente golpeando los conos, o de manera mecanizada con una golpeadora

de conos. Una vez que las semillas se han liberado el siguiente paso es el desalado; éste se realiza manualmente, en húmedo, o por métodos mecánicos, en seco. La limpieza se realiza por métodos mecánicos, para remover las impurezas y semillas vanas los propágulos se colocan en tamices vibratorios, con diferentes tamaños de malla, y son expuestas a corrientes de aire; otra opción es la flotación en agua. Para obtener aproximadamente 1 kg de semilla limpia, es necesario colectar 100 kg de conos (Nieto *et al*., 2003).

3.2. MEJORAMIENTO GENÉTICO

El mejoramiento genético es una herramienta tecnológica esencial para el desarrollo forestal, aplicando los principios básicos de la genética y otras disciplinas de la silvicultura para el manejo de las especies forestales, permitiendo aumentar la productividad y calidad maderable (Serrano, 2001). Su objetivo es obtener árboles que estén más cerca de la condición deseada que aquellos que se utilizan comúnmente (Zobel, 1984).

3.3. LA VARIABILIDAD GENÉTICA

La variabilidad genética es una medida de tendencia de los genotipos de una población a diferenciarse. Los individuos de una misma especie no son idénticos. Si bien, son reconocibles como pertenecientes a la misma especie, existen muchas diferencias en su forma, función y comportamiento. Es imprescindible disponer de variabilidad genética en cualquier programa de mejoramiento. Se hace referencia a la variabilidad disponible para seleccionar, que se encuentra en poblaciones o genotipos previamente adaptados, ya que la variabilidad genética de cada especie en estado silvestre, generalmente, no puede utilizarse directamente. Es así que en el mejoramiento se utilizan colecciones de trabajo como fuente de variabilidad y adaptación. El mejoramiento genético es un largo proceso, esencialmente mendeliano y probabilístico, que termina con el desarrollo de cultivares. Un cultivar es una variedad cultivada, obtenida por selección artificial, mientras que las variedades botánicas corresponden a rangos taxonómicos entre subespecies y

formas (Rimieri, 2017). Una razón biológica de la variación genética es la mayor capacidad de poblaciones altamente variables a adaptarse a cambios climáticos, edáficos y bióticos. Las especies forestales generalmente crecen en suelos muy variables que pueden ser artificialmente manejados (Jara, 1995).

El aumento de variabilidad genética se debe, principalmente, a estos procesos:

3.4. MUTACIONES

Las mutaciones constituyen modificaciones en la secuencia del ADN que pueden manifestarse a nivel de un nucleótido individual (mutaciones puntuales), de un gen completo o de estructuras cromosómicas enteras. Estas alteraciones pueden modificar la síntesis de proteínas, generando fenotipos distintos en el organismo. En el contexto poblacional, las mutaciones son la fuente primaria de variación genética, dando lugar a diferentes formas alélicas de un mismo gen (Rojas Vergara *et al*., 2018).

3.5. RECOMBINACIÓN GENÉTICA

La reproducción sexual da lugar a descendientes que difieren tanto entre sí como respecto a sus progenitores. Si bien no se generan nuevas variantes genéticas, sí se originan genotipos distintos como resultado de la recombinación de genes. Este proceso ocurre durante la meiosis, en la cual se producen gametos células sexuales con un número haploide de cromosomas, es decir, la mitad del contenido cromosómico de las células somáticas. En la profase I de la meiosis tiene lugar el entrecruzamiento de cromosomas homólogos, lo que permite el intercambio de material genético. Como consecuencia, al separarse dichos cromosomas, cada uno contiene información heredada de ambos progenitores (Juárez-Santacruz, 2010).

3.6. DERIVA GENÉTICA

Se produce la deriva genética cuando, en una población, cambian las proporciones alélicas. Se puede producir cuando un grupo de individuos de una población quedan

aislados del resto y forman una nueva población en la que puede haber una proporción de alelos distinta a la original (Juárez-Santacruz, 2010)..

3.7. FLUJO GÉNICO

El flujo génico se produce cuando se transfieren alelos de genes de una población a otra. Cuando se produce la migración de unos individuos de una población a otra, la población que los recibe aumenta su variabilidad genética, ya que si tienen descendencia pueden aportar alelos que no existían en la población y producir nuevos fenotipos que pueden resultar beneficiosos (Navascues, 2007).

3.8. VARIACIÓN GENÉTICA

La variación genética es la base de la evolución y permite que las especies se adapten a los cambios del medio ambiente (Hamilton, 2009). La variación genética es un concepto central en biología evolutiva y genética de poblaciones, y su comprensión es fundamental para abordar cuestiones relacionadas con la conservación de la biodiversidad y la adaptación de las especies a entornos cambiantes (CONABIO, 2020).

3.9. EFECTO CLONAL

El efecto clonal es una fuente de variación no genética asociada directamente con los clones. Experimentalmente se ha probado que esta es una importante fuente de variación entre propágulos (Roulund & Olesen , 1995)

3.10. FUENTES DE VARIACIÓN

La variación que existe entre los seres vivos tiene tres causas o fuentes principales las cuales son: diferencias en el desarrollo (edad), diferencias ambientales y diferencias genéticas (Figura 1).

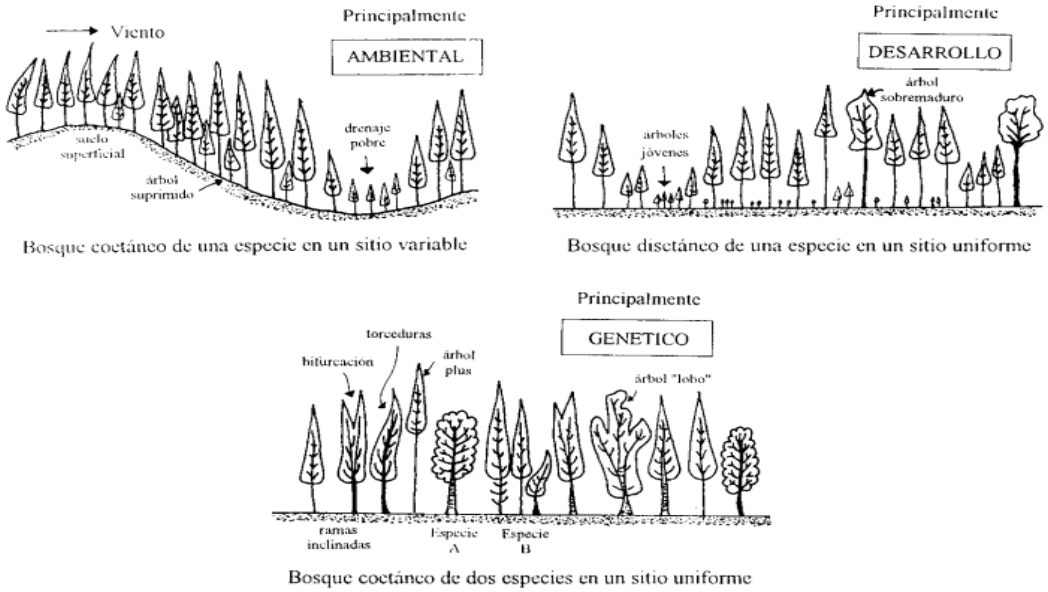

Figura 1 Fuentes de variación que ilustran los factores ambientales, el desarrollo y la genética que influyen en la estructura de diferentes tipos de bosques (Willian *et al*., 1993).

3.11. ENSAYO DE PROGENIES

Es una plantación experimental donde se establecen parcelas de varias familias (llamadas progenies) (Flores *et al.,*2014). Los ensayos de progenie consisten básicamente en producir planta en vivero y establecerlas en campo, para comparar el crecimiento de las progenies de árboles seleccionados bajo un diseño experimental determinado. La aplicación de técnicas estadísticas como el análisis de varianza, permite separar la variación dada por las diferencias genéticas, las ambientales y las que resultan de la interacción entre ambas. Por lo tanto, es posible calificar y/o evaluar los progenitores con base en la respuesta de su descendencia, y sirve para determinar el valor genético de los árboles inicialmente seleccionados, así como otros parámetros genéticos (Wright, 1964).

Tabla 1 Tipos de progenie

Tipos de progenie	Descripción
Progenie semifratrias (Medios hermanos)	Se obtienen por un sistema de apareamiento con padre desconocido, son una progenie semifratrias las semillas de polinización libre de árboles plus o de huertos semilleros establecidos. También los policruzamientos en que los árboles madres son fecundados con una mezcla constante de polen. En estos casos se desconoce el grado de consanguinidad (Sotolongo *et al.,* 2024).
Progenie fratrias (hermanos)	Se obtiene bajo un sistema de cruzamiento con padres conocidos (se logra por polinización controlada), la información que se obtiene es más exacta, pero el sistema es más costoso (Sotolongo *et al.*, 2024).

3.12. ENSAYO DE PROCEDENCIA

El termino procedencia denota el área geográfica original de la cual se obtiene la semilla de los árboles u otros propágulos (Padilla & H, 1987). Los ensayos de procedencias representan el esfuerzo cooperativo de muchas personas e instituciones. Por lo tanto, deben ser establecidos, manejados y analizados apropiadamente, para que todo esfuerzo se traduzca en mejor planeamiento de los programas de mejoramiento genético y de reforestación comercial. Antes de iniciar

una prueba, se debe definir las procedencias que se van a incluir, cómo se va a muestrear cada procedencia y donde se va a plantar el ensayo o los ensayos (Flores *et al*., (2014).

3.13. INTERACCIÓN GENOTIPO-AMIENTE EN ESPECIES FORESTALES

La interacción genotipo–ambiente se refiere a la interrelación de los genes (y en términos más amplios, de la función del genoma) y el entorno físico y social. Esas interacciones influyen en la expresión de fenotipos (Institute, 2023).

El desempeño individual en crecimiento de los árboles se considera como su fenotipo (F), el cual es el resultado de una multiplicidad de factores externos e internos. El fenotipo de cualquier árbol individual depende principalmente de la oportunidad; esto es, del tipo de micrositio en que se plantó, del cuidado del plantador, del ataque de depredadores, etc. Estos factores se agrupan generalmente en la categoría de “ambiente” (A). El desempeño de cualquier individuo es también una función de su constitución genética (G). Además, la variación genética puede expresarse en forma diferencial de un sitio a otro, lo que se considera como interacción genotipo por ambiente (G x A). La repetición y aleatorización apropiada del ensayo permite la estimación de la varianza fenotípica atribuible a causas genéticas, ambientales y a la interacción genotipo x ambiente, de tal manera que: F = G + A + G x A (Vargas *et al*., 2004).

En ensayos comparativos los tratamientos (especies, procedencias o progenies) se plantan todos al mismo tiempo para eliminar las diferencias de edad. De esta manera quedan como fuentes de variación, el ambiente y el genotipo, los cuales conjuntamente determinan los atributos de los árboles que se comparan (Willian *et al.,* 1993). La fórmula que expresa este fenómeno es la siguiente:

$$F = G + A$$

Lo que vemos = composición genética + efectos del ambiente

F= Fenotipo

G= Genotipo

A= Ambiente

3.14. ADAPTACIÓN

Se refiere al proceso evolutivo por el cual los organismos desarrollan características morfológicas, fisiológicas y/o conductuales que les permiten sobrevivir y reproducirse en su entorno específico. Estas características adaptativas pueden surgir a lo largo de varias generaciones como resultado de la selección natural, que favorece a los individuos mejor adaptados a su medio ambiente (Iturbe Acosta , 2010). La adaptación de un pino se refiere a las características físicas y fisiológicas que le permiten a esta especie de árbol sobrevivir y prosperar en su entorno natural. Algunas de las adaptaciones específicas de los pinos incluyen:

3.14.1. AGUJAS EN LUGAR DE HOJAS: Los pinos tienen agujas en lugar de hojas planas. Estas agujas están adaptadas para reducir la pérdida de agua a través de la transpiración y pueden conservar agua durante períodos de sequía.

3.14.2. FORMA CÓNICA: Muchos pinos tienen una forma cónica que les ayuda a arrojar la nieve y el hielo, lo que evita que las ramas se rompan bajo el peso.

3.14.3. RESINA: Los pinos producen resina, una sustancia pegajosa que puede sellar heridas en el árbol y protegerlo contra insectos y enfermedades.

3.14.4. RAÍCES LARGAS Y PROFUNDAS: Las raíces de los pinos tienden a ser largas y profundas, lo que les permite alcanzar el agua subterránea en entornos secos y mantenerse estables en suelos poco profundos.

3.14.5. CONOS DE SEMILLAS RESISTENTES: Los pinos producen conos de semillas resistentes que pueden proteger las semillas de los depredadores y liberarlas en momentos adecuados para la germinación.

3.15. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO INICIAL

Es la aplicación de una técnica para recopilar información y tener elementos de juicio en la toma de decisiones referente a la adaptación de las especies al sitio, así como, su incremento anual, valor económico y uso en futuras plantaciones que muestren condiciones análogas (Muñoz *et al*., 2009). Puede implicar variables como altura, diámetro, biomasa y contenido de nutrientes. Estas mediciones se realizan en diferentes momentos durante el desarrollo de las plántulas para comprender mejor la dinámica de crecimiento (Vásquez-Garcia *et al*., 2016).

3.16. PROCEDENCIA

Lugar natural de origen de la semilla, es usado para designar la población de árboles de una especie que crece en su lugar de origen, la semilla cosechada de ellos y su descendencia o progenie que crece en plantaciones (Sotolongo *et al*., 2024)

3.17. RAZA GEOGRÁFICA

El concepto de "raza geográfica forestal" se refiere a poblaciones de una misma especie arbórea que, debido a su aislamiento geográfico y adaptación a condiciones ambientales específicas, presentan diferencias genéticas y fenotípicas. Estas diferencias pueden manifestarse en características como el crecimiento, la forma, la resistencia a enfermedades y la adaptación a factores climáticos y edáficos (Fontana, 2018).

El término "procedencia" se utiliza para describir el origen geográfico de las semillas o árboles. Este concepto es fundamental en la silvicultura, ya que las características genéticas de las poblaciones forestales están influenciadas por su lugar de origen, lo que afecta su desempeño en diferentes ambientes. La investigación sobre procedencias busca identificar y seleccionar las fuentes de semilla más adecuadas para programas de reforestación y conservación, considerando la adaptación local y la variabilidad genética (Langlet, 1962).

3.18. ECOTIPO

Una subpoblación genéticamente diferenciada que está restringida a un hábitat específico, a un ambiente particular o a un ecosistema definido, con límites de tolerancia particulares a los factores ambientales locales. La adaptación a un ecosistema o a un hábitat particular implica cambios genéticos que se establecen de acuerdo con los límites de tolerancia de las especies se entiende como población localmente adaptada (González Monroy, 2014)

3.19. ECOCLINE

Se refiere a una zona de transición gradual entre dos ecosistemas, caracterizada por cambios continuos en factores ambientales y en la composición de especies, sin una frontera claramente definida. Es especialmente relevante en estudios ecológicos de estuarios, donde las condiciones ambientales, como la salinidad, varían de manera progresiva desde áreas dominadas por agua dulce hasta regiones marinas, se entiende como distribución a lo largo de un gradiente ambiental (Barletta *et al*.,2017).

3.20. MEJORAMIENTO POR RETRO CRUZAMIENTO

Se practican retrocruces con la variedad más deseada (por ejemplo, un híbrido con cualquiera de sus progenitores). Se usa para la transferencia de genes específicos a una buena variedad, la cual es deficiente en una o varias características. Este método es útil en plantas cultivadas, las perspectivas de este método en la mejora de árboles son limitadas debido a los largos períodos de vida de estos, aunque en especies con madurez sexual temprana este tipo de mejoramiento podría aplicarse sí el carácter a transferir puede evaluarse en edades juveniles (Barros *et al*., 2012).

3.21. HUERTO SEMILLERO GENÉTICAMENTE COMPROBADO

Un huerto semillero es una plantación de clones o progenies que han sido seleccionados intensivamente con base en ciertas características de importancia

económica, aisladas o manejadas para reducir contaminación de polen de árboles inferiores y manejada intensivamente para aumentar la producción de semilla y facilitar su recolección. El huerto semillero genéticamente comprobado es aquel que tiene el respaldo de pruebas de progenies establecidas y evaluadas en los sitios potenciales de plantación, y que ha sido sometido a los aclareos genéticos necesarios para conservar únicamente los clones o individuos que han demostrado su superioridad. Además, este tipo de fuente semillera deberá cumplir con los demás requisitos básicos de un huerto semillero, en cuanto a métodos de selección de árboles, área, diseño, número mínimo de ramets (o individuos) dentro del huerto (Barros *et al*., 2012).

3.22. HUERTO SEMILLERO NO COMPROBADO

Este es un huerto similar al anterior, pero que no ha sido sometido a aclareos genéticos, ya sea por la ausencia de ensayos genéticos o por la corta edad de los ensayos. Aunque este huerto no tiene el respaldo de pruebas genéticas, la alta ganancia genética superior a la de otros tipos de fuente semillera, tales como los rodales semilleros y las fuentes selectas o identificadas. Por ese motivo se ubica dentro de una categoría superior (Barros *et al*., 2012).

3.23. LOS RODALES SEMILLEROS

Pueden ser rodales plantados o naturales, aislados o manejados para reducir contaminación de polen de árboles inferiores y que han sido sometidos a aclareos de mejoramiento para dejar de 75 a 200 árboles por hectárea con características fenotípicas apropiadas. El rodal semillero debe tener una base genética suficientemente amplia; se deben descartar plantaciones originadas con semilla de unos pocos árboles. También se requiere que, al menos un 50% de los árboles del rodal, haya alcanzado el estado de fructificación. El rodal semillero debe tener un área mínima de una hectárea (Lombardi I & Nalvarte A, 2000).

3.24. ÁREA SEMILLERA

Las áreas semilleras garantizan la producción de semilla por varios años, ya que son una fuente inmediata de abastecimiento de germoplasma, cuya calidad se puede mejorar del 7 al 10%; apoyarán a los programas de reforestación y de plantaciones comerciales en la entidad (Muñoz Flores *et al.,* 2008).

3.25. ESTUDIOS SIMILARES

Comprender el crecimiento inicial de *P patula* en ensayos de progenie en el centro de su distribución natural es fundamental para el manejo forestal sostenible y la conservación de los recursos genéticos. Esta información puede utilizarse para seleccionar genotipos superiores para programas de mejoramiento genético y para informar prácticas de manejo forestal que maximicen el rendimiento de crecimiento.

3.26. CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA *EX-SITU*

Es mantener la variabilidad genética de una población en un ambiente o localización geográfica diferente a donde evolucionó (Flores Flores *et al*., 2014). En forma tradicional los bancos de conservación de germoplasma *ex situ* se han materializado fundamentalmente como bancos de semillas, no obstante, su utilidad se ve severamente limitada como consecuencia de la existencia de semillas no ortodoxas o recalcitrantes que pierden rápidamente su viabilidad y por lo tanto no son almacenables (FAO *et. al*., 2007).

3.27. CONSERVACIÓN DE GERMOPLASMA *IN SITU*

Es mantener la variabilidad de una población en aproximadamente las mismas condiciones geográficas y ecológicas bajo las cuales evoluciona (Flores *et al.,*2014).

3.28. CALIDAD DE SITIO

Se refiere a la capacidad productiva del terreno para el crecimiento y desarrollo de los árboles y la vegetación en general. Es una medida de la fertilidad, disponibilidad

de agua, clima y otras condiciones ambientales que afectan el crecimiento de una especie o comunidad forestal (Barnes *et al*., 1998).

Factores que determinan la calidad de sitio

1. **Clima**: Temperatura, precipitación, humedad y radiación solar influyen en el crecimiento de los árboles.
2. **Suelo**: Profundidad, textura, contenido de materia orgánica, nutrientes y drenaje son clave para la productividad forestal.
3. **Topografía**: La pendiente, altitud y orientación del terreno afectan la exposición al sol, la erosión y la retención de agua.
4. **Hidrología**: La disponibilidad de agua subterránea y superficial impacta el crecimiento de las especies.
5. **Especie Forestal**: Cada especie responde de manera distinta a las condiciones del sitio, lo que puede influir en la evaluación de su calidad.

3.29. PATRÓN DE CRECIMIENTO

Un patrón de crecimiento forestal se refiere a la forma en que los árboles y otras plantas en un bosque crecen y se desarrollan a lo largo del tiempo. Este patrón puede estar influenciado por una variedad de factores bióticos (como las especies de plantas y animales presentes) y abióticos (como el clima, el suelo y la topografía) (Figura 2) (M.C. & Peláez, 2015). Los modelos de crecimiento forestal predicen el desarrollo de un bosque, empleando características del sitio y opciones de manejo como variables de entrada, y constituyen una herramienta importante para la toma de decisiones en el manejo forestal sostenible (Newnham, 1964).

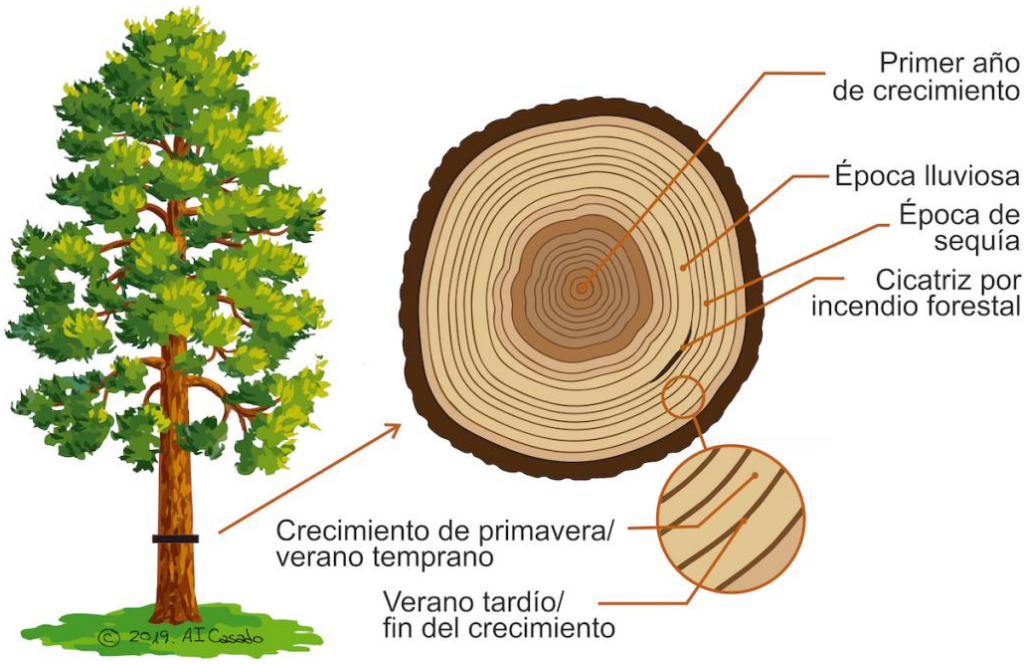

Figura 2 Esquema de la sección del tronco de pino. El desarrollo de los árboles se produce generando anillos año con año. Estos anillos registran las condiciones en las que se ha desarrollado del árbol Sus anillos de épocas lluviosas son anchos mientras que los de épocas secas son estrechos. También se pueden ver cicatrices si el árbol sufrió alguna lesión, por un incendio o los golpes de las piedras de una avalancha (Georaman, Geología desde Ávila, 2019).

3.30. CRECIMIENTO MONOPODIAL

Este es el patrón más común en los pinos. Se caracteriza por un tronco central dominante del cual se originan ramas laterales, cuando la yema terminal del eje central (o de una rama) permanece y continúa su desarrollo año tras año (Morales, 2023). Ejemplo: Pino ponderosa *(Pinus ponderosa*), Pino silvestre *(Pinus sylvestris*).

3.31. CRECIMIENTO SIMPODIAL

En este patrón, el crecimiento terminal se detiene y una o más ramas laterales asumen el papel de líder, dando lugar a una estructura más ramificada y menos definida. Corresponde a una ramificación cimosa o definida, ocurre cuando la yema

terminal muere o se desarrolla como rama florífera o presenta crecimiento limitado y definido, en estos casos las ramas laterales más próximas al eje son las encargadas de proteger el tallo. El eje que resulta de esta forma de crecimiento es como un conjunto de trozos añadidos, o ramas superpuestas, sin la simetría que presenta el caso anterior. (Serra, 1991). Ejemplo: Es menos común en pinos, pero puede ocurrir en algunos casos debido a daños o enfermedades que afectan el brote terminal.

3.32. CRECIMIENTO EXCURRENTE

Presenta un tronco recto y dominante con ramas que se desarrollan en verticilos regulares y horizontales o ligeramente ascendentes En los árboles excurrentes (rama central), se mantiene un solo tronco en la parte superior del árbol. Las ramas por debajo de este punto inferior se convierten en ramas temporales (Forest, 1996). Ejemplo: Pino blanco oriental (*Pinus strobus*), Pino de Monterrey (*Pinus radiata).*

3.33. CRECIMIENTO DECURRENTE

Este patrón se caracteriza por una forma de copa más ancha y menos definida, con ramas que tienden a crecer en diferentes direcciones sin un tronco central dominante claro. Se seleccionarán otras ramas bifurcadas en función de la ubicación de esta rama. Las ramas debajo de la rama bifurcada inferior (primera) se convierten en las ramas temporales. Ejemplo: Este tipo de crecimiento es más típico en angiospermas, pero algunos pinos pueden mostrar un patrón similar en condiciones adversas.

3.34. CRECIMIENTO POLICORMICO

Se refiere a la presencia de múltiples troncos o tallos que surgen desde la base o cerca de la base del árbol. es un tipo de brote que surge de yemas que han permanecido inactivas por más de una estación. Es importante diferenciarlos de los brotes adventicios. Estos brotes suelen aparecer en árboles como respuesta a

situaciones de estrés, daño o enfermedad, mostrando la capacidad de la planta para regenerarse y adaptarse a condiciones adversas (Alegsa, 2023).

3.35. CRECIMIENTO EN VERTICILOS

Las ramas se desarrollan en niveles o verticilos alrededor del tronco a intervalos regulares. Ejemplo: La mayoría de los pinos muestran este patrón, como el pino silvestre (*Pinus sylvestris*) y el pino ponderoso (*Pinus ponderosa*) (Pérez, 2009).

3.36. CRECIMIENTO POR GEMACIÓN

Algunas especies de pinos pueden formar nuevas ramas a partir de yemas latentes en el tronco, especialmente después de la poda o daño. Esto es más común en especies que tienen una alta capacidad de rebrote. Estos patrones de crecimiento pueden variar dentro de una misma especie en función de las condiciones ambientales y el manejo forestal. La comprensión de estos patrones es esencial para la silvicultura y la gestión de bosques, ya que influye en prácticas como la poda, el raleo y la cosecha (Rodríguez, 2011).

3.37. ÍNDICE DE SELECCIÓN

a selección de los árboles se basa solamente en su fenotipo (apariencia externa). Resulta efectiva cuando se seleccionan caracteres de alta heredabilidad como la forma y la densidad de la madera (Marcó, 2005).

El índice de selección es un método de mejoramiento genético simultáneo de varios caracteres que permite separar genotipos con base en características fenotípicas como altura total, diámetro normal, ángulo de inserción de las ramas con respecto al fuste, rectitud del fuste, características de la copa, entre otras (Cornejo *et al.*,2009).

3.38. SELECCIÓN MASAL

es una forma de seleccionar características múltiples, combinando información de todas ellas en un solo índice. Los índices de selección en general son los más eficientes, aunque suele ser difícil establecer el peso que se le debe asignar a cada una de las variables consideradas. En la práctica los mejoradores utilizan una mezcla de estrategias definidas en base a criterios biológicos y logísticos. Así, por ejemplo, es posible seleccionar adecuadamente individuos resistentes a enfermedades en etapas tempranas, retrasando la selección por velocidad de crecimiento, forma y características de la madera (Marcó, 2005)..

3.39. LOS PATRONES DE CRECIMIENTO EN ALTURA

El patrón de crecimiento en altura dominante de una masa forestal se usa tradicionalmente como indicador de la productividad total del sitio forestal. Así, los componentes de un sistema de crecimiento y rendimiento maderable, generalmente representados por el área basal, mortalidad y volumen maderable, están correlacionados con la altura dominante y sus proyecciones son afectadas por su patrón de crecimiento (Borders, 1989).

Los patrones de crecimiento se usan además para evaluar de manera cuantitativa y simplificada al conjunto de factores bióticos y abióticos que influyen sobre la productividad, y para determinar la calidad de estación. El sitio forestal puede clasificarse en zonas equiproductivas evaluadas a través de su altura dominante; a estas zonas se les asigna un valor en función de una altura dominante y una edad de referencia (edad base), y a este valor se le denomina índice de sitio (Cieszewski-Bailey, 2000).

3.40. DESARROLLO E INCREMENTO DEL ÁRBOL EN DIÁMETRO

Los mismos factores que influyen en el crecimiento e incremento del árbol en altura, actúan también en diámetro. El incremento anual en diámetro se puede decir que depende también de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol

durante el año. Pero el crecimiento e incremento en diámetro del árbol depende más del medio ambiente que el crecimiento e incremento en altura; dentro de ciertos límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz. El incremento anual en diámetro del árbol se manifiesta en los anillos de crecimiento (Klepac, 1983)

3.41. DESARROLLO E INCREMENTO DEL ÁRBOL EN ALTURA

El incremento en altura se manifiesta en la primavera. Generalmente comienza con una gran intensidad, que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente y en algunas especies se interrumpe mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta septiembre u octubre.

La variación en el incremento en altura en árboles individuales se debe probablemente a su diferente reacción al fotoperiodo. En especies agrícolas se ha investigado la influencia del fotoperiodo. Los resultados de estas investigaciones han dado lugar a la diferenciación de plantas de fotoperiodo largo (necesitan una iluminación prolongada para florear) y de fotoperiodo corto (no florean si la luz del día excede un límite definido). Entre las primeras y las segundas se encuentran plantas indiferentes al fotoperiodo (Klepac, 1983).

3.42. FOTOPERIODO

tiempo diario que un ser vivo se expone a la luz. Durante este periodo, se llevan a cabo diversos procesos en el organismo vegetal que permiten la regulación de su funcionamiento biológico. la noción de fotoperíodo abarca tanto el tiempo de exposición a los rayos lumínicos como los procesos que esta exposición produce en el vegetal. La alternancia entre el día y la noche, los ciclos solares y los cambios de estación determinan los efectos del fotoperíodo.

La exposición a la luz influye en la germinación y en el desarrollo de las especies vegetales: según la cantidad de horas que una planta recibe luz, puede crecer más o menos. El fotoperíodo hace que una especie crezca menos en invierno que en el

resto del año, por ejemplo, ya que los días son más cortos y el crecimiento, en este marco, se interrumpe (Pérez Porto & Gardey, 2018).

3.43. FOTOTROPISMO

Es una reacción de una planta ante un estímulo luminoso. Cuando el vegetal crece hacia la fuente de dicho estímulo luminoso, se habla de fototropismo positivo. En cambio, si la planta se desarrolla en la dirección opuesta a la de la luz, se trata de un fototropismo negativo. Las raíces, por ejemplo, tienen fototropismo negativo: crecen alejándose de la luz. Los tallos, por el contrario, evidencian un fototropismo positivo debido a que se desarrollan hacia la fuente luminosa (Pérez Porto & Gardey, 2022).

3.44. EFECTO DEL AMBIENTE EN LAS PLANTAS

Se refiere a la influencia que tienen los factores externos tanto abióticos (como la luz, temperatura, agua, nutrientes y calidad del suelo) como bióticos (interacciones con otros organismos) sobre su crecimiento, desarrollo, fisiología y capacidad de adaptación. Dichos factores modulan procesos esenciales como la fotosíntesis, la transpiración y la nutrición, permitiendo a las plantas responder y ajustarse a las condiciones cambiantes de su entorno (Taiz, 2010).

3.45. ESTUDIOS SIMILARES

Rebolledo *et al*. (1999), realizo un estudio de un total de 30 familias establecidas en dos ensayos de progenie de *Pinus patula Schl. et Cham*. localizados en Calpulalpan y Orizaba, Veracruz se evaluó la progenie de doce familias comunes, con el fin de comparar su crecimiento y supervivencia entre sitios y entre familias. Se midió la altura total y diámetro (DAP) y se calculó el porcentaje de supervivencia, encontrándose diferencias significativas en los factores evaluados para la variable altura y sólo de familias en cada sitio para el caso de diámetro. Calpulalpan presentó mayores promedios de altura y diámetro que Orizaba. En Orizaba todas las familias presentaron supervivencias superiores al 80%, mayores que Calpulalpan (60%). La

movilización de las doce familias de esta especie, bajo las condiciones que prevalecen en los dos ensayos evaluados, afecta más el crecimiento en altura que en diámetro.

Ramírez *et al*. (2024), realizo una investigación para evaluar la altura, diámetro a la altura de pecho y volumen de los clones de *Pinus patula* en un huerto asexual y estimar la heredabilidad de estas características. Se estableció el huerto semillero asexual en 2012. Se midió el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total, y se calculó el volumen de cada árbol en el huerto. Posteriormente, se estimó la heredabilidad clonal para cada una de las características de clones de cuatro años. Se encontraron diferencias entre clones. La altura promedio fue 4.38 m, y esta varió entre 3.39 y 4.80 m para los clones 103 y 28, respectivamente. El diámetro promedio fue 5.46 cm y vari de 3.98 a 6.52 cm para los clones 103 y 25 respectivamente. El volumen promedio fue 6.23 dm^3 y mostró un rango entre 2.62 y 9.53 dm3 para los clones 103 y 25 respectivamente. Clones de *Pinus patula* tuvieron valores elevados en altura, DAP y volumen. Los valores de heredabilidad fueron 0.655, 0.508 y 0.575 para altura, DAP y volumen, respectivamente. Por lo tanto, estas variables mostraron una heredabilidad alta, es decir están influenciadas por el componente genético.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. COLECTA DE GERMOPLASMA

El germoplasma se colectó de 64 árboles plus (progenies) de polinización abierta procedentes de rodales naturales de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Los criterios para la selección de árboles madre (conocidos como árbol plus) fueron rápido crecimiento, fuste recto, capacidad de auto poda natural, libre de plagas y enfermedades; además de la presencia de estróbilos femeninos maduros. Para evitar el parentesco entre individuos se fijó la distancia de separación de 100 m entre árboles seleccionados (CONAFOR, 2014).

4.2. UBICACIÓN DE LOS ENSAYOS DE PROGENIE

Los ensayos de progenie se establecieron en agosto, septiembre y octubre de 2019. Según su proximidad al Ecuador, el primer ensayo se ubicó en los bienes comunales San Mateo Chignautla, municipio de Chignautla, Puebla. Las coordenadas geográficas de este sitio son 19° 45' 15.7" de latitud Norte y 97° 25' 05.4" de longitud Oeste (Figura 3), con altitud de 2700 msnm. El clima predominante es C(w1), templado subhúmedo, caracterizado por lluvias en verano y precipitación invernal inferior al 5%. La temperatura media anual es de 16.9 °C, siendo abril, mayo y junio los meses más cálidos, con temperaturas medias de 19.0 °C, 19.0 °C y 18.6 °C, respectivamente. La precipitación anual total es de 785.5 mm, concentrándose principalmente en junio, julio, agosto y septiembre, con promedios mensuales de 123.0 mm, 132.0 mm, 124.0 mm y 158.5 mm, respectivamente (Sáenz Pita *et al*., 2000).

La vegetación predominante en el área corresponde a bosque de pino-encino, las especies arbóreas que predominan son *Pinus teocote, Pinus patula (ocote rojo), Pinus montezumae (ocote), Pinus leiophylla (ocote chino), Quercus crassifolia (encino de hoja ancha), Quercus scytophylla, Quercus conglomerata, Alnus jorullensis (aile), Arbutus xalapensis (madroño), Platanus mexicana (álamo blanco),*

Ceiba aesculifolia subsp. parvifolia (pochote) (Aguilar Luna, 1018). Y según el *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México*, elaborado por Martínez Alfaro *et al*., 1995). se documentan numerosas especies arbustivas utilizadas por las comunidades locales. Entre las familias botánicas más representadas se encuentran las Fabáceae y las Asteraceae, algunas de las especies arbustivas destacadas incluyen la *Mimosa aculeaticarpa*: Conocida comúnmente como "espino" y la *Nolina cespitifera*: También llamada "palmilla" o "cortadillo" (Gutiérrez Pérez, 2024) (Figura 3).

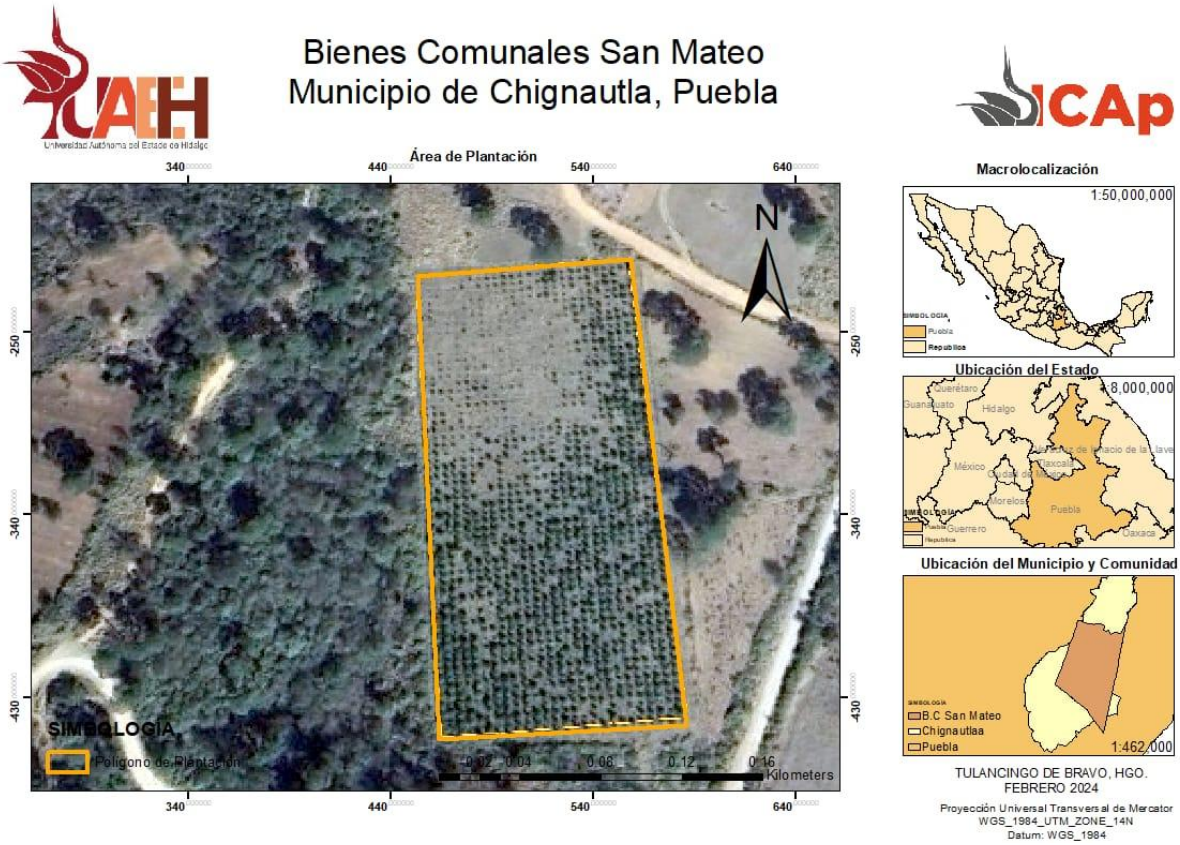

Figura 3 Ubicación del 1er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bienes comunales Chignautla, Chignautla, Puebla.

El segundo ensayo de progenie se ubica en el ejido Viborillas Ojo de Agua, municipio de Huayacocotla, Veracruz. Sus coordenadas geográficas son 20° 28´ 19.90” de latitud Norte y 98° 29´ 53.46” de longitud Oeste (Figura 4), con altitud 2310 msnm, en un clima C(w1) templado subhúmedo, este clima se caracteriza por tener

lluvias en verano y un porcentaje invernal menor del 5%, Presenta una temperatura media anual de 14.7°C (Escobedo-luna,2024).La precipitación anual es de 1004 mm, siendo junio, julio, agosto, y septiembre, los meses de mayor precipitación con una media de 148.0 mm, 125.8 mm, 96.1 mm, y 124.0 mm respectivamente.

La vegetación corresponde a un bosque de pino-encino, las especies de árboles predominantes son: *Pinus patula, Pinus* ayacauite*, Quercus crassifolia, Quercus affinis, Quercus crassipes* y algunas especies arbustivas que predominan son *Rhus trilobata, Arbutus xalapensis, Prunus brachybotria,* (INEGI, 2016)

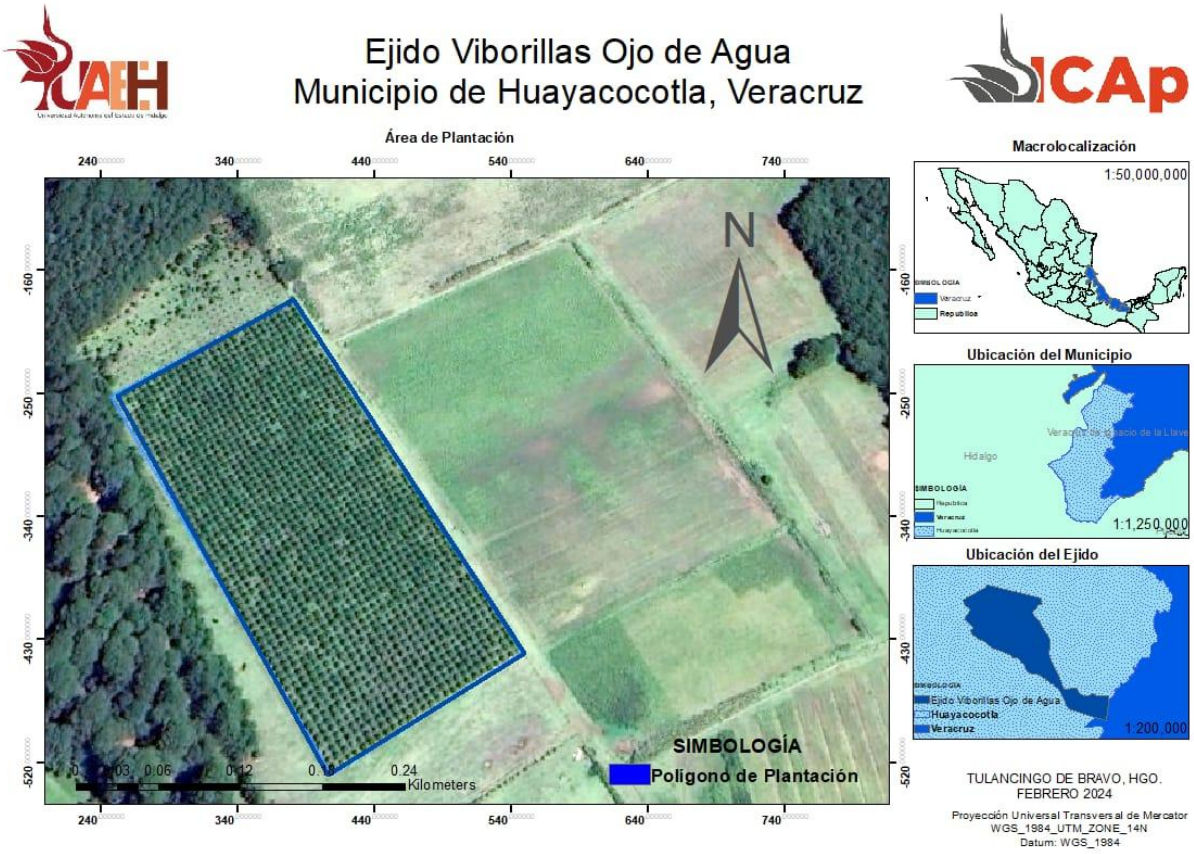

Figura 4 Ubicación del 2do ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

El tercer ensayo de progenie se ubica en el predio particular Rancho Tlatoxca, municipio de Zacualtipán, Hidalgo. Sus coordenadas geográficas son 20°37´48.57” latitud Norte, y 98°38´10.70” longitud Oeste (Figura 5), con altitud 2160 msnm, se

presenta un clima templado húmedo *Cf* con climas donde no hay estación seca definida y las precipitaciones suelen estar distribuidas a lo largo del año (aunque con un pequeño máximo por lo general invernal) (Peel, 2007)

La temperatura media anual del predio particular Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo es de 14 °C con precipitación de 2047 mm al año la vegetación que predomina en el lugar son los bosques templados de pino-encino y mesófilo de montaña, donde predominan especies de *Pinus patula, Pinus teocote, Quercus laurina y Liquidambar styuraciflua* (Hidalgo, 2011).

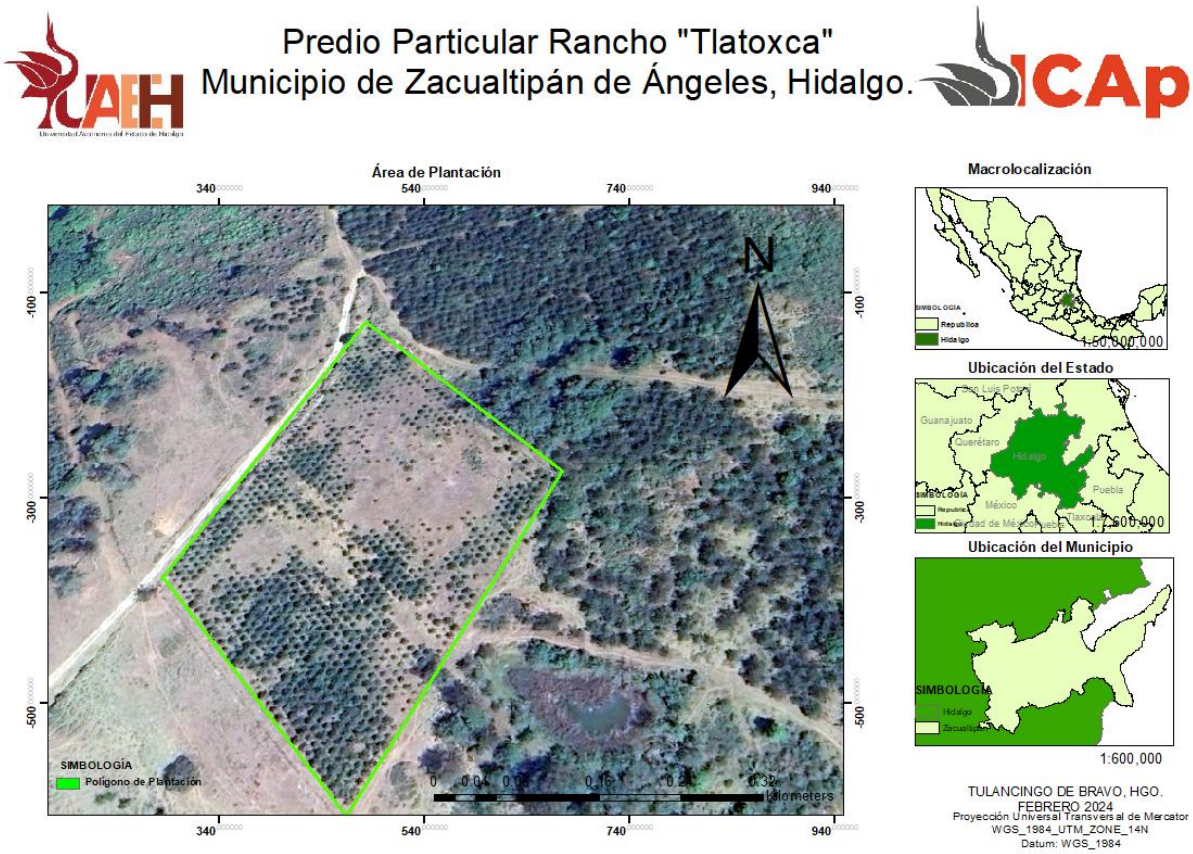

Figura 5 Ubicación del 3er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en el predio particular rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo.

4.3. PRODUCCIÓN DE PLANTA

La producción de planta para los tres ensayos de progenie se realizó al mismo tiempo en contenedores de plástico negro de 310 c m^3 en las instalaciones del vivero forestal del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Se utilizó la mezcla de sustrato en porcentaje de 60-15-15-10 de aserrín, tezontle, turba de musgo, vermiculita respectivamente más 8 g/l de fertilizante de liberación controlada (15-7-15+2MgO+ME) de 8 meses. La planta a la edad de 9 meses se llevó a campo para su plantación.

4.4. PREPARACIÓN DEL TERRENO Y DISEÑO EXPERIMENTAL PARA CADA SITIO

El ensayo de progenie en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, fue un área de pastoreo y se eliminaron dos árboles mayores a 20 metros de altura junto con los tocones, vegetación arbustiva y herbácea; después con tractor se barbechó y se pasó la rastra en dos ocasiones quedando el suelo en partículas pequeñas favorables para la plantación. En el terreno predomina la pendiente del 15% con exposición noreste y otra pequeña área tiene ligera pendiente del 5% con exposición suroeste. Las plantas fueron colocadas en diseño de marco real, se plantó en cepa común con espaciamiento de 3 x 3 m entre plantas (Figura 6) y se estableció una hilera como franja de protección en el perímetro del ensayo con plantas de árboles del mismo ensayo de progenie.

El diseño experimental utilizado en el ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Pue. fue de bloques completos al azar, con 21 bloques y 64 progenies (familias) asignadas al azar en cada bloque, la parcela experimental fue de un árbol por progenie por bloque, sumando en total del experimento 1344 árboles plantados más 164 árboles de bordo, (estos árboles aportan valor económico y ambiental, complementando otros cultivos, favorecen el desarrollo de otras plantas o cultivos asociados) dando un total de 1508 árboles totales (Figura 7).

Figura 6 Plantación de *Pinus patula* en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla.

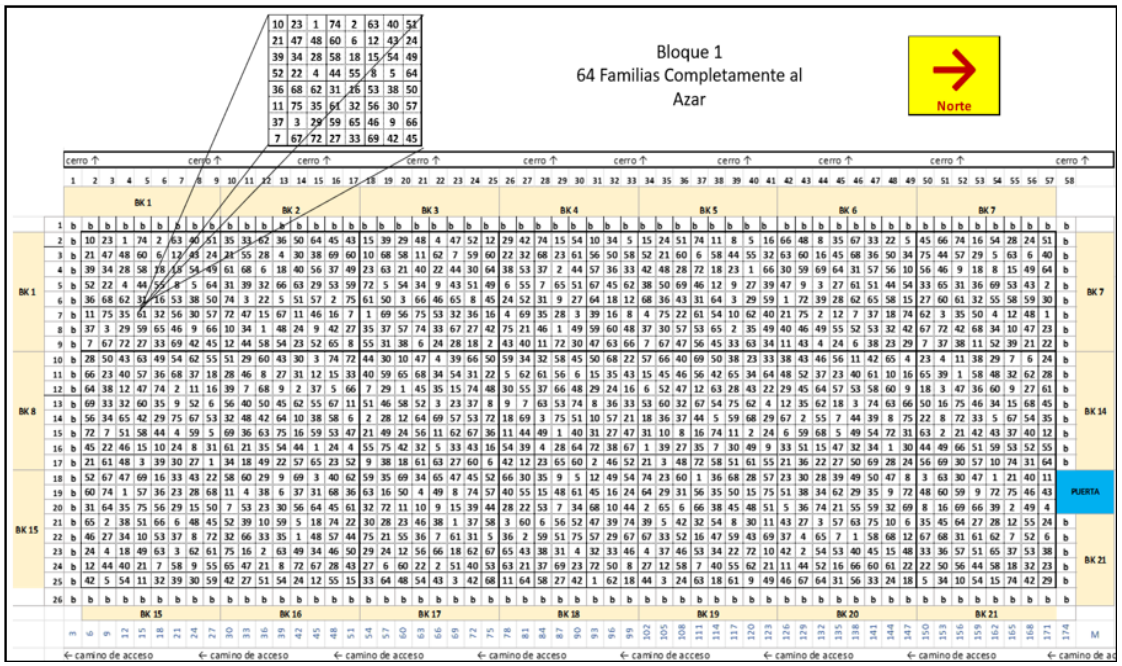

Figura 7 Diseño de bloques del 1er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 21 bloques en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla.

El ensayo de progenie establecido en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, fue sobre un terreno anteriormente destinado a actividades agrícolas, pero clasificado como área de uso agrícola en desuso. La preparación del terreno incluyó la remoción total de vegetación arbustiva y herbácea, seguida de dos pasadas de rastra con tractor, dejando la estructura del suelo con partículas finas, propicias para el establecimiento de la plantación. El área experimental presenta la pendiente del 3 %. El diseño experimental utilizado fue de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar, con 21 bloques y 64 progenies (familias) asignadas al azar en cada bloque, la parcela experimental fue de un árbol por progenie por bloque, sumando en total del experimento 1344 árboles plantados más 164 árboles de bordo, (estos árboles aportan valor económico y ambiental, complementando otros cultivos, favorecen el desarrollo de otras plantas o cultivos asociados) dando un total de 1508 árboles totales (Figura 8). Las plantas fueron establecidas bajo un diseño de marco real, con un espaciamiento uniforme de 3 m x 3m entre plantas (Figura 9), y se estableció una hilera como franja de protección en el perímetro del ensayo con plantas de árboles del mismo ensayo de progenie.

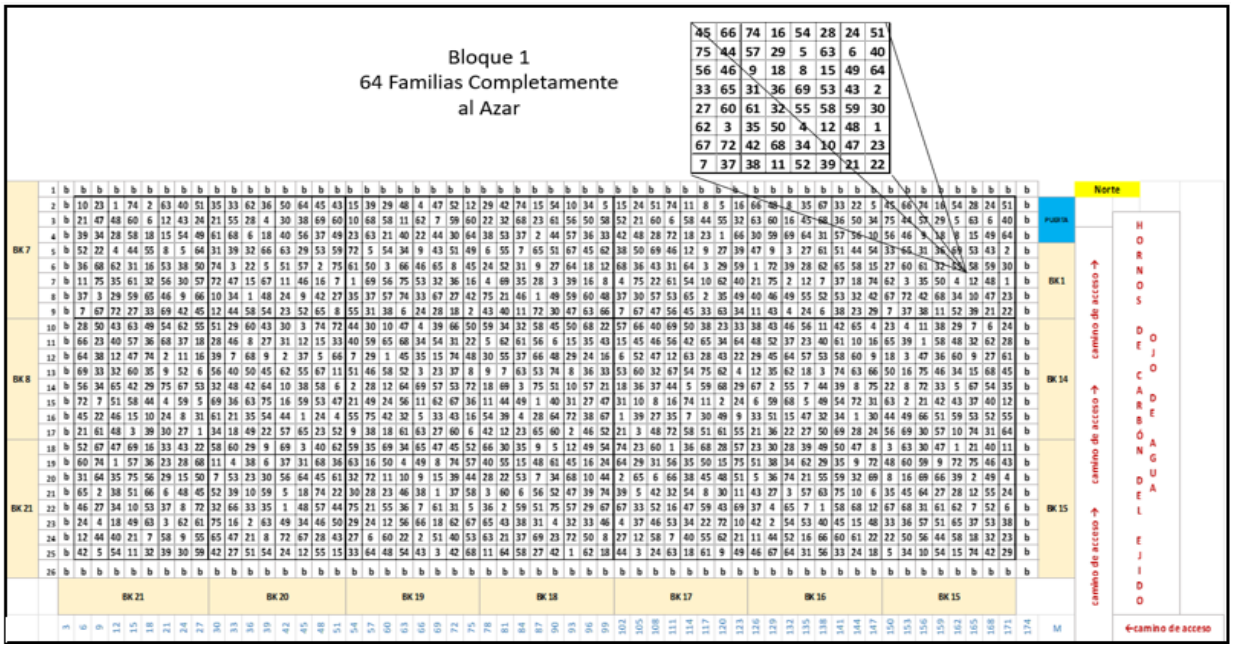

Figura 8 Diseño de experimental del 2do ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 21 bloques en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Figura 9 Plantación de *Pinus patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua Huayacocotla, Veracruz.

El ensayo de progenie en el Rancho Tlatoxca, Zacualtipán el terreno anteriormente fue ocupado como agostadero y se eliminó la vegetación arbustiva y herbácea con el paso de maquinaria pesada (Caterpillar) al tallar y emparejar el terreno quedando el suelo sin compactar y en condiciones para realizar la plantación. El área presenta pendiente promedio de 25% con exposición Suroeste y tiene tres condiciones de suelo definidas, el lado superior derecho predomina el suelo pedregoso, en el centro y superior izquierdo predomina el suelo arcilloso y en el inferior predomina un suelo franco arcilloso. Las plantas fueron colocadas en diseño de marco real, se plantó en cepa común con espaciamiento de 3m x 3m entre plantas (Figura 10) y se estableció una hilera como franja de protección en el perímetro del ensayo con plantas compañeras del ensayo de progenie.

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar, con 20 bloques y 64 progenies (familias) asignadas al azar en cada bloque, la parcela experimental fue de un árbol por progenie por bloque, sumando en total del experimento 1280 árboles más 148 árboles de bordo teniendo una plantación de 1428 árboles totales (Figura 11)

Figura 10 Plantación de *Pinus patula* en el rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, México.

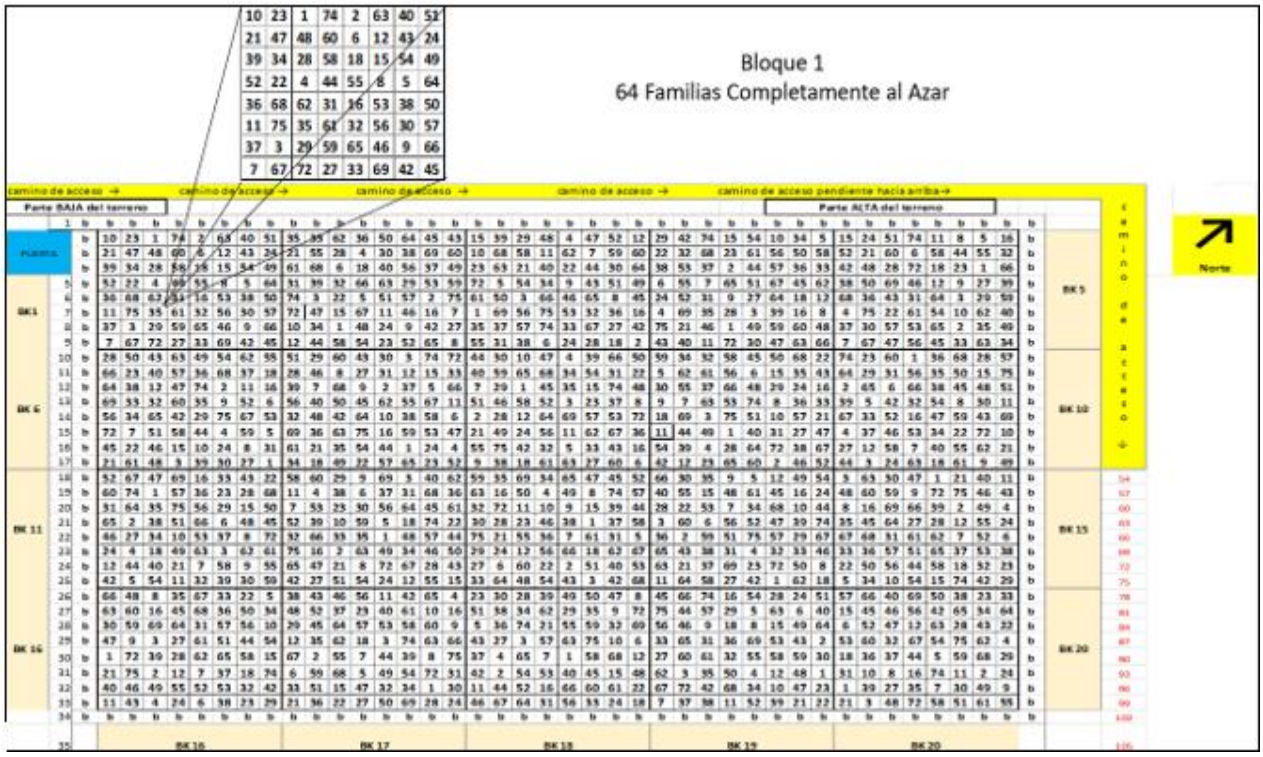

Figura 11 Diseño de bloques del 3er ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en bloques completos al azar con 20 bloques en el rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, México.

4.5. MEDICIÓN DE VARIABLES EN CAMPO

La evaluación se realizó en junio del 2022 en cada uno de los ensayos, para dicha fecha los árboles tenían 2.8 años de plantados. En campo se midió la variable altura total del árbol que corresponde a la distancia desde la base hasta la yema apical del árbol se utilizó la regla telemétrica marca Sensing con precisión al mm., para el diámetro normal se ocupó el vernier digital marca Mitutoyo® con aproximación al milímetro.

Figura 12 Medición directa de altura de los árboles de *Pinus patula* del ensayo de progenie en bienes comunales San Mateo, Chignautla, Puebla

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A los datos de altura total y diámetro normal obtenidos en campo se les realizaron análisis de varianza y aquellas variables que presentaron diferencia estadística significativa ($P \leq 0.0001$), se les aplicó la prueba de comparación media de Tukey. Los análisis se ejecutaron con el software SAS versión 9.0.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. ENSAYO DE PROGENIE BIENES COMUNALES SAN MATEO CHIGNAUTLA, CHIGNAUTLA, PUEBLA

5.1.1. ALTURA TOTAL

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.0061$) en altura de los árboles de las 64 familias en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en bienes comunales San Mateo Chignautla. La familia 35 procedente del ejido El Reparo del municipio de Zacualtipán Hidalgo, obtuvo el mayor promedio en altura total de 238.4 cm, mientras que la familia 74 con origen en el ejido San Cornelio municipio de Agua Blanca Hidalgo, tuvo el menor valor (145.3 cm). A la edad de 2.8 años se encontró la diferencia calculada entre las familias 35 y 74 de 93.1 cm lo que significa que los árboles de la familia 35, han crecido el 39.0 % más en altura que los ejemplares de la familia 74 (Figura 13). También se encontró que 34 familias tuvieron valores de altura por arriba de la media general del experimento (200.7 cm). Los datos obtenidos en el presente estudio son similares a los que reporta Escobedo-Luna (2023), en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en el estado de Veracruz con edad de 2.4 años. Es posible que, al tener alturas similares, pero con menor edad en Veracruz se deba a las condiciones ambientales favorables en dicho lugar para la especie.

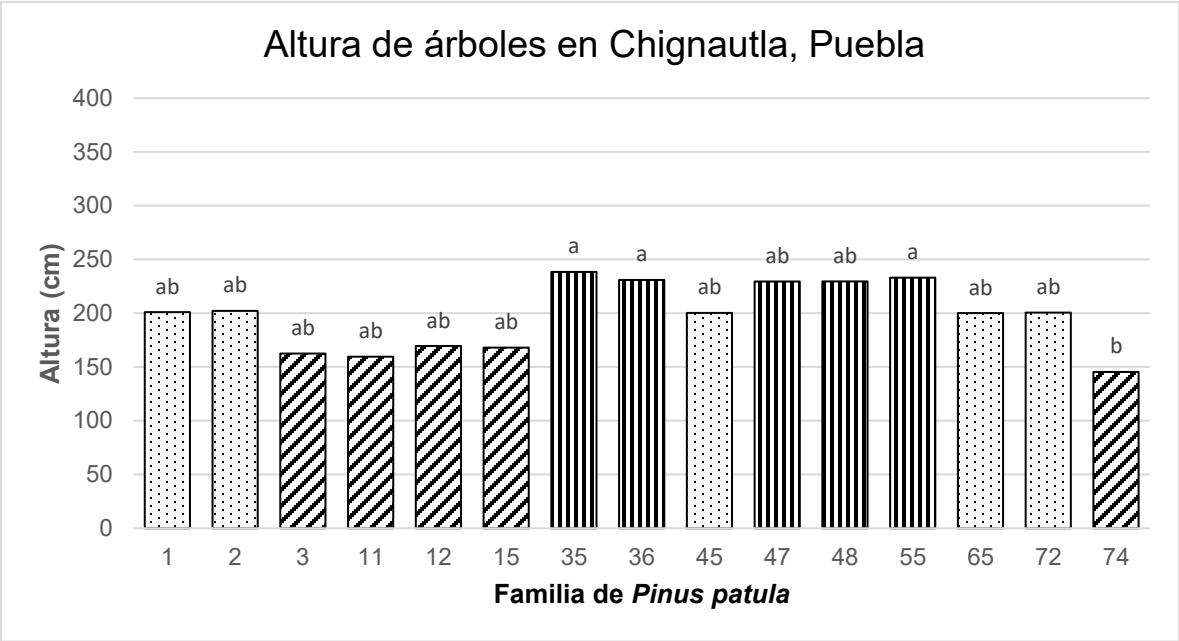

FIGURA 13 Altura promedio de árboles en el 1er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.1.2. DIÁMETRO NORMAL

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas (p≤0.0246) en diámetro en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en bienes comunales San Mateo Chignautla. A la edad de 2.8 años de establecidos en campo la familia 53 procedente del ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver, obtuvo el mayor promedio en diámetro normal de 22.7 mm, mientras que la familia 74 con origen en el ejido San Cornelio, Agua Blanca, Hgo. tuvo el menor valor (12.3 mm). La diferencia calculada entre las familias 53 y 74 fue de 10.4 mm lo que significa que los árboles de la familia 53, han incrementado su diámetro hasta en 45 % más que los ejemplares de la familia 74 (Figura 14). También se encontró que 34 familias tuvieron valores por arriba de la media general del experimento (18.1 mm).

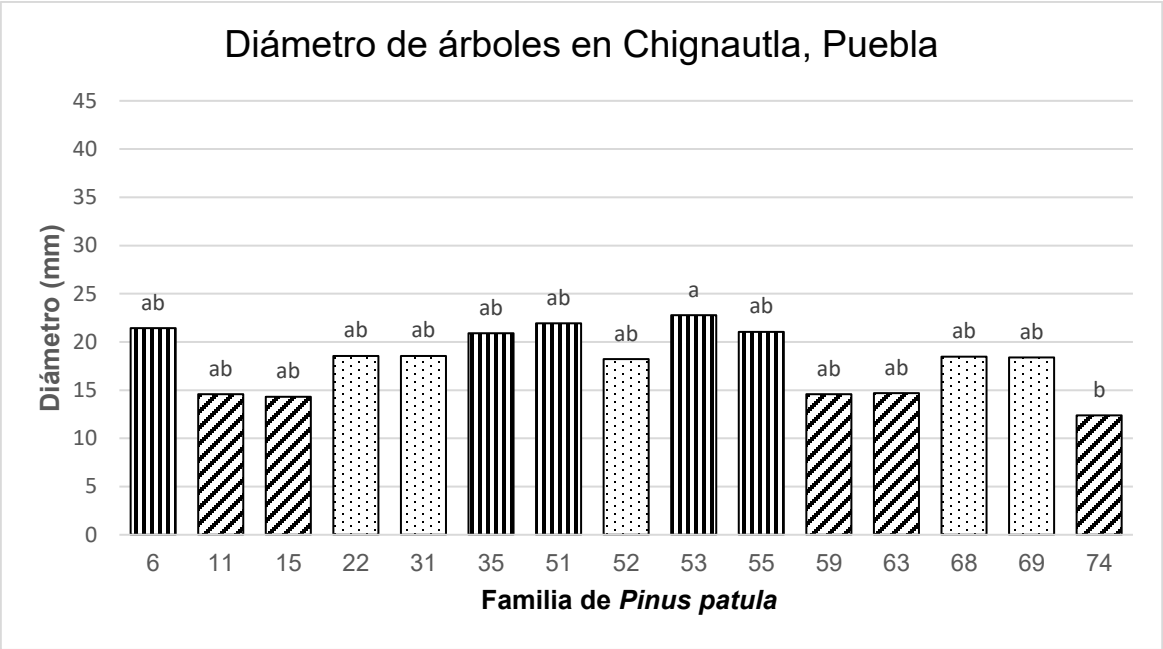

Figura 14 Valores promedio de diámetros en el 1er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.2. ENSAYO DE PROGENIE EN EL EJIDO VIBORILLAS OJO DE AGUA, HUAYACOCOTLA, VERACRUZ

5.2.1. ALTURA TOTAL

Se encontraron diferencias significativas (p≤0.0001) en altura de los árboles del ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla. La mayor altura a la edad de 2.8 años la obtuvo la familia 66 procedente del predio particular Tierra Blanca, Tlahuiltepa, Hidalgo, con 363.1 cm, mientras que la familia 4 con origen en Tlatlauquitepec, Pue. alcanzó apenas la altura de 299.6 cm. se obtuvo la diferencia calculada entre las familias extremas (66 y 4) el valor de 63.5 cm lo que significa que los árboles de la familia 66, han crecido

el 17.4% más en altura que los ejemplares de la familia 4 (Figura 15). La media general del experimento fue de 323.0 cm y se encontraron 34 familias que tuvieron valores por arriba de dicho valor. Los datos obtenidos en el presente estudio son similares a los que reporta Rebolledo *et al*. (1999), en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en el estado de Veracruz con edad de 3 años. Se reafirma la velocidad de crecimiento que tiene la especie a temprana edad.

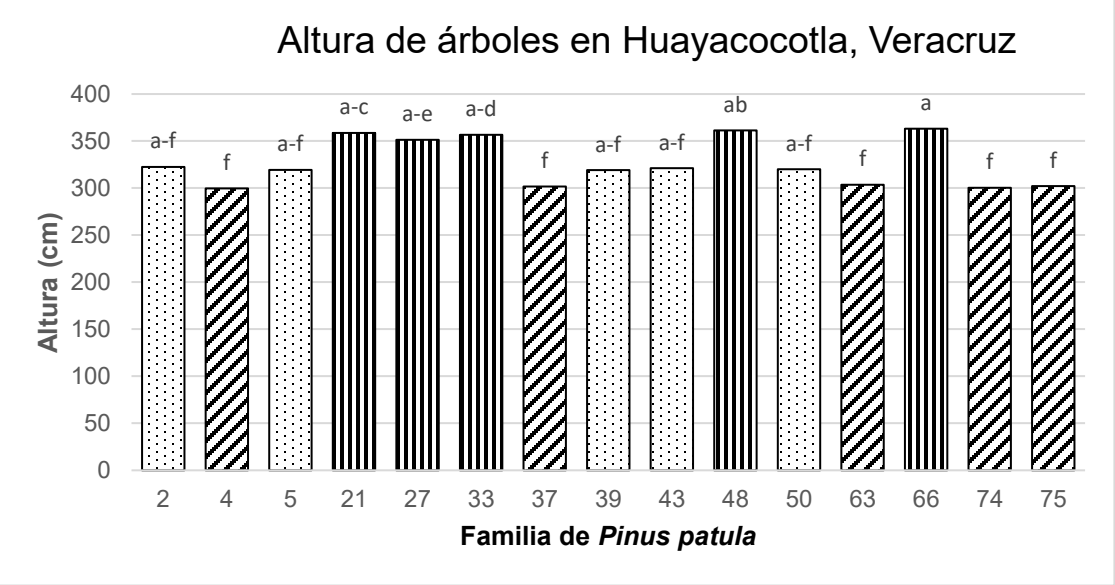

Figura 15 Valores promedio de altura en el 2do ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.2.2. DIÁMETRO NORMAL

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.0001$) en diámetro del ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla. El mayor diámetro normal a la edad de 2.8 años la obtuvo la familia 48 procedente ejido La Selva, Huayacocotla, Ver, con 42.2 mm, mientras que la familia 22 con origen en Ahuazotepec, Pue. tuvo el menor valor de 31.4 mm. Se encontró la diferencia

calculada entre las familias 48 y 22 de 10.8 mm, lo que significa que los árboles de la familia 48, han superado en el incremento en diámetro hasta en 25.5 % más que los ejemplares de la familia 22 (Figura16). La media general del experimento fue de 35.2 mm y se encontraron 34 familias que tuvieron valores por arriba de dicho valor. Los datos obtenidos en el presente estudio son ligeramente superiores a los que reporta Rebolledo *et al*. (1999), en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en el estado de Veracruz con edad de 3 años. Registró promedios entre 3.0 y 4.0 cm en los sitios de Calpulalpan y Orizaba. Se reafirma la velocidad de incremento en diámetro que tiene la especie a temprana edad. En un ensayo con alta densidad inicial y sin raleo temprano, los árboles tienden a crecer más en altura que en diámetro.

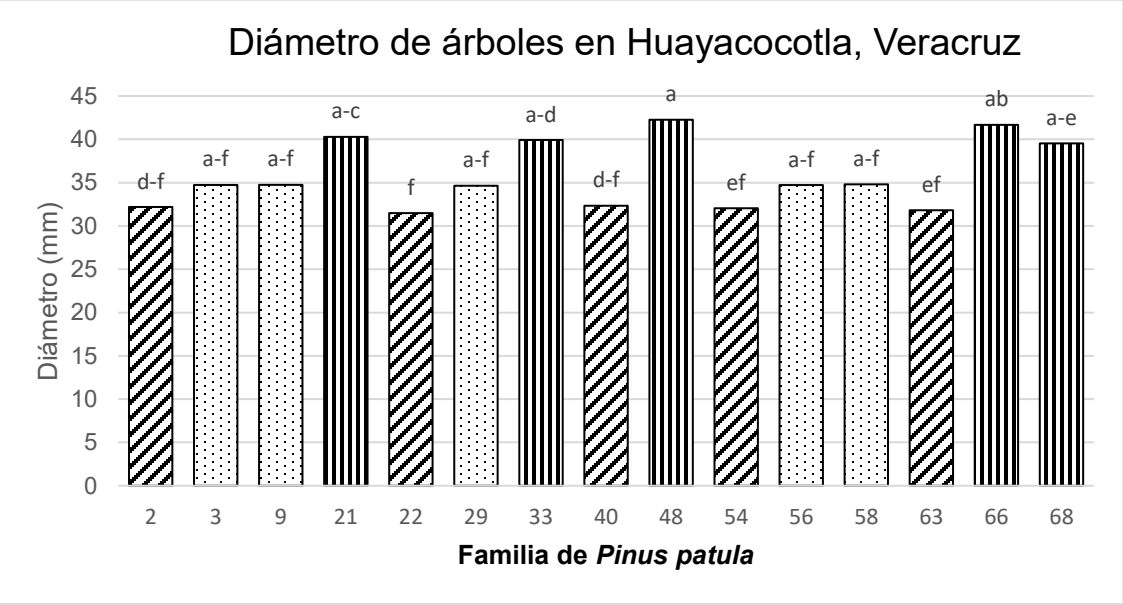

Figura 16 Valores promedio de diámetro en el 2do ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.3. ENSAYO DE PROGENIE PREDIO PARTICULAR RANCHO TLATOXCA, ZACUALTIPÁN, HIDALGO

5.3.1. ALTURA TOTAL

En la variable altura total de los árboles se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.0004$) en el ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* en Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. La familia 21 procedente Ahuazotepec, Puebla, obtuvo el mayor promedio en altura total de 330.5 cm, mientras que la familia 64 con origen en el ejido Cumbres de Muridores, municipio de San Bartolo Tutotepec, Hgo. su valor fue de 181.3 cm. A la edad de 2.8 años se encontró la diferencia calculada entre familias extremas (21 y 64) de 149.2 cm lo que significa que los árboles de la familia 21, han superado con el 45.1 % más en altura que los ejemplares de la familia 64 (Figura 17). También se encontró que 34 familias tuvieron valores por arriba de la media general del experimento (242.2 cm).

Los datos obtenidos en el presente estudio son menores a los que reporta Ramírez *et al*. (2024), en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en el ejido La Selva en el municipio de Huayacocotla, estado de Veracruz, con edad de 4 años. El registro de altura promedio de los árboles en el ensayo fue de 438 cm. Lo anterior se puede deber a que tiene 1.2 años menos el presente estudio y cabe la posibilidad de ser similares cuando tenga la misma edad de establecidos en campo.

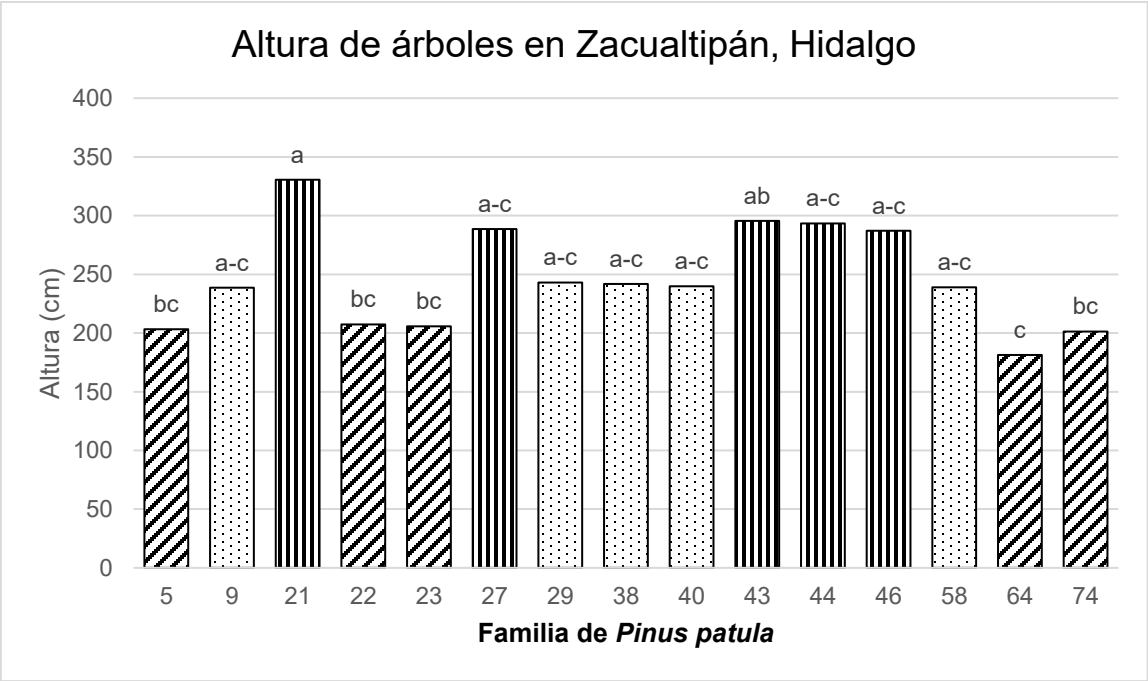

Figura 17 Valores promedio de altura en el 3er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, predio particular rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.3.2. DIÁMETRO NORMAL

En la variable diámetro normal de los árboles se encontraron diferencias significativas (p≤0.0257) en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. Sin embargo, Tukey 0.05 formó un solo grupo. La familia 21 procedente de Ahuazotepec, Puebla, tuvo el mayor diámetro de 31.2 mm, mientras que la familia 64 su valor fue de 16.1 mm. A la edad de 2.8 años se encontró la diferencia calculada entre las familias 21 y 64 de 15.1 mm lo que significa que los árboles de la familia 21 han crecido el 48.4 % más en altura que los ejemplares de la familia 64 (Figura18). También se encontró que 34 familias tuvieron valores por arriba de la media general del experimento (21.8 mm). Los datos obtenidos en el presente estudio son inferiores a los que reporta Rebolledo *et al*.

(1999), en el ensayo de progenie de *Pinus patula* en el estado de Veracruz con edad de 3 años.

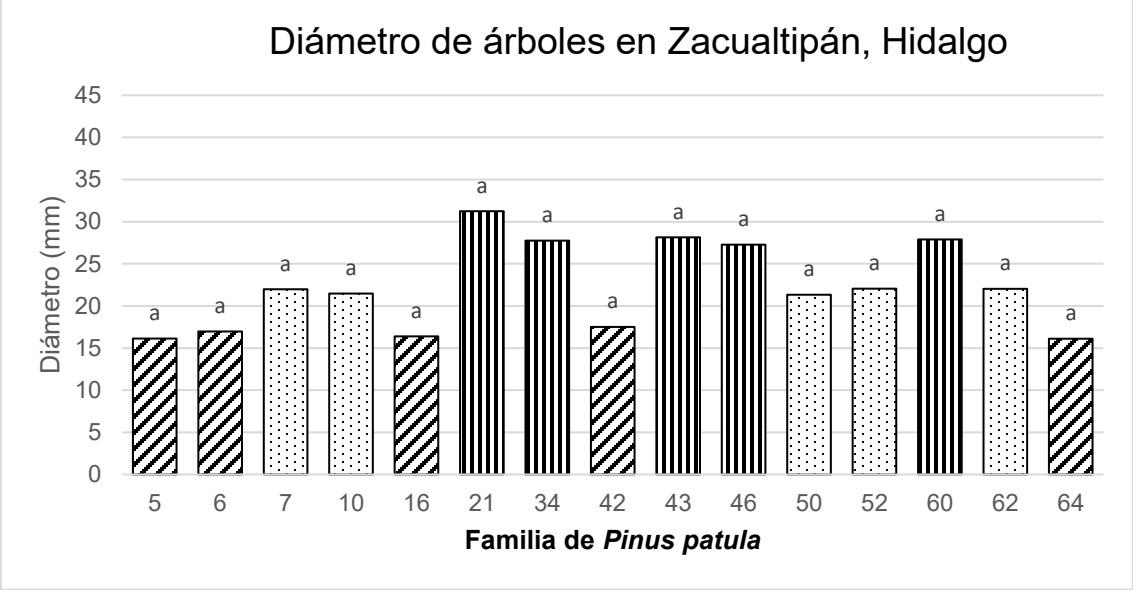

Figura 18 Valores promedio de diámetro en el 3er ensayo de progenie con 64 familias de *Pinus patula*, predio particular Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo. Se presentan 5 familias con valores superiores (trama: líneas verticales), 5 familias con valores intermedios (trama: puntos verticales) y 5 familias con valores inferiores (trama: líneas diagonales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.4. Altura mayor obtenida en tres ensayos de progenie

Se establecieron tres ensayos de progenie en diferentes sitios que fueron descritos anteriormente, se plantaron 64 familias de la misma edad en cada sitio, cada familia se encuentra representada con 21 ejemplares por lugar excepto en Rancho Tlatoxca con 20. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.0001$) en altura de los árboles entre los tres ensayos de progenie de *Pinus patula.* Los árboles del ensayo de progenie establecido en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver. tuvo en general 323.0 cm de altura y los árboles del ensayo plantado en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Pue. alcanzaron en general la altura de 200.7 cm. En la figura 19 se muestran 6 familias por cada ensayo de progenie con altura promedio mayor de los árboles alcanzada a la edad de 2.8 años de establecidos. La familia 21 con origen en Ahuazotepec, Puebla obtuvo el lugar 6, 3 y 1 en los ensayos de progenie que se establecieron de acuerdo a la cercanía al Ecuador siendo la mejor familia en la variable altura total. Las familias 47 y 48 con origen en ejido La Selva, Huayacocotla, Ver se encuentran en los ensayos de progenie establecidos en bienes comunales San Mateo Chignautla (Figura 20) y en el ejido Viborillas Ojo de Agua, y la familia 66 que procede de predio particular Tierra Blanca 2, Tlahuiltepa, Hgo, tuvo los mejores crecimientos en los ensayos de Viborillas Ojo de Agua y Rancho Tlatoxca.

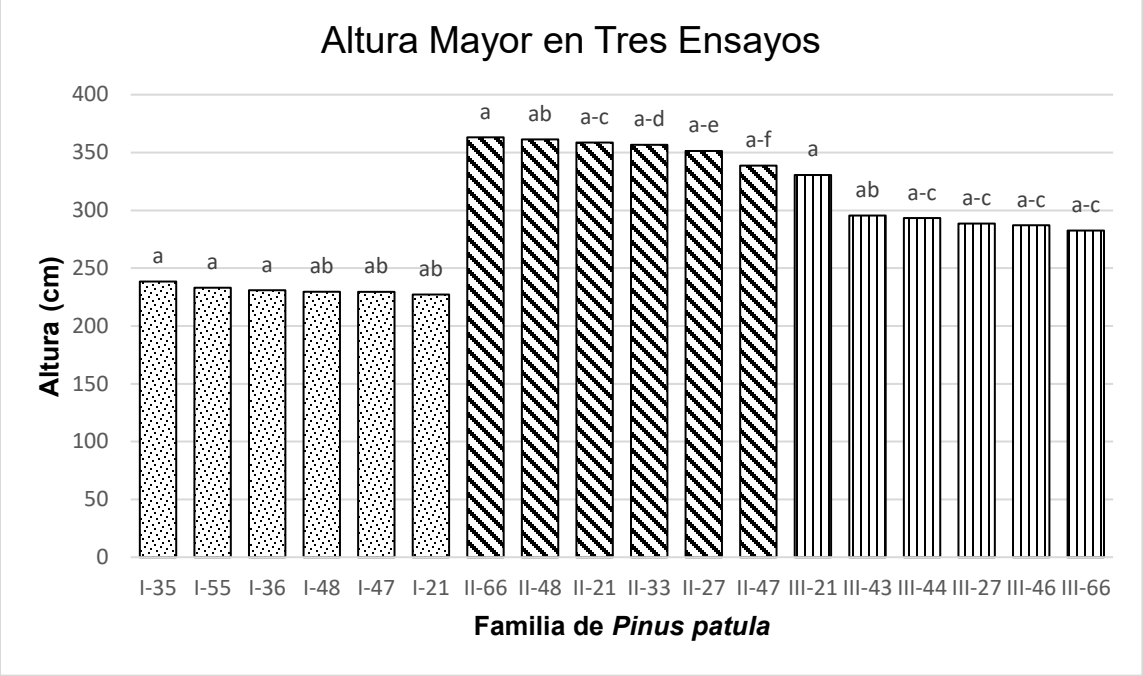

Figura 19 Valores promedio de mayores alturas en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. I) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-35, I-55, I-36, I-48, I-47. I-21) (puntos verticales). II) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-66, II-48, II-21, II-33, II-27, II-47) (líneas diagonales) y III) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-21, III-43, III-44, III-27, III-46, III-66) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

Figura 20 Familia 35 sobresaliente en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla.

5.5. Altura menor obtenida en tres ensayos de progenie

En el ensayo de progenie establecido en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Pue. se registraron los valores menores promedio por familia. Como es el caso de la familia 74 que procede de ejido San Cornelio, Agua Blanca, Hgo. y en promedio alcanzaron la altura de 145.3 cm. Además, dicha familia registra los menores valores de altura en los tres ensayos de progenie con edad de 2.8 años de establecidos en campo. Mencionar que son diferentes familias que tuvieron en cada ensayo de progenie los seis últimos valores promedio de altura total.

Los resultados encontrados en este ensayo son relativamente superiores a los presentados por Rebolledo *et al*. (1999), en el ejido El Berro, Orizaba, Veracruz y Calpulalpan, Veracruz, el cual se evalúa el crecimiento en altura. Se encontró que en Calpulalpan la altura mínima fue de 100 cm, la máxima de 480 cm y la media de 323 cm y en Orizaba se encontró la altura mínima de 90 cm, la máxima de 480 cm

y la media de 301.5 cm, en árboles de *Pinus patula* a la edad de 3 años de plantados. Y en esta investigación el ensayo II destaca por tener las alturas mínimas más altas en comparación con los ensayos I y III. Esto podría sugerir que las condiciones del sitio en el que se estableció el ensayo II favorecieron el crecimiento de los árboles (Figura.21).

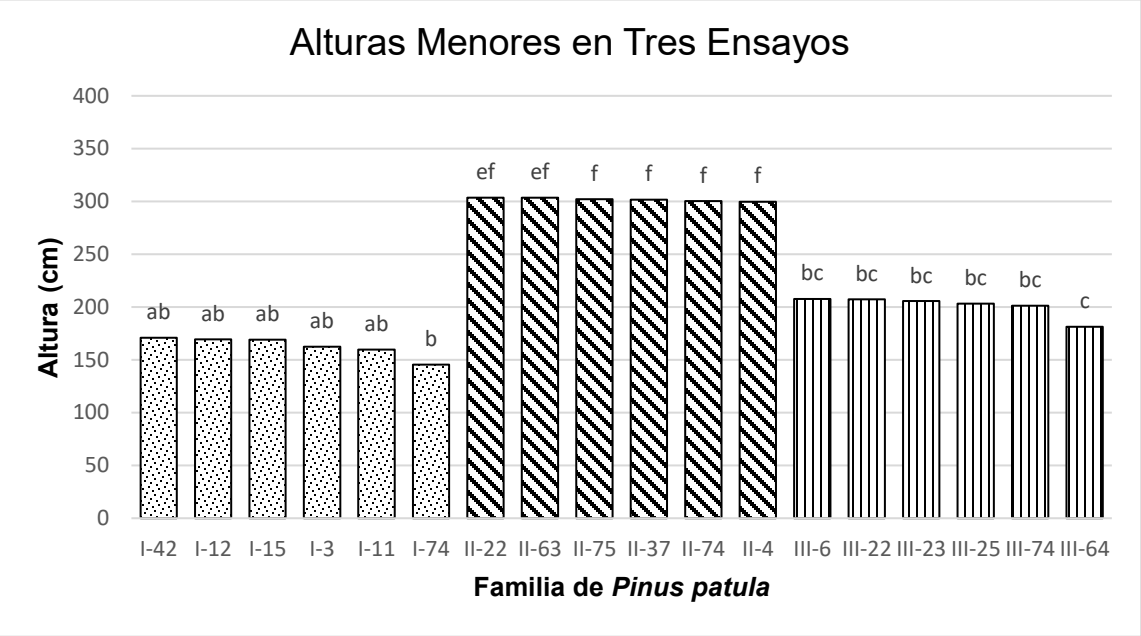

Figura 21 Valores promedio de menores alturas en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-42, I-12, I-15, I-3, I-11, I-74) (puntos verticales). ii) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-22, II-63, II-75, II-37, II-74, II-4) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-6, III-22, III-23, III-25, III-74, III-64) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.6. Diámetro mayor obtenido en tres ensayos de progenie

Los árboles del ensayo de progenie establecido en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver. tuvo en general 42.2 mm de diámetro y los árboles del ensayo

plantado en bienes comunales San Mateo, Chignautla, Pue. alcanzaron en general el diámetro 22.7 mm. por otro lado, en la figura 22 se muestran 6 familias por cada ensayo de progenie con diámetro promedio mayor de los árboles alcanzada a la edad de 2.8 años de establecidos. La familia 21 con origen en Ahuazotepec, Puebla se encuentran en los ensayos de progenie establecidos en Rancho Tlatoxca y en el ejido Viborillas Ojo de Agua siendo la mejor familia en la variable diámetro total.

Los resultados encontrados en este ensayo son inferiores a los presentados por Rebolledo *et al*. (1999), en del ejido El Berro, Orizaba Veracruz y Calpulalpan, Veracruz, el cual se evalúa el incremento del diámetro. Se encontró que en Calpulalpan el diámetro mínimo fue de 1.0 cm, el máximo de 6.3 cm y el medio de 3.4 cm y en Orizaba se encontró un diámetro mínimo de 0.8 cm, una máxima de 7.0 cm y la media de 3.5 cm, en árboles de *Pinus patula* a la edad de 3 años de plantados. Y en esta investigación de los tres ensayos de progenie se obtuvo que las familias del ensayo II superan notablemente a las de los ensayos I y III.

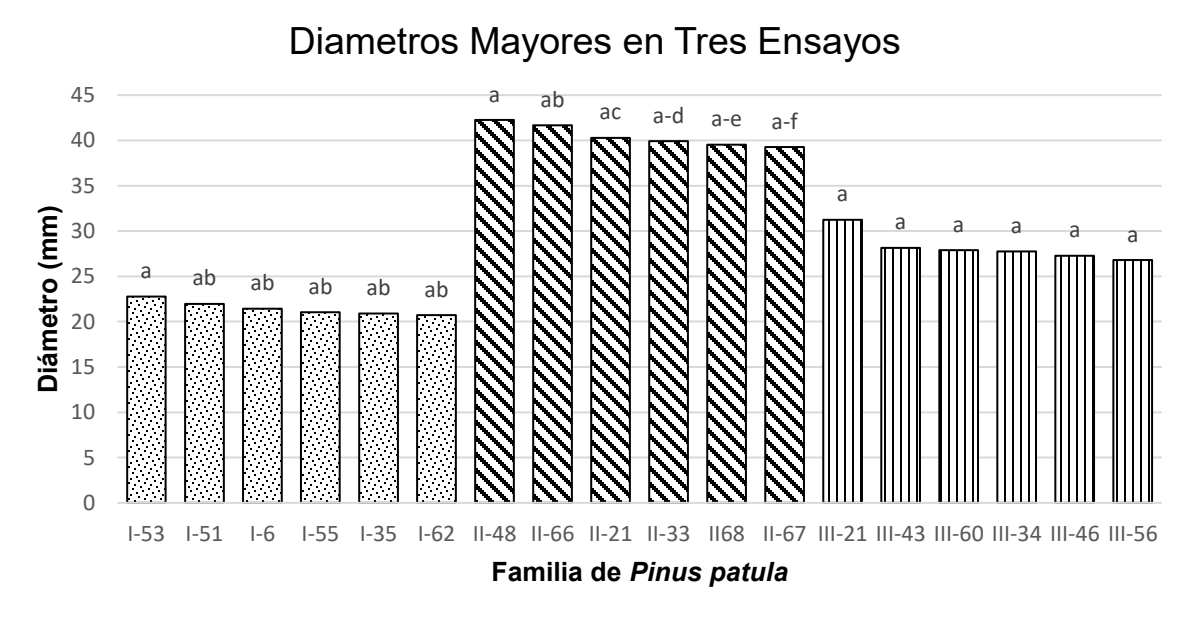

FIGURA 22 Valores promedio de diámetros máximos en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula*. i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-53, I-51, I-6, I-55, I-35, I-62) (puntos verticales). ii) Ejido

Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-48, II-66, II-21, II-33, II-68, II-67) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-21, III-43, III-60, III-34, III-46, III-56) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

5.7. Diámetro menor obtenido en tres ensayos de progenie

En el ensayo de progenie establecido en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Pue. se registraron los valores menores promedio por familia. Como es el caso de la familia 74 que procede de ejido San Cornelio, Agua Blanca, Hgo. y en promedio alcanzaron un diámetro de 12.3 mm. Además, dicha familia registra los menores valores de diámetro en los tres ensayos de progenie con edad de 2.8 años de establecidos en campo. Mencionar que son diferentes familias que tuvieron en cada ensayo de progenie los seis últimos valores promedio de altura total (Figura 23). Esta gráfica de barras muestra los diámetros mínimos registrados para distintas familias de *Pinus patula* en tres ensayos de progenie (indicados como I, II y III en las etiquetas del eje x). El eje y representa los diámetros en una escala de 0 a 45. El ensayo II sobresale con los mayores diámetros mínimos de todas las familias, los ensayos I y III presentan diámetros reducidos y valores similares entre sí, la variación entre familias dentro de cada ensayo es baja, especialmente en los ensayos II y III.

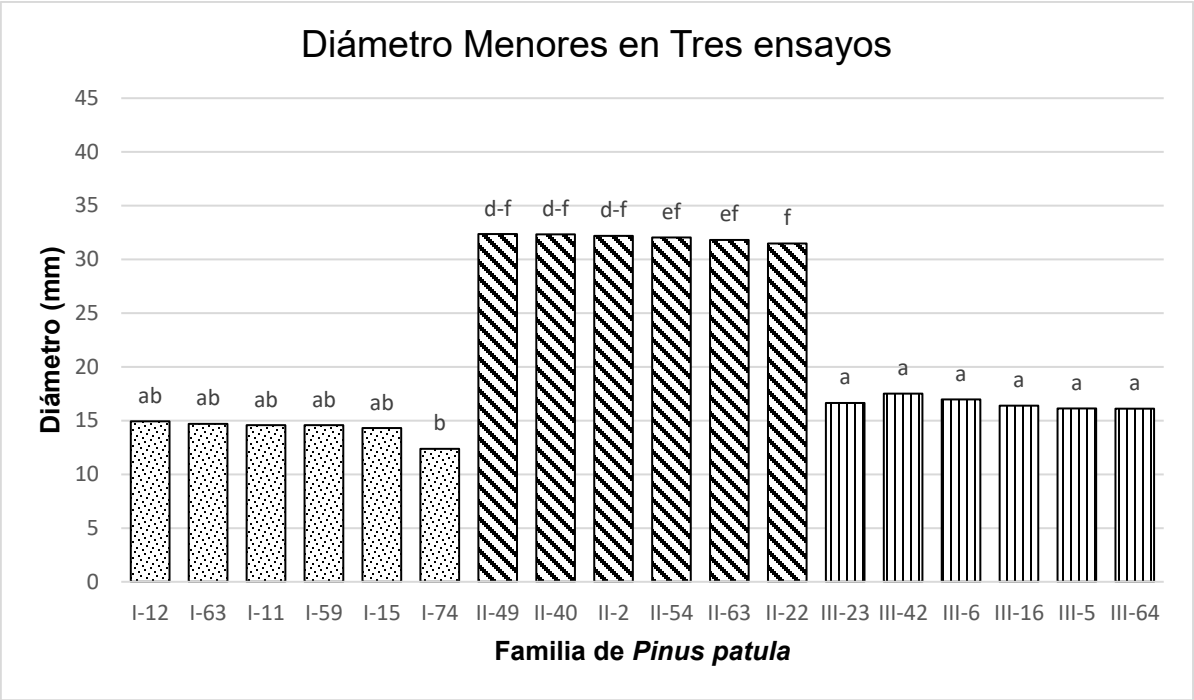

Figura 23 Valores promedio de diámetros mínimos en tres ensayos de progenie con 64 familias de *Pinus patula.* i) Bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla, 6 familias con mayores alturas (I-12, I-63, I-11, I-59, I-15, I-74) (puntos verticales). ii) Ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, 6 familias con mayores alturas (II-49, II-40, II-2, II-54, II-63, II-22) (líneas diagonales) y iii) Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo, 6 familias con mayores alturas (III-23, III-42, III-6, III-16, III-5, III-64) (líneas verticales). Medias con letras iguales en las barras no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

6. CONCLUSIONES

En los ensayos de progenie de *Pinus patula* plantados hace 2.8 años en Chignautla (Puebla), Huayacocotla (Veracruz) y Zacualtipán (Hidalgo) tuvieron diferencias significativas en promedio de altura y diámetro normal general por ensayo con valores de 200.7, 323.0 y 242.2 cm respectivamente. En cuanto al diámetro los promedios fueron de 18.1, 35.2 y 21.8 mm en cada ensayo de progenie.

En los ensayos de progenie de 64 familias del de *Pinus patula*, fueron diferentes familias en cada ensayo que tuvieron las alturas y diámetros mayores, mostrando que el grado de adaptación de cada familia es distinto en los sitios plantados. Lo que permite a futuro seleccionar genotipos (familias) con alto rendimiento para programas de plantaciones comerciales con condiciones ambientales y de suelo similares a los ensayos de progenie.

Los árboles de la familia 66 plantados en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz tuvieron en promedio de 363.1 cm de altura, fueron superiores 47.2% a los árboles de la misma familia 66 plantados en bienes comunales San Mateo Chignautla, Chignautla, Puebla y con los árboles (familia 66) plantados en el predio particular Rancho Tlatoxca, Zacualtipán, Hidalgo fueron superiores con el 22.2% a la edad de 2.8 años de establecidos en campo.

7. REFERENCIAS

Alegsa, L. (2023), abril 24. Definición de brote epicórmico. https://www.definicionesde.com/Definicion/de/broteepicormico.ph

Aguilar Luna, J. (1018). Estructura y diversidad de la vegetación arbórea de un bosque de galería en el estado de Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 230-252.

Andrés, F., & Moctezuma-López, G. (2021). Cosecha de madera de 20 coníferas en zonas de movimiento de germoplasma. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(66), 122–140.

Barnes, B., Zak, D. R., Denton, S., & Spurr, S. H. (1998). Forest ecology. John Wiley & Sons.

Barletta, M., Araújo Lima, A., Costa, M., & Dantas, D. (2017). Estuarine Ecoclines and the Associated Fauna: Ecological Information as the Basis for Ecosystem Conservation. En *Coastal Wetlands: Alteration and Remediation.* En C. Wetlands (Ed.)

Barros Asenjo, S., Gutiérrez Caro, B., & Ipinza, I. (Eds.). (2012). Recursos genéticos forestales de Chile: Catastro 2012 (1ª ed.). FIA – INFO.

Bernabé Ramírez, J. (2018), marzo. Evaluación de un ensayo de procedencias/progenie de *Swietenia macrophylla* King establecido en La Balsa, Ver. [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana, Centro de Investigaciones Tropicales].

Biologia-geologia.com. (2023), 29 de agosto. Variabilidad genética. https://biologia-geologia.com/BG4/451_variabilidad_genetica.html

Borders, B. E. (1989). Systems of equations in forest stand modeling. Forest Science, 35(2), 548–556.

Cieszewski, C. J., & Bailey, R. L. (2000). Generalized algebraic difference approach: Theory-based derivation of dynamic site equations with polymorphism and variable asymptotes. Forest Science, 46(1), 116–126.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023), agosto**.** *Pinus patula* Schl. et Cham. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf

CONAFOR. (2010). *Guía técnica para el manejo de Pinus patula.* Obtenido de https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-*pino-pinus-patula*/

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2020), 17 de enero. Biodiversidad mexicana. https://www.biodiversidad.gob.mx/genes/vargenetica.html

Cornejo Oviedo, E. H., Bucio Zamudio, E., Gutiérrez Vázquez, B., Valencia Manzo, S., & Flores López, C. (2009). Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. Revista Fitotecnia Mexicana, 32(2), 87–92.

Dvorak, W. S. (2001). Quantifying the geographic range of Pinus patula var. longipedunculata in Southern Mexico using morphologic and RAPD marker data. *Southern Forests: a Journal of Forest Science, 192*, 19-30. Obtenido de https://www.ajol.info/index.php/sfjfs/article/view/4275.

Earle, C. J. (02 de 10 de 2025). *Pinus patula. The Gymnosperm Database*. Obtenido de https://www.conifers.org/pi/*Pinus_patula*.php

Ecuador Forestal. (2013), 5 de abril. Ficha técnica No. 14 Pino (Pinus *patula)*. https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-14-*pino-pinus-patula*/

Estrada, M. C., & Peláez, J. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales (Universidad de Guadalajara, CU Costa Sur). http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/biodiversidad/

FAO, FLD, & Bioversity International. (2007). Plantaciones y bancos de germoplasma (ex situ). En I. I. Fitogenéticos (Ed.), Conservación y manejo de recursos genéticos forestales (Vol. 3).

Fontana, M. P. (2018). Efecto del origen geográfico en la calidad morfológica de plantas de Prosopis alba (Fabaceae). *Revista de Biología Tropical, 2*(66), 593–604. Obtenido de https://doi.org/10.15517/rbt.v66i2.33383

Flores Flores, C., López Upton, J., & Valencia Manzo, S. (2014). Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y/o progenies (pp. 69–154). Zapopan, Jalisco: CONAFOR http://www.conafor.gob.mx

Flores García, A., & Moctezuma López, G. (2021). Cosecha de madera de 20 coníferas en zonas de movimiento de germoplasma. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(66), 122–140. https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i66.829

Forest, A. (1996). National register of big trees. American Forests. https://extension.colostate.edu

Forestales, R. M. (16 de Agosto de 2021). *Tópicos y perspectivas de la investigación científica sobre el mejoramiento genético de especies perennes en INIFAP.* Obtenido de https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1089/2811#:~:text=Aunque%20en%20México%20aún%20no,et%20al.%2C%202019

Fuentes, S. L., Rodríguez Laguna, R., Razo Zárate, R., Meza Rangel, J., & Jiménez Casas, M. (2021). Variación altitudinal en emergencia y crecimiento inicial de plantas de *Pinus patula*. Revista Fitotecnia Mexicana, 44(4), 655–660.

Georaman, A. (2019), 17 de diciembre. Geología desde Ávila. https://geolodiaavila.com/tag/patron-de-crecimiento/

González Monroy, R. M. (2014). La relevancia evolutiva de los ecotipos. *21*(95), 49-54.

Gutiérrez Pérez, M. F. (2024). Diversidad y caracterización de las comunidades arbóreo-arbustivas de los bosques templados de Chiautzingo. (B. U. Puebla, Ed.) Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12371/24291

H, B., Willan, & K, O. (1993). La Variación Natural Como Base del Mejoramiento Genetico Forestal. Humlebaek, Dinamarca.

Hamilton, M. (2009). Population genetics. Wiley-Blackwell.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2016. Aguascalientes, Aguascalientes,INEGI.

Iturbe Acosta, U. (2010). Adaptaciones y adaptación biológica, revisadas.

Jara, L. F. (1995). Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales. CATIE.

Jiménez, H. C. (2007). Análisis de conos de tres fuentes productoras de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. [Tesis de maestría, Universidad Veracruzana].

Juárez-Santacruz, L. (2010). Perspectivas de investigación en genética y ambiente. En Vicia faba: un sistema biológico de prueba para el

monitoreo de contaminantes ambientales (1.ª ed., pp. 99–111). México.

Klepac, D. (1983). Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo.

Langlet, O. (1962). Investigación de procedencias: estudio de la diversidad genética asociada a la geografía. *Unasylva*, 73-74. Obtenido de https://www.fao.org/4/03650s/03650s05.htm

Lombardi, I. I., & Nalvarte, W. A. (2000). Establecimiento y manejo de fuentes semilleras, ensayos de especies y procedencias forestales (pp. 8–92). ESNACIFOR.

M.C. , E., & Peláez, J. (2015). Guía para la caracterización y clasificación de hábitats forestales. (U. d. C.U. Costa Sur, Ed.) Obtenido de http://www.conafor.gob.mx/web/temas-forestales/biodiversidad/

Marcó, M. (2005). Conceptos generales del mejoramiento genético forestal y su aplicación a los bosques cultivados de la Argentina. En Mejores árboles para más forestadores (pp. 9–17). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos.

Mendizábal Hernández, L. D., Alba Landa, J., Márquez Ramírez, J., Ramírez García, E. O., Cruz Jiménez, H., & Martínez Domínguez, N. (2020). Crecimiento vegetativo de *Pinus* greggii Engelm. en Cerro de León Villa Aldama, Veracruz, México. Foresta Veracruzana, 22(1), 17–24.

Martínez Alfaro, M. Á., Evangelista Oliva, V., Mendoza Cruz, M., Morales García, G., Toledo Olazcoaga, G., & Wong León, A. (1995). *Catálogo de plantas útiles de la Sierra Norte de Puebla, México.* (U. N. MÉXICO, Ed.) Mexico, D.F: Jardín Botánico, Instituto de Biología

Moctezuma López, G., & Flores, A. (2020). Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 11(60), 161–185.

Monrroy. (1995). *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en México. SAGARPA/SIRGOC-INIFAP, (29), 145.

Morales, J. (2023). 19 de junio. Crecimiento monopodial. infojardin. https://www.infojardin.com/glosario/contenido-de-humedad/crecimiento-monopodial.htm

Muñoz Flores, J. H., Toledo Bustos, R., Sáenz Reyes, T., Villaseñor, F. J., García Sánchez, J. J., & García Magaña, J. J. (2008). Establecimiento y manejo de dos áreas semilleras de coníferas nativas en el estado de Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 33(103), 100.

Muñoz, F. H. J., & Cuevas, A. (2009). Evaluación de una plantación de tres especies tropicales de rápido crecimiento en Nuevo Urecho, Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 34(106), 61–87.

National Human Genome Research Institute. (2023). 30 de agosto. Interacción genes-ambiente. https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Interaccion-genes-ambiente

Navascués, M. (2007). Natural recovery of genetic diversity by gene flow in reforested areas of the endemic Canary Island pine, *Pinus* canariensis. Forest Ecology and Management, 244(1–3), 122–128.

Newnham, R. (1964). The development of a stand model for Douglas–fir [Tesis de maestría, University of British Columbia]. *Faculty of Forestry*.201.

Nieto de Pascual, P., Cecilia Musálem, M., & Ortega Alcalá, J. (2003). Estudio de algunas características de conos y semillas de Abies religiosa (HBK) Schl. et Cham. Agrociencia, 37(5), 521–531.

Nyoka, B. I. (2002). *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. In CAB International (Ed.), Pines of silvicultural importance (pp. [páginas si las tienes]). CABI Publishing.

Oliva, M., Collazos, S. R., & Espárraga Espinoza, T. (2014). Efecto de las plantaciones de *Pinus patula* sobre las características fisicoquímicas de los suelos en áreas altoandinas de la región Amazonas. INDES: Revista de Investigación para el Desarrollo Sustentable, 2(1), 1–9.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011), marzo. Situación de los recursos genéticos forestales en México. https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/11/13310714832850/informe_rgf

Padilla, G., & H. (1987). Glosario práctico de términos forestales. Limusa.

Pacheco Aquino, G., Manzano Méndez, F., & Martinez López, J. (2024). Biomass distribution in components of *Pinus* patula in reforestations in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. Bosque, 45(2), 1-10. Obtenido de https://revistabosque.org/index.php/bosque/article/view/734

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences,* 11(5), 1633–1644. https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/detalle-ficha/4690/

Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2018). diciembre 20. Fotoperíodo: ¿Qué es, definición y concepto? Definición.de. https://definicion.de/fotoperiodo/

Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2022). marzo 3. Fototropismo: ¿Qué es, importancia, definición y concepto? Definición.de. https://definicion.de/fototropismo/

Pérez, M. G. (2009). El rebrote epicórmico en especies de pino: implicaciones para el manejo forestal. Revista Forestal, 2(22), 89–102.

Ramírez Galicia, K., Ramírez Herrera, C., Gómez Martínez, P., López Upton, J., Mohedano Caballero, L., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2024). Variación y heredabilidad en altura, diámetro y volumen de *Pinus patula* en un huerto semillero asexual en Huayacocotla, Veracruz, México. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, 45(1), 1–8.

Camacho, V., Mendizábal Hernández, L. del C., & Alba Landa, J. (1999). Evaluación de familias comunes de *Pinus patula* Schl. et Cham. establecidas en dos ensayos de progenie. Foresta Veracruzana, 1(2), 12–24.

Revista Mexicana de Ciencias Forestales. (2021). 16 de agosto. Tópicos y perspectivas de la investigación científica sobre el mejoramiento genético de especies perennes en INIFAP. https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/index.php/forestales/article/view/1089/2811

Rimieri, P. (2017). La diversidad genética y la variabilidad genética: dos conceptos diferentes asociados al germoplasma y al mejoramiento genético vegetal. Journal of Basic and Applied Genetics, 28(2), 7–13.

Rodríguez, F. Y. (2011). Respuestas de crecimiento en coníferas tras intervenciones silvícolas. Boletín de Investigaciones Forestales, 3(18), 45–59.

Rojas Vergara, P., Aguirre, P., Durán, O., & Nario, A. (2018). Aplicaciones de tecnologías nucleares en conservación y mejoramiento genético forestal bajo un escenario de cambio climático. Ciencia & Investigación Forestal, 24(3), 116–127.

Roulund, H., & Olesen, K. (1995). Propagación masiva de material mejorado. En L. F. N. (Ed.), Mejoramiento forestal y conservación de recursos genéticos forestales (pp. 10–154). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.

Sáenz Pita, R., Salinas Rodríguez, J. M., Martínez Amador, H., Zárate Barradas, R., Loaeza García, J. P., & Cardoso Vázquez, E. A. (2000). Informe de la carta geoquímica Orizaba, clave E14-6, escala 1:250,000. Estados de Puebla, Veracruz y Oaxaca. Gerencia de Geología y Geoquímica, Subgerencia de Geología y Geoquímica Zona Sur, Oficina Regional Oaxaca.

Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y Bosques, 14(1), 107–120.

Serra, M. T. (1991). agosto. Elementos de botánica forestal: Morfología. Universidad de Chile.

Serrano, E. A. (2001). Definición de conceptos básicos de genética forestal. Tecnología en Marcha, 14(1).

Servicios Forestales de Hidalgo, S. S. (2011). marzo. Estudio regional forestal UMAFOR 1302 Zacualtipán-Molango. http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/mapaLista/Hidalgo/2943Estudio_Regional_Forestal_1302.pdf

Sotolongo Sospedra, R., Geada López, G., & Cobas López, M. (2024). Mejoramiento genético forestal. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/Mejoramiento%20Genetico%20Forestal.pdf

Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). Plant physiology (5th ed.). Sinauer Associates.

Vásquez-García, I., Cetina-Alcalá, V., Campos-Bolaños, R., & Casal-Ángeles, L. (2016). EVALUACION DE PLANTACIONES FORESTALES EN TRES COMUNIDADES DE LA MIXTECA ALTA OAXAQUEÑA. *Agroproductividad* , 13-19.

Vargas H., J., Bermejo V., B., & Thomas Le, F. (2004). Manejo de recursos genéticos forestales. Colegio de Postgraduados & Comisión Nacional Forestal.

Viveros Viveros, H., Camarillo Luna, A., Sáenz Romero, C., & Aparicio Rentería, A. (2013). Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus* patula en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *Bosque (Valdivia), 34*(2), 173-179. Obtenido de https://biblat.unam.mx/es/revista/bosque-valdivia/articulo/variacion-altitudinal-en-caracteres-morfologicos-de-*pinus*-patula-en-el-estado-de-oaxaca-mexico-y-su-uso-en-la-zonificacion.

Willan, B. H., & Kjaer, E. D. (1993). La variación natural como base del mejoramiento genético forestal. Humlebaek, Dinamarca.

Wright, J. (1964). Mejoramiento genético de los árboles forestales. FAO: Estudio de Silvicultura y Productos Forestales.

Zambrano, P. (2023). mayo 19. Coníferas, descripción, tipos de coníferas y sus características, Coniferophyta de interés ornamental.

Animales Biología. https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/coniferas-tipos-caracteristicas?utm_source=chatgpt.com

Zobel, B. Y. (1984). Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons. (N. York, Ed.