



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

“RELACIÓN DEL ÁREA DE INTERCEPCIÓN
LUMÍNICA DE LA COPA CON
CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS EN UN
ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus patula*
Schiede ex Schtdl. et Cham. EN
HUAYACOCOTLA, VERACRUZ”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

ALEJANDRO DELGADILLO ISLAS

DIRECTOR

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

CODIRECTOR

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

TULANCINGO DE BRAVO, HGO., MÉXICO., ABRIL 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

“RELACIÓN DEL ÁREA DE INTERCEPCIÓN
LUMÍNICA DE LA COPA CON
CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS EN UN
ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus patula* Schiede
ex Schltl. et Cham. EN HUAYACOCOTLA,
VERACRUZ”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

ALEJANDRO DELGADILLO ISLAS

DIRECTOR

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

CODIRECTOR

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

COMITÉ TUTORIAL

DR. JOEL MEZA RANGEL

MC. TOMÁS ESCOBEDO LUNA

DR. SERGIO HERNÁNDEZ LEÓN

TULANCINGO DE BRAVO, HGO., MÉXICO., ABRIL 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Agropecuarias

School of Forestry and Agrochemical Studies

Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales

Department of Agricultural Sciences and Forestry

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 17 de abril de 2024

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 al pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Alejandro Delgadillo Islas**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Relación del área de Intercepción lumínica de la copa con características dasométricas en un ensayo de progenie de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Huayacocotla, Veracruz**", 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. Joel Meza Rangel
SECRETARIO: Dr. Sergio Hernández León
VOCAL 1: M. en C. Tomás Escobedo Luna
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
de Ingeniería Forestal

Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP

Avenida Universidad Km. 1 s/n.
Ehacienda Aquetzalpa Tulancingo
de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600
Teléfono: 771 71 72000 ext 2461
alfredo_maderiaga@uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Dios, gracias por tu amor y tu bondad, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminarme mi mente en mi camino, por haber puesto en mi destino a aquellas personas que son mi soporte y que fueron mi compañía en este periodo de estudio, y que el día hoy me permites sonreír ante este logro de mis metas.

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, por la confianza y los consejos brindados en mi formación académica y personal, por su dedicación, paciencia y apoyo en todo momento de enseñanza que contribuyeron a mi experiencia en el complejo camino de la investigación.

Agradezco a mi codirector de tesis, el Dr. Ramón Razo Zárate y a los miembros de mi comité revisor: Dr. Joel Meza Rangel, Dr. Sergio Hernández León y al Mc. Tomás Escobedo Luna, por su amabilidad y su buena disposición de ayudar en esta investigación, por los consejos y sugerencias críticas tan valiosas que me brindaron para mejorar esta presente tesis.

Gracias a todos los maestros, por toda la dedicación, tiempo, esfuerzo que nos brindaron y especialmente a sus valiosos conocimientos proporcionados durante toda la carrera.

Quiero agradecer a aquellos amigos y compañeros que creyeron en mí en este largo tiempo, que quienes algún día fueron el motor que me impulsaba en alcanzar esta meta tan preciada, gracias por formar parte de esta etapa.

Agradezco al fondo sectorial para la investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR por el financiamiento otorgado para la ejecución 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.

“Los retos de la vida no se presentan para bloquear nuestro camino, sino para descubrir quiénes somos y de que estamos hechos, otorgándonos la sabiduría y el poder para vencer los obstáculos, convirtiéndolos en enseñanzas”

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor, respeto y cariño principalmente a mi madre María Azucena Islas Aguilar y a mi padre Alejandro Delgadillo García.

Gracias por todo papa y mama, por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles les agradezco lo mucho que me han brindado de su apoyo incondicional para poder perseguir y cumplir todos mis metas personales y académicas, a nunca abandonarlos frente a las adversidades que se presenten.

Por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén a mi lado, este trabajo que me llevo meses en realizarlo es para ustedes, los quiero.

“Gracias infinitas a ustedes y, por supuesto,
a Dios, por ponerlos en mi camino”

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
1 INTRODUCCIÓN	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos	4
3 HIPÓTESIS	5
4 ANTECEDENTES	6
4.1 Descripción del <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham.	6
4.1.1 Descripción taxonómica	6
4.1.2 Descripción botánica	6
4.1.3 Crecimiento general y manejo.....	7
4.1.4 Hábitat y distribución	8
4.1.5 Importancia económica.....	8
4.1.6 Importancia ecológica.....	8
4.1.7 Importancia genética.....	9
4.1.8 Potencialidad en otros países	9
4.2 Ecofisiología del crecimiento de los árboles	10
4.2.1 Fotosíntesis	10
4.2.2 Área foliar.....	10
4.2.3 Luz y sombra	11

4.2.4	Cobertura vegetal.....	11
4.2.5	Protección al suelo.....	11
4.2.6	Descomposición de materia orgánica.....	12
4.3	Crecimiento e incremento del árbol.....	13
4.3.1	Crecimiento del árbol en altura.....	13
4.3.2	Patrones de crecimiento en altura.....	14
4.3.3	Incremento del árbol en diámetro.....	15
4.4	Programa de mejora genética.....	16
4.4.1	Ensayo de especies.....	17
4.4.2	Ensayo de procedencias.....	17
4.4.3	Ensayo de progenie.....	18
4.5	Variación entre procedencias.....	18
4.5.1	Variación geográfica y poblacional.....	18
4.6	Variación genética.....	19
4.6.1	Métodos de medición para la variación genética.....	19
4.6.2	Importancia de la variación genética.....	21
4.7	Evaluación de la variación genética.....	22
4.8	Estudios similares.....	22
5	MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
5.1	Ubicación del área de estudio.....	24
5.2	Origen y colecta del germoplasma.....	25
5.3	Producción de planta.....	25
5.4	Descripción del área de estudio.....	26
5.5	Diseño experimental.....	26
5.6	Medición de características morfológicas.....	27

5.7	Análisis estadístico de los datos.....	29
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
6.1	Altura total	30
6.2	Diámetro normal	35
6.3	Área de intercepción lumínica de copa.....	39
6.4	Análisis de correlación.....	45
6.4.1	Altura total con el diámetro normal.....	45
6.4.2	Diámetro normal con área de intercepción lumínica de copa	46
6.4.3	Altura total con área de intercepción lumínica de copa.....	47
7	CONCLUSIONES.....	49
8	LITERATURA CITADA	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> establecido en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	24
Figura 2. Diseño de la parcela experimental del ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en bloques completos al azar con 21 bloques en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.....	27
Figura 3. Se ilustran las variables medidas en campo por árbol en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	28
Figura 4. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del otoño 2021.	31
Figura 5. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del invierno 2021.	32
Figura 6. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.	33

Figura 7. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022.....34

Figura 8. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de otoño 2021.37

Figura 9. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de invierno 2021.37

Figura 10. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.38

Figura 11. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022.....38

Figura 12. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con

valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de otoño 2021.
.....41

Figura 13. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del invierno 2021.42

Figura 14. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.43

Figura 15. Valores promedio del área de intercepción lumínica de en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022
.....44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Procedencia y número de árboles superiores de donde se colectó germoplasma (progenitores) para el establecimiento del ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	25
Tabla 2. Resultados del análisis de varianza de altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	30
Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para el diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	35
Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.....	40
Tabla 5. Resultados del análisis de correlación para la altura total con el diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.....	46
Tabla 6. Resultados del análisis de correlación para el diámetro normal con el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	47
Tabla 7. Resultados del análisis de correlación para la altura total con el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.	48

RESUMEN

La copa del árbol es la estructura que determina el desarrollo de los árboles, es considerada el motor fotosintético de cada uno, por ello en la actualidad existe interés en medir el ambiente lumínico para saber qué cantidad de área de intercepción lumínica es requerida para que las hojas dispongan de la captación de luz, así ganando carbono fotosintético, transpiración y flujo de agua, con eso el crecimiento dasométrico de los árboles aumenta constantemente. Por eso mismo, en este estudio se planteó como objetivo determinar la relación del área de intercepción lumínica de la copa con el crecimiento en altura total y diámetro normal en un ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Huayacocotla, Veracruz. En octubre del 2019 fue establecida la plantación en 1.25 hectáreas con diseño en marco real en bloques completos al azar, con 21 bloques y 64 progenies asignadas al azar en cada bloque, plantadas en cepa común con espaciamiento de 3m * 3m entre plantas y líneas, para las fechas de inicio de cada estación de otoño e invierno del 2021 y primavera y verano del 2022 se midieron en campo las variables de altura total, diámetro normal y diámetro de copa norte-sur, este-oeste, altura a la primera rama viva, altura al punto más amplio de la copa para estimar el área de intercepción lumínica de la copa, que fueron sometidos al análisis de varianza, prueba de comparación de medias de Tukey y análisis de correlación de Pearson. Se encontró que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) entre las 64 familias de todas las variables evaluadas, alrededor del 45.3% de las progenies, presentaron crecimientos por encima de la media general obteniendo alturas de 363.1 cm y 27 progenies se mantuvieron en incrementos constantes alcanzando diámetros normales cercanos a los 42.3 mm, para el área de intercepción lumínica de copa de los 1344 árboles plantados demostraron tener un crecimiento cercano a 8.4 m² anuales alcanzando áreas 13.5 m², respectivamente algunas familias presentaron menor adaptación a las condiciones ambientales del sitio de plantación. El diámetro normal de cada árbol en relación con el área de intercepción lumínica de la copa del mismo, presentaron una correlación positiva (0.66767, 0.74879, 0.73063, 0.71300) y altamente significativa ($P \leq 0.0001$) a los 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años respectivamente y para la altura total con el área de intercepción lumínica de la copa del árbol también presentó una correlación positiva altamente significativa ($P \leq 0.0001$) a las mismas edades las variables fueron 0.83338, 0.86246, 0.86744, 0.87204 respectivamente, lo que significa que al encontrar árboles con mayor diámetro

normal estos tendrán mayor área de intercepción lumínica de copa de modo que al tener mayor superficie de área de intercepción lumínica en la copa se genera mayor incremento en la altura total debido a que se conoce como la parte con mayor actividad fotosintética. El ensayo muestra que las 64 familias procedentes de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz son diferentes en las variables de altura total, diámetro normal y área de intercepción lumínica de copa de los árboles a la edad de 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años.

Palabras clave: *Pinus patula*, ensayo de progenie, área de intercepción lumínica, correlación.

ABSTRACT

The crown of the tree is the structure that determines the development of trees, it is considered the photosynthetic engine of each one, which is why there is currently interest in measuring the light environment to know what amount of light interception area that is required for the Leaves have light capture, thus gaining photosynthetic carbon, transpiration and water flow, with this the dasometric growth of trees constantly increases. For this reason, the objective of this study was to determine the relationship between the area of light interception of the crown and the growth in total height and normal diameter in a progeny trial of 64 families of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. in Huayacocotla, Veracruz. In October 2019, the plantation was established on 1.25 hectares with a real frame design in complete random blocks, with 21 blocks and 64 randomly assigned progenies in each block, planted in a common strain with 3m * 3m spacing between plants and lines, For the start dates of each season of autumn and winter of 2021 and spring and summer of 2022, the variables of total height, normal diameter and crown diameter north-south, east-west, height to the first live branch were measured in the field, height at the widest point of the crown to estimate the area of light interception of the crown, which were subjected to analysis of variance, Tukey's comparison of means test and Pearson correlation analysis. It was found that there are significant statistical differences ($P \leq 0.0001$) between the 64 families of all the variables evaluated, around 45.3% of the progenies, presented growth above the general average, obtaining heights of 363.1 cm and 27 progenies remained in increments. constant, reaching normal diameters close to 42.3 mm, for the area of light interception of the crown of the 1344 planted trees, they demonstrated a growth close to 8.4 m² per year, reaching areas of 13.5 m², respectively, some families presented less adaptation to the environmental conditions of the site of plantation. The normal diameter of each tree in relation to the area of light interception of its crown presented a positive correlation (0.66767, 0.74879, 0.73063, 0.71300) and highly significant ($P \leq 0.0001$) at 1.9, 2.2, 2.4 and 2.7 years respectively and for the total height with the area of light interception of the tree crown also presented a highly significant positive correlation ($P \leq 0.0001$) at the same ages the variables were 0.83338, 0.86246, 0.86744, 0.87204 respectively, which means that by finding trees with a larger normal diameter, these will have a larger area of light interception in the crown, so that having a larger surface area of light interception in the crown generates a greater increase in the total height

because it is known as the part with the greatest activity photosynthetic. The test shows that the 64 families from the states of Hidalgo, Puebla and Veracruz are different in the variables of total height, normal diameter and light interception area of the tree crown at the age of 1.9, 2.2, 2.4 and 2.7 years.

Keywords: *Pinus patula*, progeny test, light interception area, correlation.

1 INTRODUCCIÓN

La copa del árbol es la estructura que determina el desarrollo de los árboles, es considerada el motor fotosintético de cada individuo y por lo consiguiente la radiación solar se considera el elemento meteorológico de mayor importancia. Las intensidades de la radiación solar tienen consecuencias ecológicas sobre las plantas afectando su fotosíntesis, morfología, tolerancia a la sombra, crecimiento y supervivencia. En la actualidad existe interés en medir el ambiente lumínico bajo el dosel de copas debido a que la calidad y la intensidad de dicha radiación afectan los patrones de regeneración de las plantas, tales como la germinación, el establecimiento, el crecimiento y la supervivencia (Promis, 2013). El área de intercepción lumínica de la copa de un árbol tiene la disposición de las hojas dentro de la copa de un árbol para la captación de luz, la ganancia de carbono fotosintético, la transpiración y el flujo de agua (Percy *et al.*, 2005). El crecimiento de los árboles aumenta verticalmente porque la luz aumenta exponencialmente hacia la superficie del dosel forestal, es decir, hacia la región superior de las copas (Silva, 2020).

Pinus patula es una especie conífera nativa de regiones subtropicales de México, se distribuye en la Sierra Madre Oriental, Eje Neo-volcánico y Sierra Madre de Oaxaca (Aguilera, 2001), con alta productividad reportado en distintos estudios, debido a la alta tasa de crecimiento, rápida adaptabilidad y facilidad de manejo (Dvorak *et al.*, 2000). En los últimos 20 años se han iniciado programas de mejoramiento genético en México, a través de plantaciones comerciales con el plan de mejoramiento genético, que incluyen la selección de procedencias (familias con adaptación y crecimiento mayor) y el establecimiento de ensayos de progenie. También utilizada en los programas de reforestación debido a su gran abundancia, productividad y calidad de la madera, importante tanto del punto de vista ecológico como comercial (Dvorak, 2003).

Recientemente se evaluó la morfometría de copa en árboles de *Pinus pseudostrobus* y *P. montezumae* en Michoacán, México (Ramos *et al.*, 2022). La finalidad del estudio fue calcular y correlacionar algunos índices morfométricos, y modelar la relación proporcional de copa (%) en función del diámetro normal con modelos de efectos mixtos en plantaciones forestales de *Pinus pseudostrobus* y *P. montezumae*, en Michoacán, México. Se estimaron 11 índices y

valores morfométricos con datos del diámetro normal, diámetro de la proyección de la copa, altura de fuste limpio y altura total, por lo consiguiente se ajustó un modelo de efecto mixto con las variables clasificatorias de altitud, exposición y pendiente, con el fin de estimar la proporcionalidad de copa. Por otro lado, Rodríguez *et al.* (2009), asegura que las copas de los árboles en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* a 4.5 años de plantados en campo en el cerro El potosí, municipio de Galeana, Nuevo León, brindan protección al suelo, ya que evaluó el área de proyección de copa, área de intercepción lumínica y porcentaje de copa de los árboles. En otro estudio Huerta *et al.* (2014), con la intención de estimar el índice de área foliar de tipo directo, menciona que se requiere de un muestreo destructivo que implica la medición directa del follaje del árbol o la recolección de hojarasca durante un tiempo, por ello son costosos y de lenta aplicación, lo que limita su uso a gran escala, sin embargo, hay métodos indirectos que se basan en la medición de la radiación solar que penetra al piso forestal a través del dosel arbóreo. La copa del árbol es el componente de la producción primaria y sus dimensiones reflejan la salud del individuo; por ejemplo, copas densas y largas están asociadas con un crecimiento vigoroso, copas de bajo desarrollo y poco densas se presentan en sitios con condiciones desfavorables por la competencia de luz, estrés por falta de humedad o la influencia de la defoliación por insectos y enfermedades de las hojas (Schomaker, 1999). Algunos estudios muestran la importancia de conocer las características de la copa de los árboles y con ellas predecir la respuesta en crecimiento en altura de los árboles, de modo que la cantidad de luz que intercepta la copa determina en gran medida el crecimiento del árbol (Doruska & Burkhart, 1994; Kohyama & Shin, 1997; Sterck, 1999; Tang, 1999).

En un estudio que realizó Vargas (2019), en el que evaluaron la biomecánica de los árboles principalmente en la morfología y el crecimiento, donde explican que el tamaño y la ramificación de la copa, tiene mucho que ver con las condiciones de competencia por la luz, esto determina que es la manera más rápida que tiene un árbol de agrandar la copa, ya que las ramas son el soporte de las hojas donde se realiza la fotosíntesis, por ello el árbol una vez que satisface sus necesidades de respiración, prioriza el crecimiento en altura. Por lo consiguiente determinó que después de desarrollarse una buena copa y al ser prioritario el crecimiento en altura, un árbol se vuelve independiente de un nivel de competencia en el que se encuentra la planta en un mismo rango de condiciones, a su vez cuando el nivel de sombra es muy alto

finalmente disminuye el crecimiento en altura y en condiciones extremas se lleva hasta la muerte del árbol (Vargas, 2019).

La capacidad de protección o recuperación de un suelo depende de la velocidad con que se logre la cobertura de éste por los árboles, ya que al aumentar la cobertura de copa se reduce el impacto de la lluvia y de otros agentes erosivos sobre el suelo, se aumenta la captación de energía y la productividad primaria, así como la aportación de materia orgánica al suelo, estos procesos ayudan a formar un microclima propicio para los agentes bióticos que incorporan la materia orgánica al suelo, dejándola en condiciones para ser utilizada nuevamente por las plantas (Rodríguez *et al.*, 2009).

El aprovechamiento de los bosques deja descubierto la superficie del piso forestal de manera temporal y a través de la generación natural o por reforestación se pretende que en el menor tiempo se cubra el piso forestal por la cubierta vegetal de los árboles, dado que *Pinus patula* es considerado de rápido crecimiento y que la cantidad de luz que intercepta la copa determina en gran medida el crecimiento en altura del árbol, con la información que se genere se pretende que lo consideren como especie para protección del suelo, de importancia ecológica, económica y servicios ecosistémicos que otorgan los bosques del municipio de Huayacocotla, Veracruz.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Determinar la relación del área de intercepción lumínica de la copa con el crecimiento en altura total y diámetro normal en 64 familias de un ensayo de progenie de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

2.2 Objetivos específicos

- A. Evaluar el crecimiento en altura total y diámetro normal de *Pinus patula* en un ensayo de progenie.
- B. Determinar el área de intercepción lumínica de la copa en 64 familias en un ensayo de progenie de *Pinus patula*.
- C. Relacionar el área de intercepción lumínica de la copa con el crecimiento en altura y diámetro normal en árboles de un ensayo de progenie de *Pinus patula* de 2.7 años.

3 HIPÓTESIS

Los árboles de 64 familias de un ensayo de progenie de *Pinus patula* presentan correlación positiva entre el área de intercepción lumínica de la copa con el crecimiento en altura total y diámetro normal a la edad de 2.7 años de establecidos en campo en Huayacocotla, Veracruz.

4 ANTECEDENTES

4.1 Descripción del *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

4.1.1 Descripción taxonómica

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Pinopsida

Orden: Pinales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

4.1.2 Descripción botánica

El árbol de *P. patula* se conoce comúnmente como: ocote, pino llorón, o pino triste. Presenta un tronco usualmente recto y claro alcanzando alturas de 8-35 m con diámetros desde 50-90 cm, desde la base troncal hasta la punta principal, las ramas se encuentran alrededor de los 20 m y algunas ramas son horizontales las cuales se inclinan formando una corona redondeada (Ospina *et al.*, 2011). Sus hojas son suaves, péndulas, en fascículos de 3-4 o hasta 5, de 11-27 cm de largo, 0.5 mm de ancho, el margen ligeramente aserrado, las líneas estomáticas 3-6, longitudinales, visibles por la parte dorsal de la hoja, la vaina del fascículo persistente, de 10-20 mm de largo (Ospina *et al.*, 2011).

Los conos son largamente cónicos, duros, oblicuos y puntiagudos de 7 hasta 12 cm, por lo general su color es amarillo-ocre, con tinte rojizo, son persistentes, seróticos y abren parcialmente en diferentes épocas (González, 2008). Las semillas presentan ala, son de forma ovoide a casi triangular, de color moreno grisáceo, más o menos elípticas, de 5-6 mm de largo,

2-3 mm de ancho, el ala de 8-13 mm de largo, algunas veces ligeramente lobada en el ápice (Ospina *et al.*, 2011).

En árboles maduros la corteza es gruesa con profundas fisuras verticales en la parte inferior del tronco. Sin embargo, a la altura de 3-4 m la corteza se hace delgada, escamosa, rojiza o rojizo amarillento (Ospina *et al.*, 2011). La madera de esta especie es suave de color claro ligeramente amarillento con vetas morenas pálida, para su uso es fácil de trabajar y presenta poca resina (González, 2008).

4.1.3 Crecimiento general y manejo

P. patula durante su primer año ya establecido en plantación llega a alcanzar alturas de 0.9 a 1.5 m y su crecimiento en altura es aproximadamente hasta los 25 años de edad. Por otra parte, en rodales manejados y con buena calidad de sitio pueden alcanzar hasta 35 m³ de incremento medio anual volumétrico (IMA) por hectárea, de los cuales 27 m³ pueden ser utilizables en rotaciones de 30 años y en sitios de menor calidad el IMA llega a hacer menor de 20 m³, en plantaciones con manejo y presentando buenas condiciones de sitio el IMA por lo general alcanza su máximo valor entre los 14-18 años, pasando de los 18 años la especie comienza a ponerse sensible en cuestión de competencia, por eso los preaclareos deben realizarse desde de los 6 años, para así afectar gradualmente la distribución temporal, así mismo, la aplicación de podas debe realizarse después de que alcancen los 2.5 m de altura (Ospina *et al.*, 2011).

Rodríguez (2014), señala que el *P. patula* desarrolla sus mejores crecimientos e incrementos en etapas tempranas, esto sucede aproximadamente hasta los 15 años de edad en suelos profundos y ricos en materia orgánica, y establecidos en terrenos que presenten elevaciones de 1800 hasta los 2000 msnm.

Por su parte, Ospina y colaboradores (2011), recomiendan para la especie de *P. patula* el espaciamiento correcto debe ser de 2.4 m x 2.75 m (densidad de 1508 plantas por hectárea) en plantaciones, aunque también considera de buena forma la distancia de 3 x 3 m (1111 plantas por ha), ya que es muy común para cualquier plantación forestal.

4.1.4 Hábitat y distribución

Pinus patula es una especie de conífera nativa de regiones de bosque de pino y bosque de pino-encino en México. Se distribuye naturalmente sobre las formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neo-volcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de la Ciudad de México, Hidalgo, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz (Aguilera, 2001). En un intervalo de coordenadas geográficas de 17° a 24° Latitud Norte y de 97° a 99° Longitud Oeste. En altitudes entre 1500 a 3100 msnm y precipitaciones anuales mínimas de 600 mm, hasta altas de 2500 mm anuales (Dámaso, 2013).

Se desarrolla principalmente en zonas templadas con exposiciones norte y aquellas que reciben 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 (Aguilera, 2001).

4.1.5 Importancia económica

Esta especie tiene gran importancia económica por su rápido crecimiento, es apreciada en el establecimiento de plantaciones comerciales en las regiones templadas y subtropicales del mundo, tiene una de las mayores tasas de crecimiento de las especies de coníferas nativas de México (Dvorak, 2003). Además del crecimiento presenta otras ventajas respecto a otras especies del género *Pinus* de México, entre las que se encuentra la resistencia moderada tanto a sequías como a heladas, la capacidad de formar híbridos con otras especies, la resistencia a algunas plagas tanto en su hábitat natural como en aquellos lugares en donde ha sido introducida, así como información genética sobre algunas de las mejores procedencias. La madera de esta especie es ampliamente utilizada por lo que se han establecido plantaciones forestales comerciales, con propósitos de producción de material celulósico y madera en rollo (Dvorak, 2003).

4.1.6 Importancia ecológica

P. 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 representa conos serótinos que requieren de altas

temperaturas en el ambiente para abrir y soltar sus semillas. Por otra parte, esta especie tiene la capacidad de crecer en gran densidad en espacios reducidos soportando alta resistencia a heladas, en ambientes naturales comúnmente son libres de enfermedades ya que son susceptibles a ciertas plagas, por eso esta especie es reconocida por presentar alto potencial productivo y por su buena calidad de madera (Talonia, 2010).

4.1.7 Importancia genética

El *P. patula* se destaca por su importancia genética, esta especie ha demostrado a lo largo de muchos años su gran potencial silvícola con muy buenos resultados en su medio natural, presentando dimensiones que puede alcanzar con su rapidez de crecimiento y calidad de madera. También ha demostrado incorporarse en un mejoramiento genético muy favorable en altas tasas de hibridación en estudios de procedencias con entrecruzamientos entre distintas variedades de la misma especie y especies exóticas para el manejo forestal mejorando caracteres para obtener mejor calidad de madera, mejor forma del fuste y auto poda, sobre todo la resistencia a las enfermedades para así obtener arbolado plus. Por otra parte, ha demostrado exigencias ecológicas y edáficas con gran capacidad de vivir y vegetar vigorosamente en hábitats con condiciones diferentes a su medio natural (Corrado, 2014).

4.1.8 Potencialidad en otros países

Dvorak (2003), investigó que CAMCORE (Central América and México Coniferous Resources Cooperative) establecieron ensayos de procedencias y progenies en países de África y el sur de América, en donde la especie fue establecida como exótica y las procedencias fueron recolectadas del Estado de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Desde el año 2005 la especie de *P. patula* está establecida en plantaciones a gran escala con propósitos 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 presentó excelente adaptación y desarrollo convirtiéndose útil para los programas de reforestación en zonas altas como especie maderable (Cardona, 2010), donde además se ha convertido en una especie naturalizada.

4.2 Ecofisiología del crecimiento de los árboles

4.2.1 Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas transforman energía inorgánica de su medio externo en materia orgánica que utilizarán para su crecimiento y desarrollo (Pelta, 2009). Consiste en la elaboración de azúcares a partir del CO₂ (dióxido de carbono) del aire, minerales y agua con la ayuda de la luz solar, en esta reacción se liberan moléculas de oxígeno y se fijan carbohidratos en la planta, por medio de los cloroplastos que contienen la clorofila y puede capturar la luz solar (Carril, 2009). Estos tienen la capacidad de captar la energía del sol y fijarla en los enlaces de los compuestos orgánicos que elaboran la energía del sol, donde se encuentran los pigmentos capaces de captar y absorber la energía luminosa procedente del sol, estos pigmentos son: clorofila (verde), xantofila (amarillo) y carotenoides (anaranjados) (Fernández, 2014).

El proceso de la fotosíntesis en el tallo de los árboles comienza desde que la raíz está fijada en el suelo y de ahí toma agua y sales minerales que se encuentran, estas conducen el agua y las sales minerales por las zonas de crecimiento dentro del tallo hasta las hojas, dichas hojas son órganos especializados en captar energía solar, producir sustancias orgánicas por medio de la fotosíntesis y liberar vapor de agua mediante la transpiración, además de estar diseñadas para ofrecer poca resistencia al viento (Vigo, 2023).

4.2.2 Área foliar

El área foliar es el parámetro que permite realizar estimaciones de superficie en la que se intercambia energía y materia entre una planta y la atmósfera (Vega, 2010). Se considera una variable clave para modelar el crecimiento de los árboles y las condiciones de un bosque, su dinámica puede analizarse mediante parámetros como el índice de área foliar (IAF), definido como la cantidad de hojas presentes por unidad de superficie, ya que las hojas superiores son los principales órganos encargados de la intercepción luminosa y de la fotosíntesis siendo el parámetro básico que relaciona la radiación con la intercepción del cultivo (Courtis, 2014). Esto se emplea como un indicador para evaluar la productividad de ecosistemas y plantaciones (Pinazo, 2010).

4.2.3 Luz y sombra

La mayoría de las copas están bajo intenso sombreado y distribución desigual de la luz entre las hojas, la disposición de las hojas dentro de la copa de un árbol es uno de los parámetros básicos que afectan la captación de luz y la ganancia de carbono fotosintético (Silva, 2020). En ambientes de alta incidencia solar, las copas presentan características arquitectónicas determinadas que aumentan el auto sombreado para evitar la radiación excesiva, si las copas están tanto en sol como en sombra, un entorno luminoso altamente heterogéneo tiene gran influencia en las funciones del árbol, como son la fotosíntesis, la transpiración y el flujo de agua (Pearcy *et al.*, 2005).

El crecimiento de los árboles aumenta verticalmente porque la luz aumenta exponencialmente hacia la superficie del dosel forestal, algunas especies de árboles detienen su crecimiento cuando alcanzan una altura determinada, siguiendo una trayectoria ascendente hasta que alcanzan el cielo abierto o mueren (Silva, 2020).

4.2.4 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal hace referencia a las diferentes clases de vegetación existente en un área determinada cuya dinámica ha sido consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas y edáficas, comúnmente con el nacimiento y crecimiento de la vegetación arbustiva y herbácea, siendo de tipo natural o del producto de la sucesión natural que generalmente no alcanzan los 5 m de altura, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales. También se incluyen áreas cubiertas por vegetación dosel irregular y presencia de palmas, enredaderas y vegetación de bajo porte (ANAM, 2014).

4.2.5 Protección al suelo

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable debido a lo difícil y costoso que resulta recuperarlo o mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado o deteriorado física o químicamente (SEMARNAT, 2009). Por ello se realizan actividades para la protección o recuperación de un suelo, que consisten en la delimitación física del área a restaurar para aislarla de algunas fuentes de disturbios, como la entrada de ganado, vandalismo, incendios, entre otras. Las cuales se enfocan en recuperar la resiliencia de dichos ecosistemas,

interviniendo hasta alcanzar el punto en que se tenga la capacidad de seguir su desarrollo de forma autónoma, estas actividades pueden ser realizadas a nivel predio a través de un cercado y/o la construcción de brechas cortafuego, como también puede ser a nivel individual protegiendo a cada una de las plantas de interés (CONAFOR, 2023).

Por lo consiguiente a cultivos altos que necesitan plantarse con mayor espaciamiento, la capacidad de protección o recuperación de un suelo depende de la velocidad con que se logre la cobertura vegetal por los árboles, ya que al aumentar la cobertura de copa se reduce el impacto de las gotas de lluvia y de otros agentes erosivos sobre el suelo, que aumenta la captación de energía y la productividad primaria, así como la aportación de materia orgánica al suelo, estos procesos ayudan a formar un microclima propicio para los agentes bióticos que incorporan la materia orgánica al suelo, dejándola en condiciones para ser utilizada nuevamente por las plantas (Rodríguez *et al.*, 2009).

4.2.6 Descomposición de materia orgánica

La descomposición de la materia orgánica, es un importante proceso que relaciona la dinámica de la vegetación con la dinámica del suelo, regulando este proceso intervienen los factores bióticos y abióticos (Arguello, 1991).

La descomposición de la materia orgánica es útil para los microorganismos por dos razones: como suministro de energía para el crecimiento de los mismos, y como fuente de carbono para la formación del nuevo material celular (Otiniano & Meneses, 2006). Los principales factores físicos y químicos que regulan la velocidad de la degradación de la materia orgánica son la cantidad de materia orgánica en el suelo, el suministro de oxígeno, temperatura, humedad, pH, nutrientes inorgánicos, profundidad y aireación. Es evidente que aquellas influencias ambientales que afectan el crecimiento y el metabolismo microbiano, modificarán la velocidad a la que es transformada la materia orgánica nativa, la temperatura y la humedad son los principales factores abióticos que controlan la tasa de descomposición bajo condiciones naturales, por otra parte, la magnitud de mineralización del carbono está directamente relacionada con el contenido de carbono en el suelo, es decir; la liberación de CO₂ es proporcional en el terreno dependiendo al nivel de materia orgánica que haya (Otiniano & Meneses, 2006).

4.3 Crecimiento e incremento del árbol

El término crecimiento de un árbol se entiende como el fenómeno de desarrollo del árbol, específicamente es el aumento irreversible del volumen de una célula, tejido, órgano o individuo (Wabo, 2002). Generalmente acompañado de un aumento de masa, para que exista este crecimiento no basta con que se haya producido división celular, dado que la simple división de una célula no constituye un aumento de volumen o masa (Courtis, 2014).

El crecimiento de un árbol está representado por su respectivo desarrollo en el aumento de volumen y masa, seguido muchas veces por cambios permanentes en la forma y en la organización interna celular. En este proceso de crecimiento e incremento de un árbol se incluyen tres fases: división celular (mitosis), expansión de las células (maduración) y diferenciación (Courtis, 2014). De esto parte el desarrollo del árbol en altura y diámetro y del desarrollo en volumen de un árbol al referirnos al crecimiento, este crecimiento del árbol en un periodo de tiempo se llama incremento y a medida que un árbol crece, sus dimensiones aumentan (diámetro, altura y volumen). Por otra parte, se deben distinguir los términos incremento y producción, ya que cuando se habla del incremento del árbol se dice que su volumen aumenta, pero cuando se habla de un área definida se dice que produce (Wabo, 2002).

4.3.1 Crecimiento del árbol en altura

El desarrollo e incremento en altura de los árboles se manifiesta principalmente en la primavera, generalmente comienza con gran intensidad, que dura de 2 a 3 semanas, posteriormente decrece gradualmente, solamente que en algunas especies se interrumpe, mientras que en otras se presenta sin esa interrupción hasta los meses de septiembre u octubre, la duración del aumento en altura puede ser menor debido a un verano seco y frío, pero puede alargarse si se presenta un verano húmedo y caluroso, lo que hace posible la formación de brotes, los cuales en algunas especies pueden ser mayores que los brotes de primavera (Wabo, 2002).

El crecimiento en altura en los árboles está menos influenciado por el medio ambiente que el diámetro, para el incremento en altura es de gran importancia la cantidad de reservas materiales que acumula el árbol durante el último año, ya que de ahí las raíces exhiben un gran desarrollo al principio (s, 2005). López & Tamaurit (2005), menciona que el incremento en altura es menor en los años de producción de frutos, ya que se emplea una parte de las

substancias de reserva en el fructificación, de ahí depende la variación en el incremento en altura en árboles individuales y esto se debe probablemente a su diferente reacción al fotoperiodo.

4.3.2 Patrones de crecimiento en altura

El patrón de crecimiento en altura es el conjunto de características que definen el incremento en longitud del brote terminal, durante una o más estaciones de crecimiento, en los individuos de cualquier población o especie vegetal (Salazar *et al.*, 1999).

Las principales características del patrón de crecimiento incluyen el inicio, el término, la duración y la velocidad de alargamiento, es decir, el número y longitud de ciclos; el número (resultante de la división celular) y longitud (dado por la elongación celular) de sus unidades de crecimiento, número y longitud de ramas formadas en cada ciclo durante la estación de crecimiento (Wabo, 2002).

Salazar *et al.*, (1999), señala que existen tres patrones principales de crecimiento en altura para especies forestales y un cuarto tipo que generalmente se da en condiciones anormales. Son los siguientes:

4.3.2.1 Crecimiento libre

Se presenta en la fase inicial de vida de cualquier planta, en este tipo de crecimiento la plántula forma y elonga todas sus células para formar condiciones ambientales locales, es por tanto un crecimiento indeterminado cuya inhibición es consecuencia del ambiente y poca importancia tiene el genotipo de la planta, aunque en diferentes especies y/o poblaciones de una misma especie, puede existir variación genética en cuanto a la respuesta del meristemo apical a un factor ambiental en particular.

4.3.2.2 Crecimiento fijo

Resulta de la elongación de las unidades de crecimiento que han sido formadas previamente en una yema, esta yema frecuentemente se forma al final de la estación de

crecimiento, lo cual constituye una estrategia de adaptación para hacer frente a bajas temperaturas presentes en invierno. Por lo tanto, este patrón de crecimiento se presenta en especies perennes de zonas templadas con invierno riguroso.

4.3.2.3 Crecimiento fijo-libre

Es una combinación de los tipos de crecimientos anteriores, donde la forma de crecimiento libre siempre es posterior al crecimiento fijo, consiste en la separación de la elongación anual del brote en dos etapas durante la estación de crecimiento, el primer crecimiento deriva de las células preformadas en la yema que estuvo en latencia durante el invierno y la otra de nuevas células, formadas en una yema inconspicua o no, posterior a la yema invernal, en los que cada año se elonga varios ciclos sucesivos, formando yemas no invernales.

4.3.2.4 Crecimiento fijo-fijo

Este tipo de crecimiento es menos frecuente y ocurre generalmente en condiciones de estrés, consiste en la elongación tardía de una yema terminal formada durante la misma estación de crecimiento, la cual interrumpió su reposo invernal debido a alguna alteración en la fisiología de la planta, causada a su vez por condiciones ambientales anormales. Los ciclos normales se pueden diferenciar de los elongados, bajo crecimiento fijo-fijo, durante la misma estación en que se formaron, por la zona de catafilos estériles en la base de los mismos, ausente en la segunda parte de los ciclos que quedan interrumpidos.

4.3.3 Incremento del árbol en diámetro

Para el incremento del árbol en diámetro son casi los mismos factores que actúan en altura, el incremento anual en diámetro depende de la cantidad de reservas materiales acumuladas por el árbol durante el año, pero este depende más del medio ambiente que el crecimiento en altura (Wabo, 2002). Dentro de los límites el incremento en diámetro es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz, este incremento está más condicionado o relacionado por el espacio libre, este crecimiento en diámetro se manifiesta en los anillos de crecimiento, ya que el ancho de los anillos no es igual a lo largo de todo el fuste, los anillos de

crecimiento son más anchos en la parte superior del fuste, ya que más abajo el ancho de los anillos decrece y en la base del árbol se ensancha otra vez, lo que le da a la porción inferior a una forma especial (Wabo, 2002).

López & Tamaurit (2005), menciona en sus investigaciones realizadas que normalmente un anillo de crecimiento del árbol es por año, excepcionalmente puede ocurrir que se produzcan varios en un mismo año, estos son los llamados falsos anillos los cuales pueden formarse de varias maneras, cabe mencionar que la formación de falsos anillos es debido a un segundo período de alargamiento, puede ocurrir que se produzca un crecimiento discontinuo durante el verano, el cual vuelve a ser activo al final del mismo lapso de crecimiento en un otoño templado. En anillos de crecimiento normal, la madera temprana pasa gradualmente hacia el interior, posteriormente esa madera se pone en contacto con la madera temprana del siguiente año, por lo consiguiente debido a la presencia de varios anillos o anillos discontinuos el conteo de los anillos de crecimiento no siempre indica la edad exacta del fuste.

El crecimiento en altura llega a ser más intenso después del cuarto año o más tarde. Hasta esa edad los anillos de crecimiento no son visibles, es posterior al inicio del incremento en altura cuando los árboles jóvenes forman los anillos de crecimiento (Wabo, 2002).

4.4 Programa de mejora genética

Un programa de mejora genética permite mejorar el estado de salud de las plantaciones en su interacción con agentes bióticos y abióticos, así como aumentar la adaptabilidad de los arboles a las condiciones ambientales de los sitios de plantación, iniciando con la selección de árboles superiores con base en su fenotipo, por lo que es esencial determinar la calidad de estos árboles a través de la evaluación del crecimiento de su progenie en los terrenos donde se establecen las plantaciones, por lo mismo cuando los ensayos de evaluación se realizan en varias localidades se genera un comportamiento diferencial entre las progenies de diferentes árboles, según el ambiente particular, conocido como interacción genotipo-ambiente, lo que permite aumentar el área potencial de la plantación (Vargas *et al.*, 2017). Debido a la longevidad y tasa de crecimiento 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 (Salaya

et al., 2012). *Pinus patula* se usa intensivamente en plantaciones con árboles mejorados en países de África y América, pero en su área de origen se aprovecha sólo del bosque natural y hay esfuerzos aislados como el establecimiento de áreas y huertos semilleros.

4.4.1 Ensayo de especies

Los ensayos de especies constituyen el medio más confiable para la selección de las especies adecuadas a un fin y una localidad determinada, en donde se desarrolla una especie, ya sea como nativa o como exótica, siendo válido solamente para esa región, ya que su utilización en otra localidad es considerable de riesgo, ya que las especies no siempre responden por igual, ya sea en desarrollo o producto final a consecuencia que la analogía climática y ecológica pueden resultar diferentes o insuficientes entre regiones, revelando diferencias en adaptabilidad y productividad de las especies (Valera, 2001).

Un programa experimental de ensayos de especies adecuadamente planificado y ejecutado, proporciona buena información a bajos costos, ya que si los resultados fueran negativos las pérdidas serían insignificantes con relación a las que ocurrirían en una plantación a gran escala sin conocimientos previos en sitios muy diferentes (Valera, 2001).

4.4.2 Ensayo de procedencias

El ensayo de procedencias es una herramienta esencial para estimar el grado de variación que existe dentro de una especie, en él se prueban muchas fuentes de semilla de una misma especie promisoría (Miranda, 2001). Pero en general se refiere a un grupo de árboles que crece en un lugar determinado a su progenie. Procedencia que se utiliza para designar la localización geográfica de una población y ensayo de procedencias como el estudio en que se evalúa el crecimiento de diferentes poblaciones en un mismo sitio bajo un diseño experimental. Para especies de distribución amplia, la selección de procedencias puede seguir las siguientes etapas o fases: muestreo de procedencias de rango amplio, muestreo de procedencias de rango restringido y fase de validación de procedencias (Miranda, 2001).

4.4.3 Ensayo de progenie

La progenie se define como la descendencia de un árbol o al resultado de la combinación de una fuente parental masculina y una femenina, ya que para saber eso se realizan unas pruebas de progenie como la estimación del valor genético mediante la medición y observación del comportamiento de cada individuo. 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 (fenotipo) 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 (FloresOspina, 2018).

4.5 Variación entre procedencias

Las variaciones genéticas entre procedencias de una misma especie forestal en su área de distribución han surgido del resultado de la adaptación de las especies a las diferentes condiciones climáticas y edáficas imperantes en determinados hábitats, así mismo, es de esperarse que poblaciones de una misma especie vegetando en condiciones ecológicas diferentes, puedan desarrollar diferentes hábitos de adaptación a los mismos, aun cuando la procedencia se clasifica como perteneciente a una especie, presentará variaciones inherentes a su constitución genética relacionadas con su adaptación a factores climáticos diferentes (García *et al.*, 2001).

4.5.1 Variación geográfica y poblacional

La variación geográfica hace referencia a las diferencias fenotípicas entre árboles nativos creciendo en diferentes porciones del área de distribución natural de una especie y la variación genética dentro de poblaciones se refiere a la variación entre familias de una misma población y entre individuos de esas familias, y puede tener una gran importancia relativa (Mondino, 2014).

4.6 Variación genética

La variación genética es causada por la variedad de alelos y genotipos presentes en un grupo biológico bajo estudio y es lo que hace que distintos individuos presenten diferencias morfológicas y fisiológicas aun dentro de una misma especie, de tal modo que algunos sean más resistentes que otros a estrés biótico o abiótico para la sobrevivencia y la adaptación del éxito evolutivo (Iglesias & Casas, 2004).

La variación genética intraespecífica es comúnmente abordada a distintos niveles jerárquicos, en primer lugar, la denominada variación geográfica que involucra la variación entre poblaciones localizadas en distintos sitios, y en segundo lugar la variación dentro de poblaciones, también denominada variación genética (Iglesias & Casas, 2004).

4.6.1 Métodos de medición para la variación genética

Los niveles y patrones de variación genética son importantes para la conservación y el manejo de los recursos genéticos, existe una variedad de métodos para medir la variación genética en plantas, desde medidas de la morfología hasta marcadores genéticos moleculares, y cada método tiene ventajas y desventajas (Mondino, 2014)

4.6.1.1 Variación morfológica

La variación morfológica que se visualiza entre poblaciones es debida en parte a diferencias genéticas y en parte a diferencias ambientales (CONAFOR, 1995). Normalmente se desconocen las contribuciones relativas de los dos factores, por eso es necesario medir los niveles y patrones de variación genética, la manera más fácil de medir los niveles y patrones de variación genética es medir directamente la morfología en el campo (Mondino, 2014). Simplemente se miden las características deseadas en campo y se analiza la variación comparándolas.

4.6.1.2 Fuerzas evolutivas

Mondino (2014), define a las fuerzas evolutivas como los cambios acumulados en la composición genética de una población, dicha evolución ocurre por el cambio en las frecuencias alélicas y genotípicas de las poblaciones a través del tiempo y el espacio, con base a estas fuerzas evolutivas se pueden medir e interpretar los niveles y patrones de variación genética, mediante; la mutación, la deriva genética, la selección natural y el flujo genético.

- **Mutación:** Es un gen en el proceso de alteración de la secuencia de ADN en un cromosoma, refiriéndose tanto al proceso como al producto de dicha alteración, estas alteraciones pueden tener o no efectos en el aspecto externo del individuo y estas ocurren con una frecuencia baja, por lo cual es una fuerza relativamente poco considerable en el corto plazo (CONAFOR, 1995).
- **Deriva génica:** Es un proceso aleatorio que es particularmente importante en poblaciones pequeñas, ocurre por azar debido al muestreo natural de los cruzamientos efectivos que se suceden en cada 101 generación. Este efecto no se daría en una situación hipotética de poblaciones de dimensión infinita, dado que el tamaño de las poblaciones en la práctica no es infinitamente grande, siempre se verifica algún grado de deriva génica, aunque el efecto sólo se vuelve relevante en las poblaciones pequeñas (Mondino, 2014).
- **Selección natural:** Se define como la reproducción diferencial de los genotipos en una población (CONAFOR, 1995). Los genotipos con mayor adecuación son los que producen más progenie, pasando más copias de sus genes a las generaciones posteriores, así las frecuencias de sus alelos aumentan en la población y las de otros con menor adecuación disminuyen, la selección puede diferenciar u homogeneizar poblaciones, dependiendo de la naturaleza del ambiente, si las poblaciones se encuentran en ambientes diferentes, van a diferenciarse, y si están en ambientes muy parecidos, la selección puede actuar para homogeneizarlas (Mondino, 2014).
- **Flujo genético:** Se define como el intercambio de genes entre distintos individuos de una misma o diferentes poblaciones (CONAFOR, 1995). Este ocurre por medio del movimiento de polen y semillas entre poblaciones, este efecto de flujo

génico es hacer las dos poblaciones más parecidas entre especies por medio de hibridación, seguido por cruza entre el híbrido y una o ambas de las especies paternas (Mondino, 2014)

4.6.1.3 Marcadores genéticos moleculares

Estos marcadores moleculares permiten medir directamente la variación al nivel de proteínas y de ADN, generalmente no están muy afectados por la selección, de vez en cuando se encuentra un marcador molecular con gran importancia adaptativa, como una mutación que elimina la función de una enzima necesaria, pero en la gran mayoría de los casos hay muy poca diferencia en la adecuación entre los alelos alternativos. Por eso, los marcadores genéticos moleculares generalmente no demuestran una fuerte asociación con las variables del ambiente del sitio donde las plantas fueron colectadas, como no están muy influidos por la selección, estos marcadores son particularmente útiles para revelar los efectos de flujo génico y deriva génica (Mondino, 2014).

4.6.2 Importancia de la variación genética

La mayor parte de la gente piensa que la biodiversidad es el número de especies (riqueza de especies) en un área, lo cual ciertamente es un componente muy importante de la variación. Una gran cantidad de la variación genética reside dentro de especies, entre y dentro de poblaciones, por otra parte, los procesos evolutivos que moldean la variación dentro de especies son los mismos que crean la diversidad entre especies (CONAFOR, 1995).

Los niveles de variación genética dentro de especies y poblaciones son de interés en el manejo de recursos genéticos, porque la variación sirve como materia prima de la evolución y está relacionada con la habilidad de las poblaciones para adaptarse a cambios y los patrones de variación dentro de especies que son de interés, ya que determinan la manera en que se aprovechan y se conservan estos recursos. Si hay pocas diferencias entre poblaciones, la pérdida de cualquier población no es tan grave debido a que no se pierde una unidad única genéticamente. Por otra parte, si las poblaciones son muy diferenciadas, cada una representa un recurso único y se tendrá que mantener más poblaciones en programas de conservación y mejoramiento (CONAFOR, 1995).

4.7 Evaluación de la variación genética

La finalidad de un diseño experimental es proveer un estimado preciso de las diferencias genéticas entre las procedencias o progenies, tratando de minimizar los efectos de variación ambiental dentro del sitio experimental, para controlar esta variación se usa el uso de bloques, el cual es la forma más simple de evitar que las diferencias genéticas entre procedencias y/o progenies que se confundan con las diferencias ambientales dentro del sitio (Flores, 2014). Un bloque es un conjunto de una parcela de procedencias o progenies diferentes ubicadas en forma continua, cuya idea es que dentro de cada bloque las condiciones ambientales sean similares y por lo tanto las diferencias entre parcelas de un bloque sean el resultado de variaciones en la constitución genética de las procedencias o familias y no de las variaciones ambientales y del suelo, comúnmente para la investigación forestal se utiliza un diseño de bloques completos al azar, en donde el área plantada del experimento se divide en bloques de área igual y cada procedencia o familia está representada una vez en cada bloque por parcela de uno o varios árboles, en donde la ubicación de progenies en cada bloque debe de hacerse en forma aleatoria, el mínimo número de bloques que se requiere para poder estimar la variación debe ser mayor a diez (Flores, 2014).

4.8 Estudios similares

Ramos *et al.* (2022), estudió la morfometría de copa en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* en Michoacán, México, con la finalidad de calcular y correlacionar algunos índices morfométricos y modelar la relación proporcional de copa en función del diámetro normal, con modelos de efectos mixtos en plantaciones forestales de *P. pseudostrobus* y *P. montezumae* en Michoacán, México. Se estimaron 11 índices y valores morfométricos con datos del diámetro normal, diámetro de la proyección de la copa, altura de fuste limpio y altura total. También, se ajustó un modelo de efectos mixtos con las variables clasificatorias de altitud, exposición y pendiente, para estimar la relación proporcional de copa. El índice de esbeltez (Altura/diámetro normal) y el área de proporción de copa fueron de 0.65 m cm⁻¹ y 31.19 m² para *P. pseudostrobus*, y de 0.55 m cm⁻¹ y 21.85 m² en *P. montezumae*, mientras que, la dimensión del diámetro de copa fue 25 y 31 veces el diámetro normal para estas dos especies. Las mejores condiciones de desarrollo para *P. pseudostrobus* se presentaron entre

los intervalos de elevación de 2750 - 2950 m.s.n.m., mientras que para *P. montezumae* las exposiciones oeste y suroeste mostraron valores superiores. Los índices morfométricos y el ajuste por modelos de efectos mixtos permiten tener una alternativa para calcular parámetros esenciales en la gestión forestal y establecimiento de las plantaciones forestales en estas dos especies.

En otro estudio Rodríguez y colaboradores (2009), reportaron la variación en la cobertura de suelo en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii Engelm.* en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, con la finalidad de conocer la protección al suelo que brindan las copas de los árboles en un ensayo de procedencias de *P. greggii* a 4.5 años de plantados en el Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, se midió supervivencia, altura y características de la copa; también se calcularon área de proyección de copa, área de intercepción lumínica y porcentaje de copa. No se encontraron diferencias significativas entre procedencias en la supervivencia, pero se tuvo en general 93% de supervivencia; al contrario, sí hubo diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en altura, altura a la primera rama, altura al punto amplio de la copa, área de proyección de copa, área de intercepción lumínica y porcentaje de copa. Los árboles de las procedencias con mayor área de proyección de copa en el suelo tuvieron 0.85 m^2 y en el área de intercepción lumínica varió en más de 1.1 m^2 entre las procedencias extremas. Para el porcentaje de copa el mayor valor obtenido fue de 89.1% de tallos con copa. A 4.5 años de establecido el ensayo de procedencias la copa de los árboles ha cubierto el 14.8% de la superficie total plantada. El crecimiento de los árboles se correlacionó positivamente con el área de intercepción lumínica ($r = 0.94$), área de proyección de copa ($r = 0.86$) y porcentaje de copa ($r = 0.48$). El estudio muestra evidencias para seleccionar la procedencia de Los Lirios, Coahuila y Agua Fría, Nuevo León, para proteger el suelo del sitio de plantación.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación del área de estudio

El estudio se llevó a cabo en el ensayo de progenie de árboles de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham., establecido en octubre del 2019 en el ejido Viborillas Ojo de Agua, municipio de Huayacocotla en el estado de Veracruz, situado geográficamente entre las coordenadas 20° 28' 21" latitud norte y 98° 29' 56" de longitud oeste (Figura 1). La superficie de plantación fue de 1.25 hectáreas, con altitud de 2310 msnm. Predomina un clima de tipo C(w₂), es un clima templado, con temperatura media anual de 14.7 °C, y la precipitación anual va de los 900 a 1000 mm.

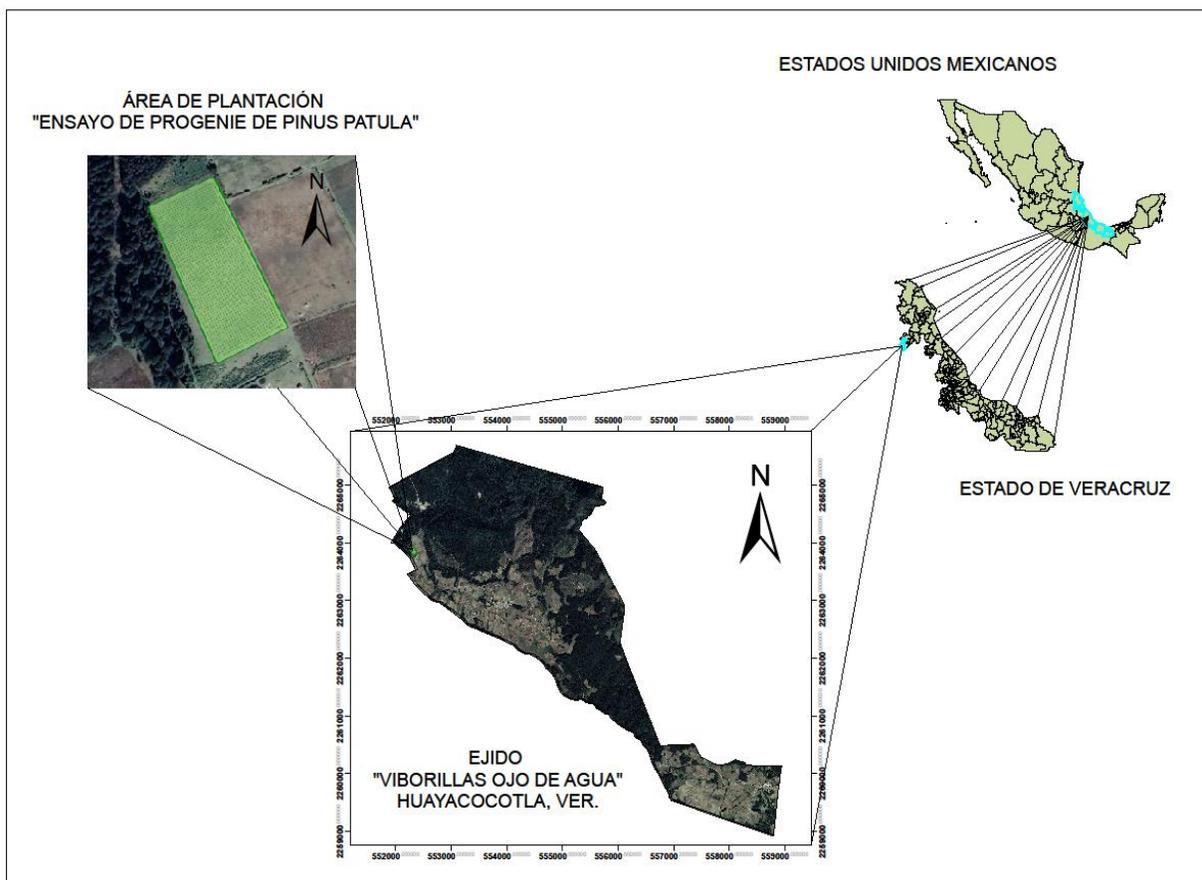


Figura 1. Localización del ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* establecido en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

5.2 Origen y colecta del germoplasma

El germoplasma se colectó de 64 progenitores de polinización abierta procedentes de rodales naturales de los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz. Los criterios para la selección de árboles madre (plus) fueron; rápido crecimiento, fuste recto, capacidad de auto poda, libre de plagas y enfermedades, además de la presencia de estróbilos femeninos maduros (aparecen en orden de importancia). Para evitar el parentesco entre individuos se fijó la distancia de separación de 100 m entre árboles. En la tabla 1 se muestra el origen del germoplasma recolectado de las diferentes regiones, se identificaron con número consecutivo para tener control y conocer de qué región proviene, después se plantaron en campo manteniendo la identificación de cada planta.

Tabla 1. Procedencia y número de árboles superiores de donde se colectó germoplasma (progenitores) para el establecimiento del ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Número de progenies	Estado	Municipios
1-25	Puebla	Ahuazotepec, Tlatlauquitepec y Zacatlán
26-35	Hidalgo	Meztitlán, Zacualtipán de Ángeles
36-60	Veracruz	Huayacocotla
61-75	Hidalgo	Acaxochitlán, Agua Blanca de Iturbide, San Bartolo Tutotepec, Tlahuiltepa y Zacualtipán de Ángeles

Las progenies 13, 14, 17, 19, 20, 25 y 26 se descartaron de plantar en el ensayo de progenie, por obtener poca semilla y porcentajes bajos de germinación en vivero.

5.3 Producción de planta

La producción de planta se realizó en contenedores de plástico negro de 320 cc 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 60-15-15-10 de aserrín,

tezontle, turba de musgo, vermiculita respectivamente y 8 gramos por litro de fertilizante de liberación controlada (15-07-15+2MgO+ME) de 8 meses. Al momento de realizar la plantación en campo la plántula medía en promedio 25-29 cm de altura a la edad de 9 meses.

5.4 Descripción del área de estudio

El ensayo de progenie se estableció en un terreno agrícola abandonado con ligera pendiente del 3%, en la superficie de 1.25 hectáreas. Debido a su uso anterior del sitio, se decidió realizar la eliminación de la vegetación arbustiva y herbácea y se pasó el tractor con rastra en dos ocasiones para dejar el suelo con características deseables para plantar.

La plantación se estableció con el diseño en marco real, se plantó en cepa común con espaciamiento de 3m x 3m entre plantas y líneas, como medida de protección del efecto de borde se estableció una hilera de árboles en el perímetro del ensayo.

5.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño 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 aleatoriamente (Figura 2), sumando el total de 1344 árboles en todo el experimento más 164 árboles de bordo con las mismas familias plantadas en el ensayo de progenie.

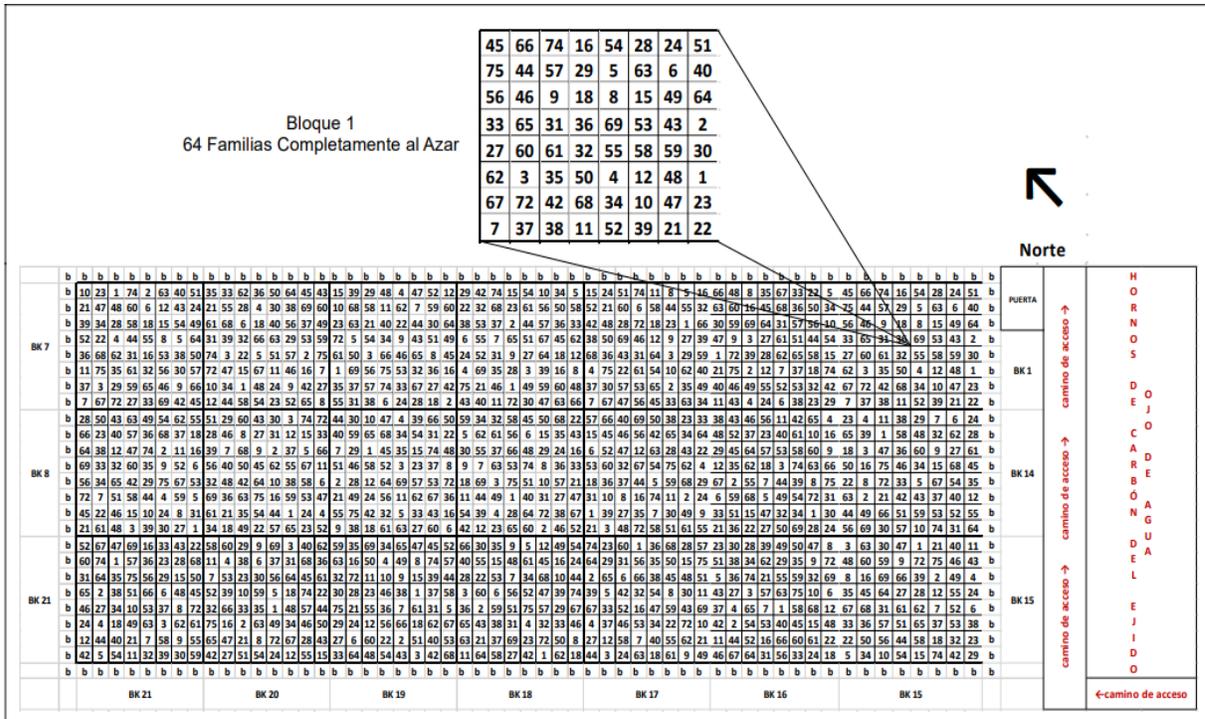


Figura 2. Diseño de la parcela experimental del ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en bloques completos al azar con 21 bloques en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

5.6 Medición de características morfológicas

En los árboles después de 1.9 años de plantados en campo se realizaron cuatro mediciones con intervalos de 3 meses que corresponden al inicio de cada estación del año, la primera fue en septiembre (**inicio de otoño, 2021**), diciembre (**inicio de invierno, 2021**), marzo (**inicio de primavera, 2022**), y junio (**inicio de verano, 2022**) en la última medición los árboles tenían la edad de 2.7 años después de haber sido plantados en campo. En cada evaluación se midieron en campo las variables de altura total, diámetro normal, diámetro de copa de norte-sur y este-oeste, altura de la primera rama y altura al punto más amplio de la copa para calcular la variable de área de intercepción lumínica de la copa del árbol (Figura 3) (Rodríguez *et al.*, 2009).

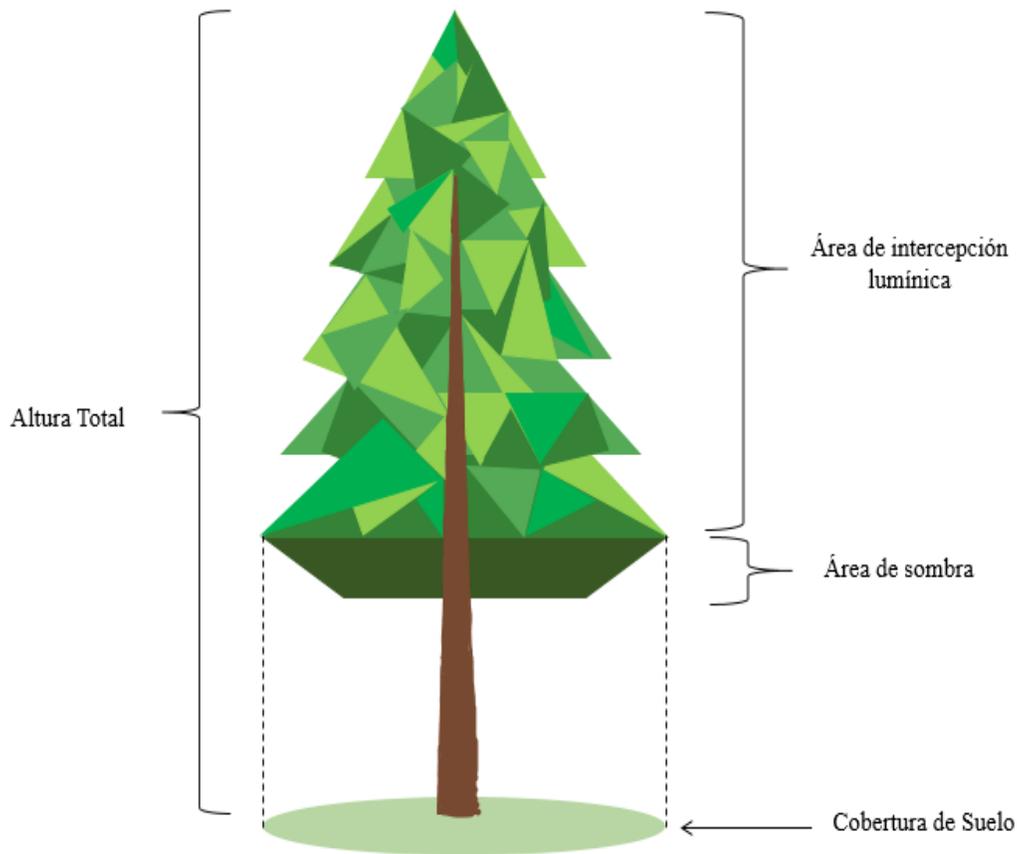


Figura 3. Se ilustran las variables medidas en campo por árbol en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

La altura total consistió en medir desde la base hasta la yema apical del árbol con estadal graduado marca Apex® con aproximación al centímetro. El diámetro normal se midió a la altura de 1.30 metros del piso con vernier digital marca Mitutoyo® de 8 pulgadas con aproximación al milímetro. Para obtener el valor del área de intercepción lumínica de la copa por árbol se midió el diámetro de la copa en dirección norte-sur y este-oeste con ayuda de un flexómetro marca Cadena® modelo MGA5020 con aproximación al milímetro (sumar los dos diámetros y dividir entre dos para obtener el diámetro promedio de la copa). La longitud de copa se obtuvo al restar de la altura total del árbol la longitud que hay del piso a la primera rama de la copa del árbol.

El área de intercepción lumínica de la copa se conoce como la parte con mayor actividad fotosintética donde se absorbe la radiación lumínica y comprende la superficie lateral de la copa eliminando la superficie de sombra de la copa, se expresa en m² y el cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$AILC = \frac{\pi * r}{6LC^2} \left[(4LC^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \right]$$

Donde:

AILC: Área de intercepción lumínica de la copa (m²)

LC: Longitud de la copa del árbol (m). Se obtiene al restar la altura a la primera rama viva de la altura total del árbol.

r: Radio de la copa en metros, obtenido del diámetro promedio de la copa.

5.7 Análisis estadístico de los datos

A los datos de altura total, diámetro normal y área de intercepción lumínica de la copa se sometieron a análisis de varianza y aquellas variables que presentaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$), se les aplicó la prueba de comparación múltiple de medias Tukey. Se realizó el análisis de correlación de Pearson entre todas las variables evaluadas. Los análisis se ejecutaron con el software SAS versión 9.0.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Altura total

Los resultados obtenidos del análisis de varianza mostraron que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) entre las 64 familias de *P. patula* en el ensayo de progenie en las cuatro mediciones de altura total de los árboles (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza de altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Grados de libertad	Cuadro Medio (Familia)	<i>Pr > F</i>
Altura (otoño)	63	1670.3	0.0001
Altura (invierno)	63	2434.2	0.0001
Altura (primavera)	63	3576.1	0.0001
Altura (verano)	63	4891.9	0.0001

Pr > F = Probabilidad

La familia 48 procedente de Huayacocotla, Veracruz tuvo al inicio de otoño la mayor altura total (236.1 cm), mientras que la familia 63 con origen de San Bartolo Tutotepec, Hidalgo, se ubicó en el extremo inferior con 192.2 cm en la misma fecha de medición (1.9 años de edad) (Figura 4). La diferencia calculada fue de 43.9 cm que corresponde al 18.6% entre familias extremas, también se encontró que un grupo de 29 familias están por encima de la media general de la plantación presentando el valor promedio mayor a 209 cm. En otras palabras, significa que la familia 48 tuvo el 11.5% más de altura total comparada con la media general del ensayo de progenie al momento de la medición.

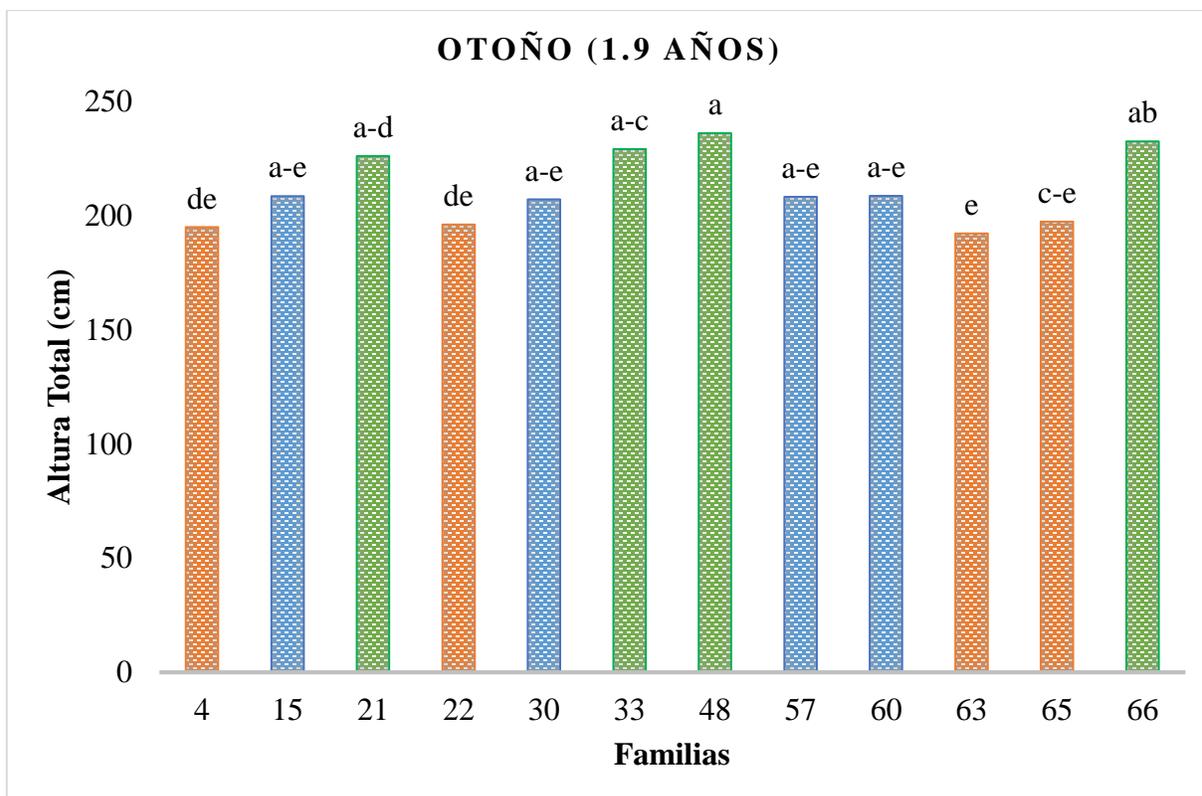


Figura 4. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del otoño 2021.

La familia 66 con origen en Tlahuiltepa, Hidalgo tuvo la mayor altura (255.4 cm) en diciembre del 2021, mientras que la familia 63 se mantuvo en el extremo inferior con 203.4 cm a la edad de 2.2 años (Figura 5). Habiendo una diferencia de 52 cm que corresponde al 20.4% entre familias extremas, teniendo en cuenta que un grupo de 30 familias están por encima de la media general de la plantación presentando el valor promedio mayor a 225 cm. De modo que el crecimiento en altura total ocurrido en la estación de otoño, se manifestó en aumentó en el porcentaje de diferencia entre las familias extremas de 18.6 a 20.4% respectivamente al inicio del invierno.

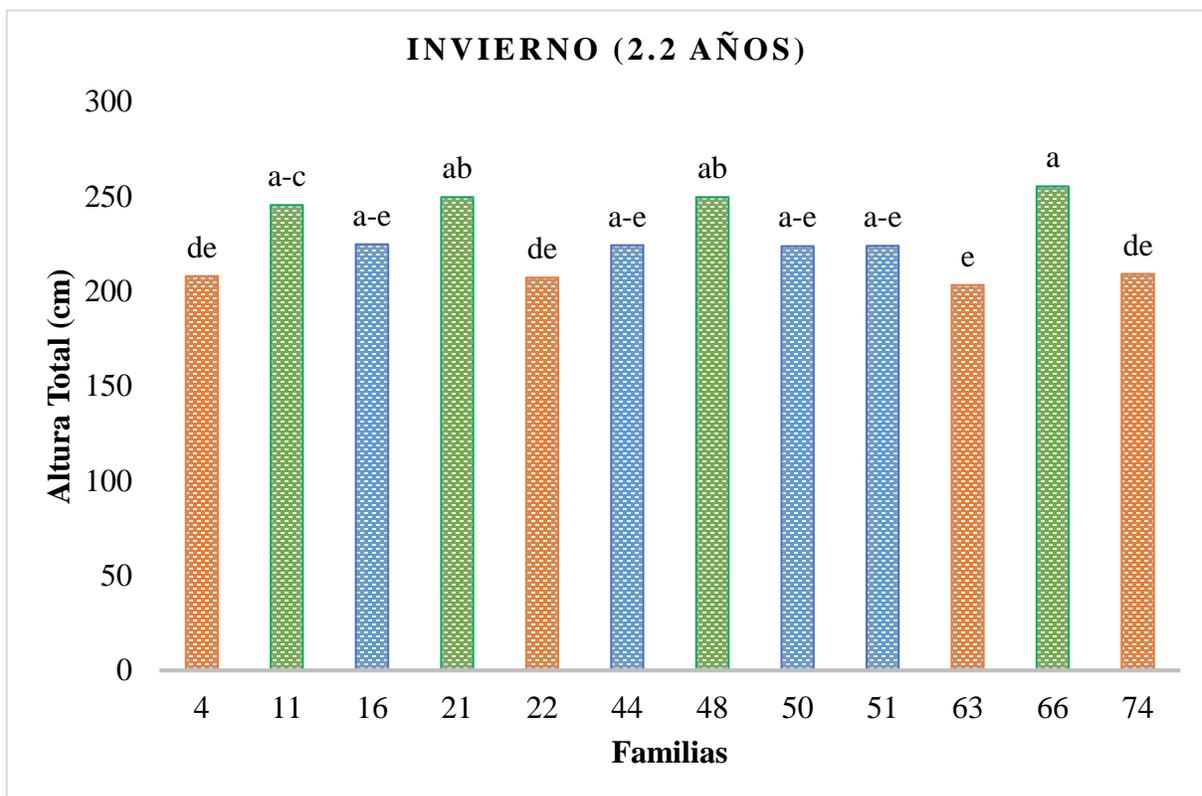


Figura 5. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del invierno 2021.

La familia 66 mantuvo el mayor valor promedio en altura con 279.2 cm, mientras que la familia 63 sigue teniendo el extremo inferior con 219 cm a la edad de 2.4 años (Figura 6). La diferencia calculada fue de 60.2 cm que corresponde al 21.6% entre familias extremas, teniendo en cuenta que un grupo de 27 familias están por encima de la media general de la plantación presentando el valor promedio mayor a 243.5 cm. La familia con mayor altura tuvo un incremento promedio de 23.8 cm en la estación de invierno. Además, se identifica que aquellas familias en el periodo invernal manifestaron un ligero aumento en el crecimiento en altura total debido a que se aumentó el porcentaje de diferencia entre las familias extremas de 20.4 a 21.6% respectivamente en la evaluación del inicio de primavera.

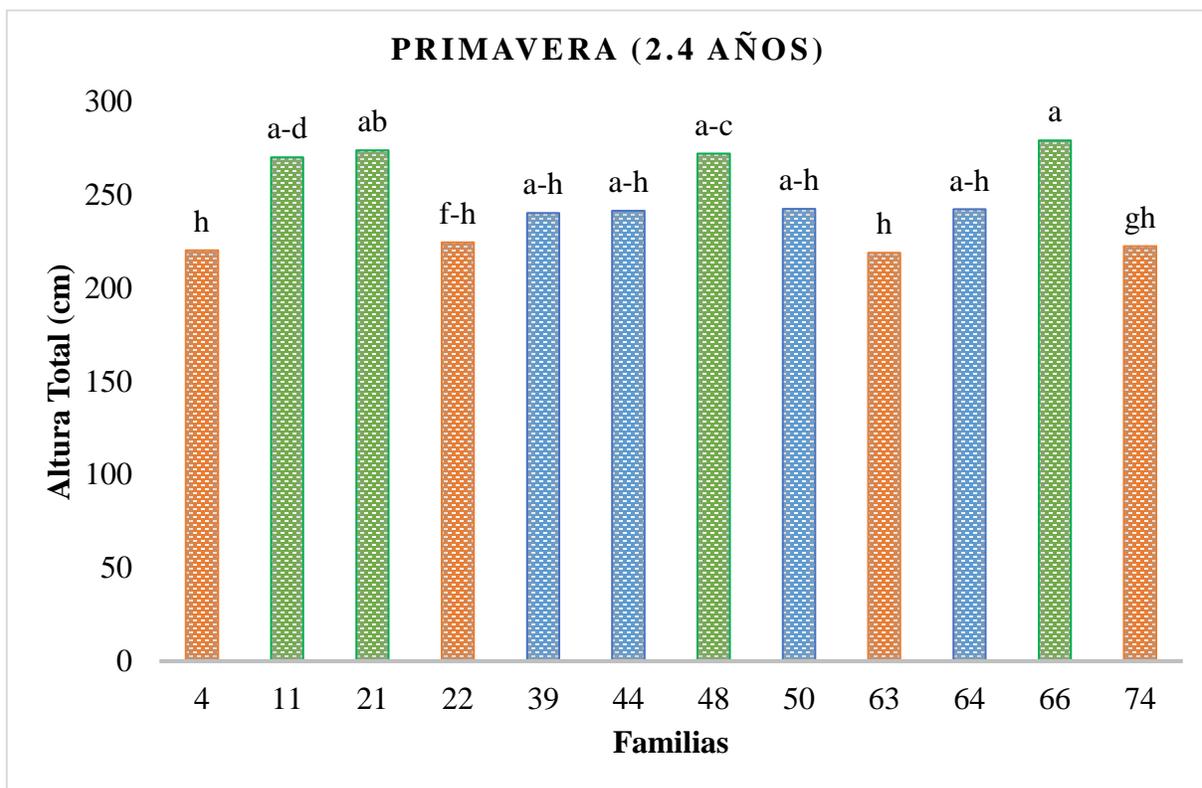


Figura 6. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.

A la edad de 2.7 años (inicio de verano) la familia 66 tuvo la mayor altura (363.1 cm), mientras que la familia 4 con origen de Tlatlauquitepec, Puebla se ubicó en el extremo inferior con 295 cm (Figura 7). Habiendo una diferencia calculada de 68.1 cm que corresponde al 18.8% entre familias extremas, teniendo en cuenta que un grupo de 29 familias están por encima de la media general de la plantación presentando el valor promedio mayor a 322.9 cm. La familia con mayor altura tuvo un incremento promedio de 83.9 cm en la estación de primavera. En otras palabras, significa que la familia 66 tuvo el 11.1% más de altura total comparada con la media general del ensayo de progenie al momento de la medición. Sobre todo, se encontró que la plantación desde la primera evaluación (inicio de otoño 2021) hasta el final de la evaluación (inicio de verano 2022) aumento en altura total 113.9 cm en promedio general.

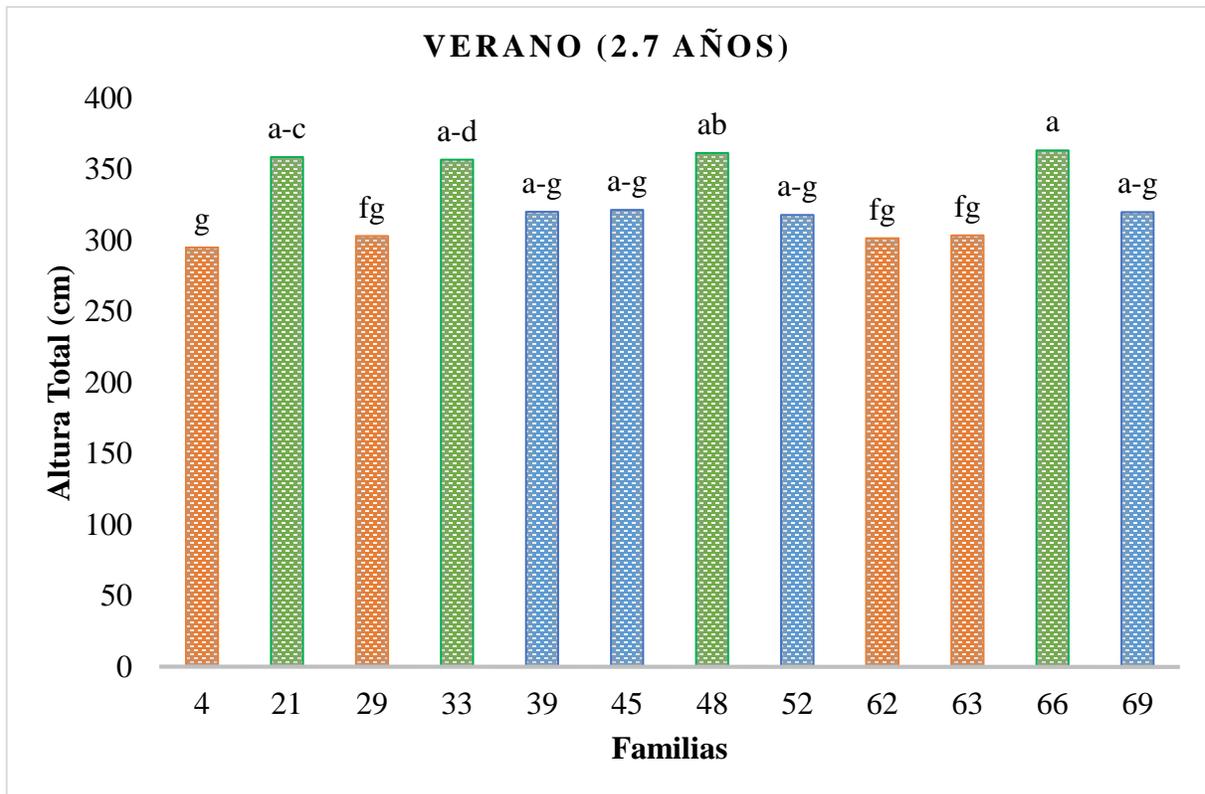


Figura 7. Valores promedio en altura total en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022.

Los resultados muestran que la familia 48 y 66 fueron superiores, demostrando que la familia 66 tuvo el mayor crecimiento durante 3 estaciones continuas, sumando el valor total de 130.6 cm durante toda esta evaluación, también aproximadamente el 45.3% de las familias permaneció su crecimiento por encima de la media general. Por otra parte, el 54.7% de familias permanecieron por debajo de la media general y por último las familias 4 y 63 fueron las que presentaron el menor crecimiento en altura total en todas las estaciones de evaluación y se puede deber a que presentaron menor adaptación a las condiciones ambientales del sitio de plantación durante el periodo de evaluación.

Los resultados encontrados en este ensayo fueron mayores a los presentados por Rodríguez *et al.* (2009), en un estudio llamado “Variación en la cobertura de suelo en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León”. Ya que, al

concluir la evaluación en altura, los árboles de *P. greggii* a la edad de 4.5 años después de haber sido plantados, demostraron que la mayor altura alcanzada fue alrededor de los 63 cm y la menor altura estuvo en promedio por los 54.3 cm demostrando que hubo variación del 15.7% entre sus procedencias. En ese mismo sentido Oviedo *et al.* (2000), reportó en un estudio llamado “Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero en una plantación en la localidad de Metepec, Estado de México”, registraron para los pinos más altos la altura total de 9.3 m con variación del 29% entre familias extremas y comparados con los árboles de menor altura (6.6 m) evaluados a la edad de 8 años después de haber sido plantados. La especie forestal de *P. patula* tiene un patrón de rápido crecimiento por encima del *P. greggii*, y la edad de evaluación de cada plantación fue diferente. Posiblemente los resultados encontrados en este estudio son superiores por el rápido crecimiento de *P. patula*, aunque cada especie fue plantada y evaluada en su hábitat natural y región topográfica que requirieren para su óptimo crecimiento.

6.2 Diámetro normal

Los resultados obtenidos con el análisis de varianza mostraron que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) entre las 64 familias de *P. patula* en un ensayo de progenie en las cuatro mediciones del diámetro normal de los árboles (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados del análisis de varianza para el diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Grados de libertad	Cuadro Medio (Familia)	$Pr > F$
Diámetro (otoño)	63	44.2	0.000 1
Diámetro (invierno)	63	59.9	0.0001
Diámetro (primavera)	63	83.4	0.0001
Diámetro (verano)	63	117.3	0.0001

$Pr > F$ = Probabilidad

La familia 48 procedente de Huayacocotla, Veracruz tuvo en las cuatro mediciones (inicio de otoño, invierno, primavera y verano) el mayor diámetro normal con 20.4, 24.1, 31.0 y 42.3 mm respectivamente, mientras que en las mismas fechas la familia 63 con origen de San Bartolo Tutotepec Hidalgo se ubicó en el extremo inferior con 14.2, 17.4, 21.3 y 31.5 mm, excepto el último valor corresponde a la familia 22 con origen de Ahuazotepec, Puebla. En la evaluación del inicio de otoño (1.9 años) la diferencia calculada fue de 6.2 mm que corresponde al 30.4% entre familias extremas (Figura 8) y un grupo de 27 familias están por encima de la media general de la plantación con valor superior de 16.4 mm. En la evaluación de inicio de invierno (2.2 años) la diferencia calculada fue de 6.7 mm que corresponde al 27.8% entre familias extremas (Figura 9), y un grupo de 27 familias están por encima de la media general de la plantación con valor superior de 20.1 mm. Lo que significa que tuvo el 13.3% más de diámetro normal comparado con la media general, de modo que el crecimiento en la estación de invierno se manifestó en aumento en el porcentaje de diferencia entre familias extremas respectivamente al inicio de primavera. Ya que en la evaluación de inicio de primavera (2.4 años) la diferencia calculada fue 9.7 mm que corresponde al 31.3% entre familias extremas (Figura 10), y un grupo de 25 familias están por encima de la media general de la plantación con valor superior de 25.1 mm. En la evaluación de inicio de verano (2.7 años) la diferencia calculada fue de 10.8 cm que corresponde al 25.5% entre familias extremas (Figura 11), y un grupo de 27 familias están por encima de la media general de la plantación con valor superior de 35.4 mm. En otras palabras, significa que tuvo el 16.3% más de diámetro normal comparado con la media general al momento de las mediciones. Los incrementos de diámetro normal fueron mayores en la estación de primavera (11.3 mm) y en la estación de otoño fue de solo 3.7 mm el incremento promedio de diámetro normal.

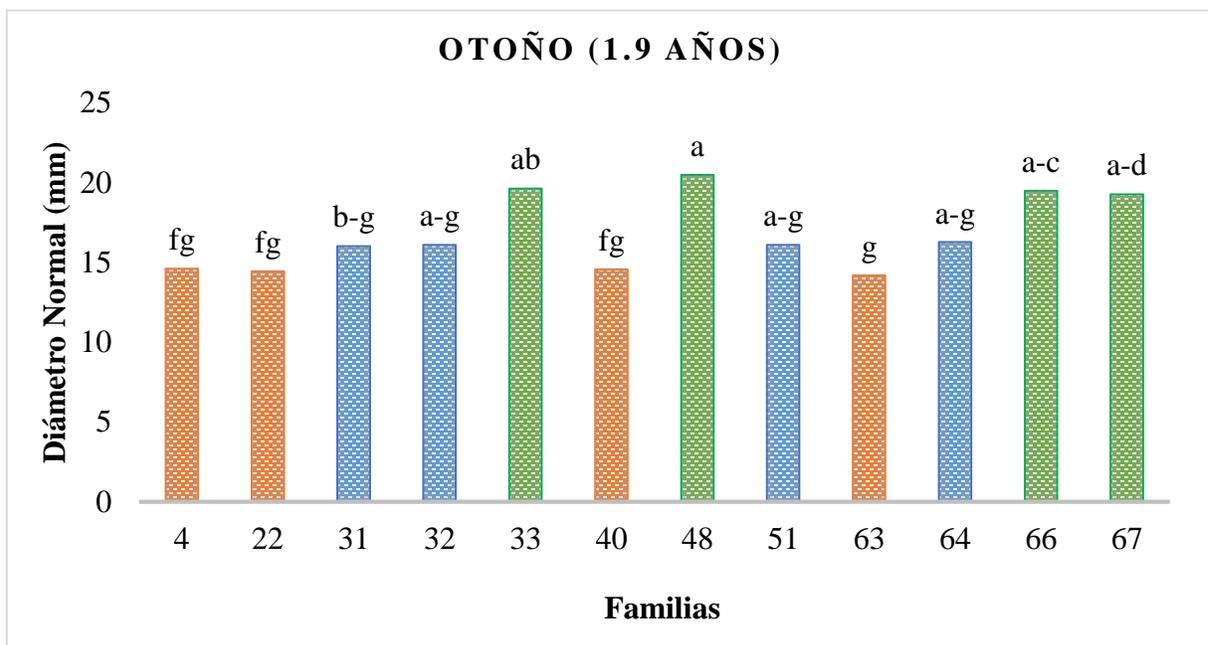


Figura 8. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de otoño 2021.

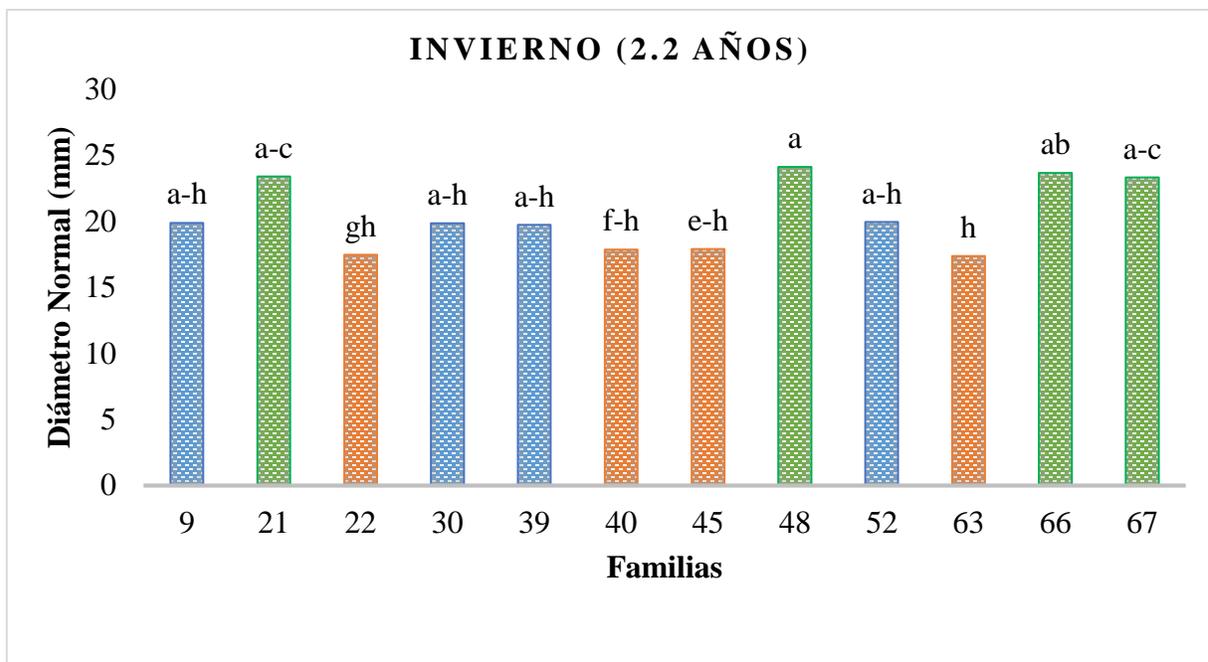


Figura 9. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de invierno 2021.

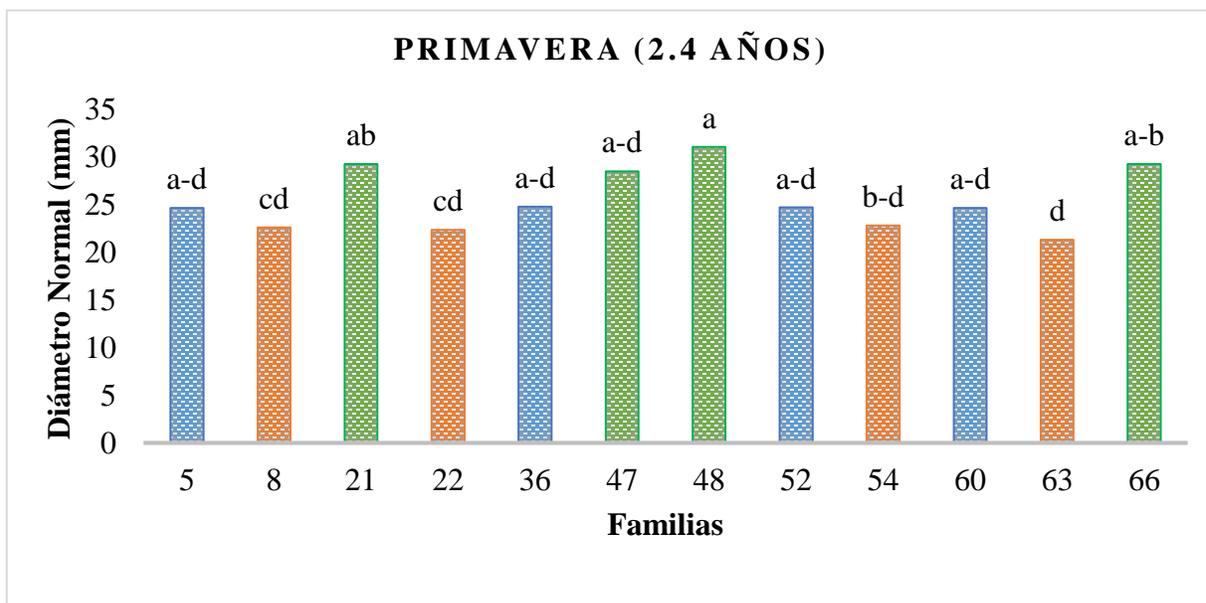


Figura 10. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.

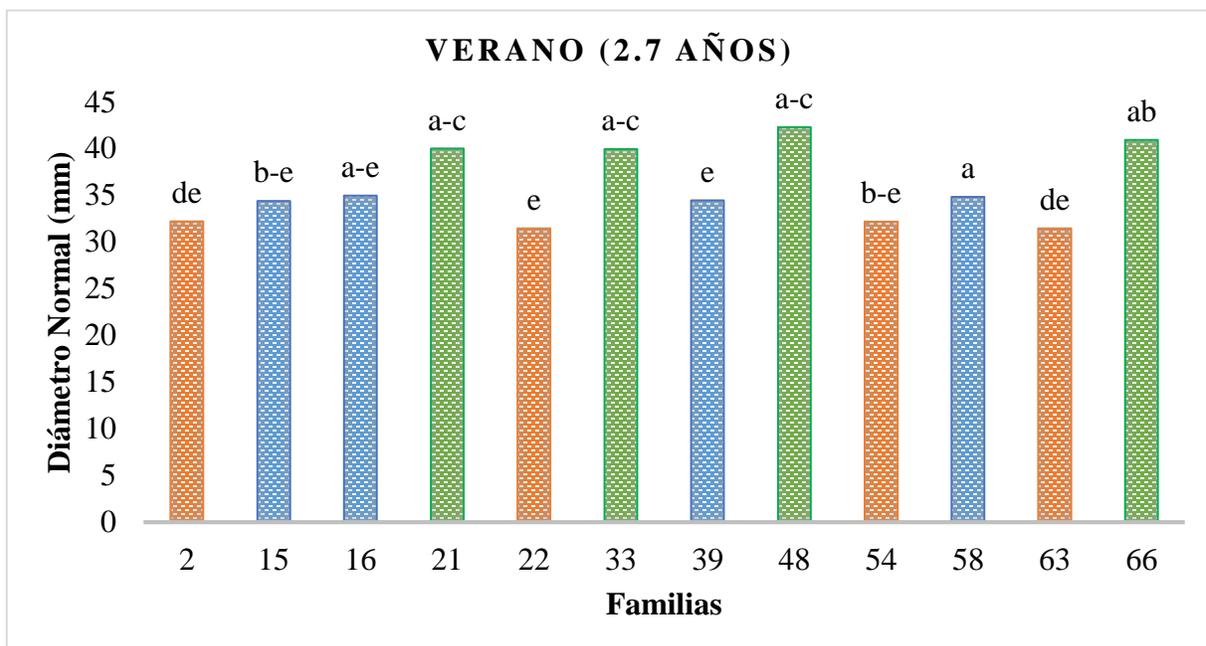


Figura 11. Valores promedio en diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022.

En las figuras anteriores se muestra que la familia 48 y 66 tuvieron mayores incrementos en diámetro normal con valor de 21.9 y 21.4 mm, respectivamente, desde inicio de otoño hasta inicio de verano del año siguiente alcanzaron diámetros normales cercanos a los 42 mm. Por otra parte, la familia 22 y 63 fueron las que presentaron menor incremento en diámetro normal en el mismo periodo de evaluación de las 64 familias que se encuentran en el ensayo de progenie. También se obtuvo que 27 familias se mantuvieron constantes con valores por arriba de la media general y 37 familias permanecieron por debajo de dicho valor.

Los resultados encontrados en este ensayo son superiores a los presentados por Camacho *et al.* (1999), en un estudio llamado “Evaluación de familias comunes de *Pinus patula* Schl *et* Cham. establecidas en un ensayo de progenie ubicado en Orizaba, Veracruz”, ya que reportaron incrementos de 30 a 40 mm alcanzando diámetros normales que empiezan desde los 4.5 hasta 6.9 mm máximos a la edad de 3 años después de haber sido plantados. En otro estudio realizado por Oviedo *et al.* (2000), titulado “Evaluación de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero en una plantación en la localidad de Metepec, Estado de México”, reportaron que los árboles a la edad de 8 años de plantados tuvieron de 10.5 a 16.0 cm diámetro normal. La diferencia en valores del diámetro normal con la plantación de *P. patula* de Orizaba, Veracruz se puede deber al origen de las familias utilizadas en cada ensayo de progenie y a las condiciones ambientales de cada sitio de plantación.

6.3 Área de intercepción lumínica de copa

Los resultados obtenidos con el análisis de varianza mostraron que existen diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.0001$) entre las 64 familias de *P. patula* en un ensayo de progenie en las cuatro mediciones para el área de intercepción lumínica de copa de los árboles (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Grados de libertad	Cuadro Medio (Familia)	<i>Pr > F</i>
Área de intercepción lumínica de copa (otoño)	63	2.4	0.0001
Área de intercepción lumínica de copa (invierno)	63	3.6	0.0001
Área de intercepción lumínica de copa (primavera)	63	5.6	0.0001
Área de intercepción lumínica de copa (verano)	63	23	0.0001

Pr > F= Probabilidad

La familia 48 procedente de Huayacocotla, Veracruz tuvo el mayor valor del área de intercepción lumínica de la copa de los árboles (4.6 m²), mientras que la familia 22 con origen de Ahuazotepec, Puebla, se ubicó en el extremo inferior con 2.9 m² al inicio de otoño (1.9 años) (Figura 12). Habiendo la diferencia calculada de 1.7 m² que corresponde al 37% entre familias extremas, identificando que un grupo de 29 familias están por encima de la media general de la plantación con un valor mayor a 3.6 m² de las 64 familias establecidas en el ensayo de progenie. En otras palabras, significa que la familia 48 tuvo el 21.7% más de área de intercepción lumínica de copa comparada con la media general del ensayo de progenie al momento de la medición.

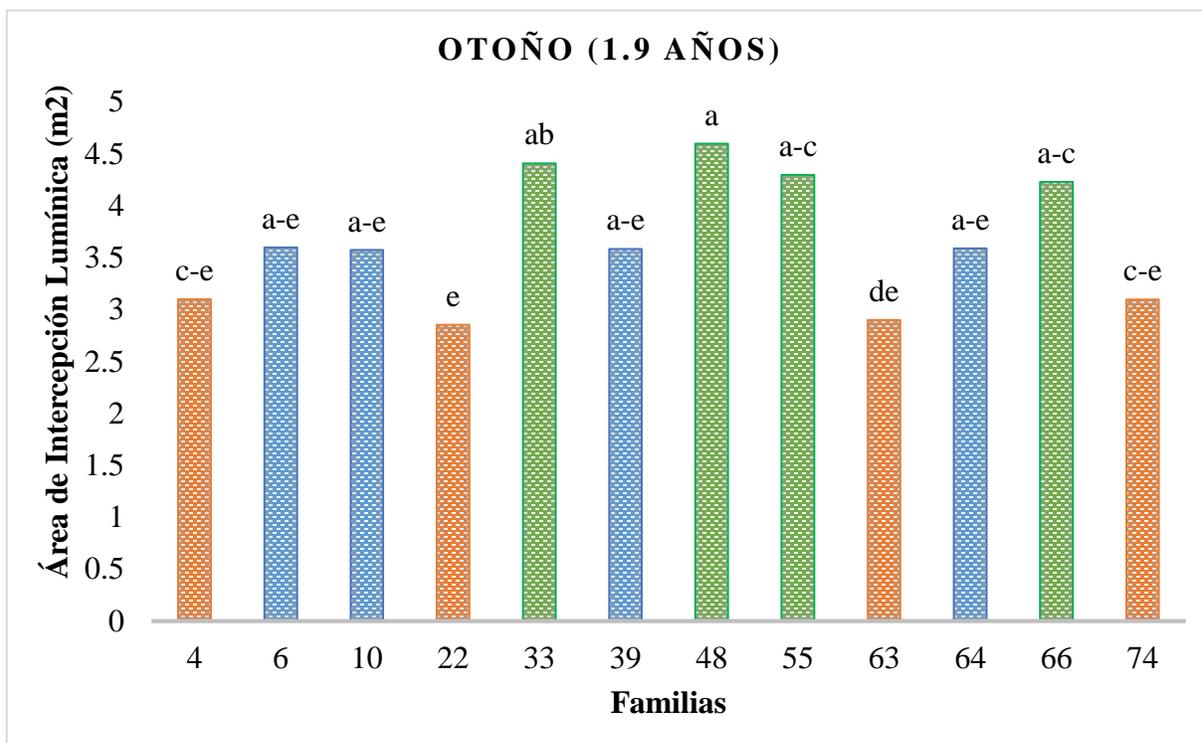


Figura 12. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 1.9 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de otoño 2021.

Al inicio de invierno (2.2 años) la familia 48 se mantuvo con el valor mayor del área de intercepción lumínica de la copa de los árboles (5.3 m²), mientras que la familia 22 con origen de Ahuazotepc, Puebla se ubicó en el extremo inferior con 3.3 m² (Figura 13). Habiendo la diferencia calculada de 2 m² que corresponde al 37.7% entre familias extremas, se identificó un grupo de 29 familias están por encima de la media general de la plantación con valor mayor a 4.2 m². De modo que el crecimiento del área de intercepción lumínica de la copa ocurrido en la estación de otoño, fue casi nulo en el porcentaje de diferencia entre las familias extremas de 37 a 37.7% respectivamente al inicio del invierno.

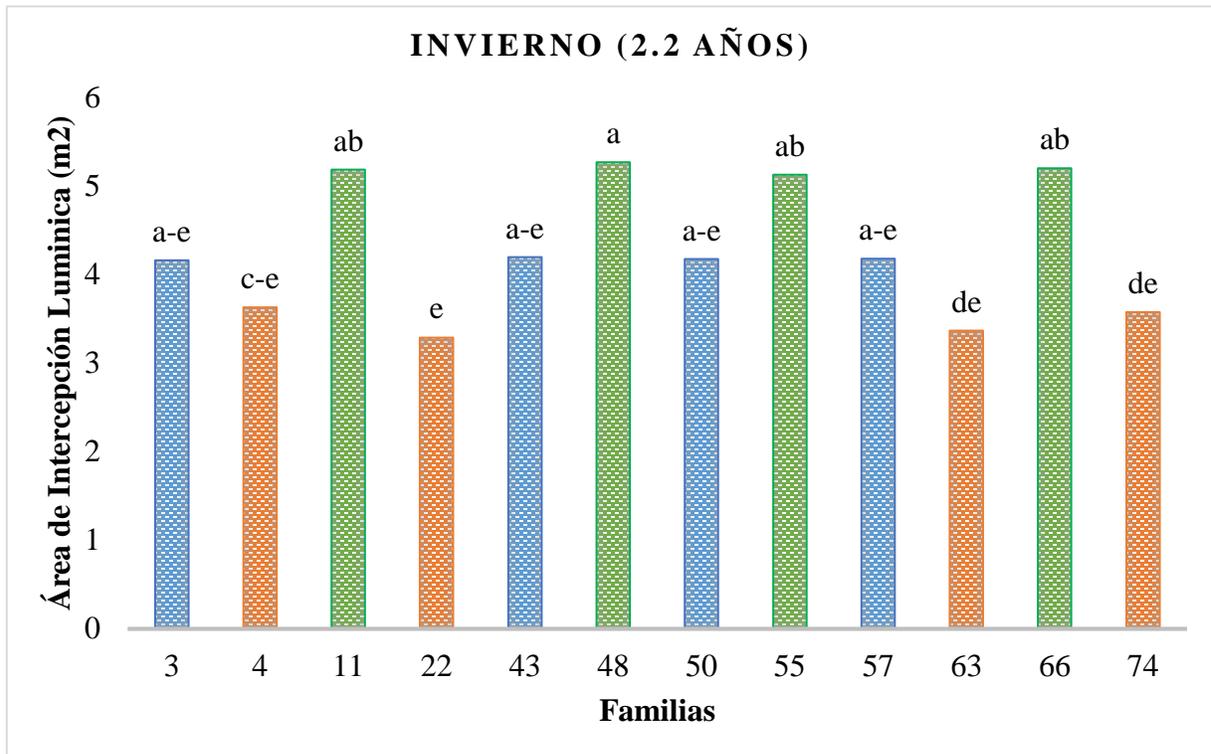


Figura 13. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.2 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio del invierno 2021.

La familia 11 con origen de Tlatlauquitepec, Puebla, tuvo al inicio de la primavera (2.4 años) el valor mayor del área de intercepción lumínica de la copa de los árboles con 6.3 m², mientras que la familia 22 con origen de Ahuazotepec, Puebla se ubicó en el extremo inferior con 3.9 m² (Figura 14). Habiendo la diferencia calculada de 2.4 m² que corresponde al 38.1% entre familias extremas, identificando un grupo de 28 familias que están por encima de la media general de la plantación con valor mayor a 4.9 m². La familia con mayor área de intercepción lumínica tuvo un incremento promedio de 1 m² en la estación de invierno. Además, se identificó que todas las familias en periodo invernal fue poco el porcentaje de diferencia en el aumento en el crecimiento en el área de intercepción lumínica de copa debido a que se aumentó el porcentaje de diferencia entre las familias extremas de 37.7 a 38.1% respectivamente en la evaluación del inicio de primavera.

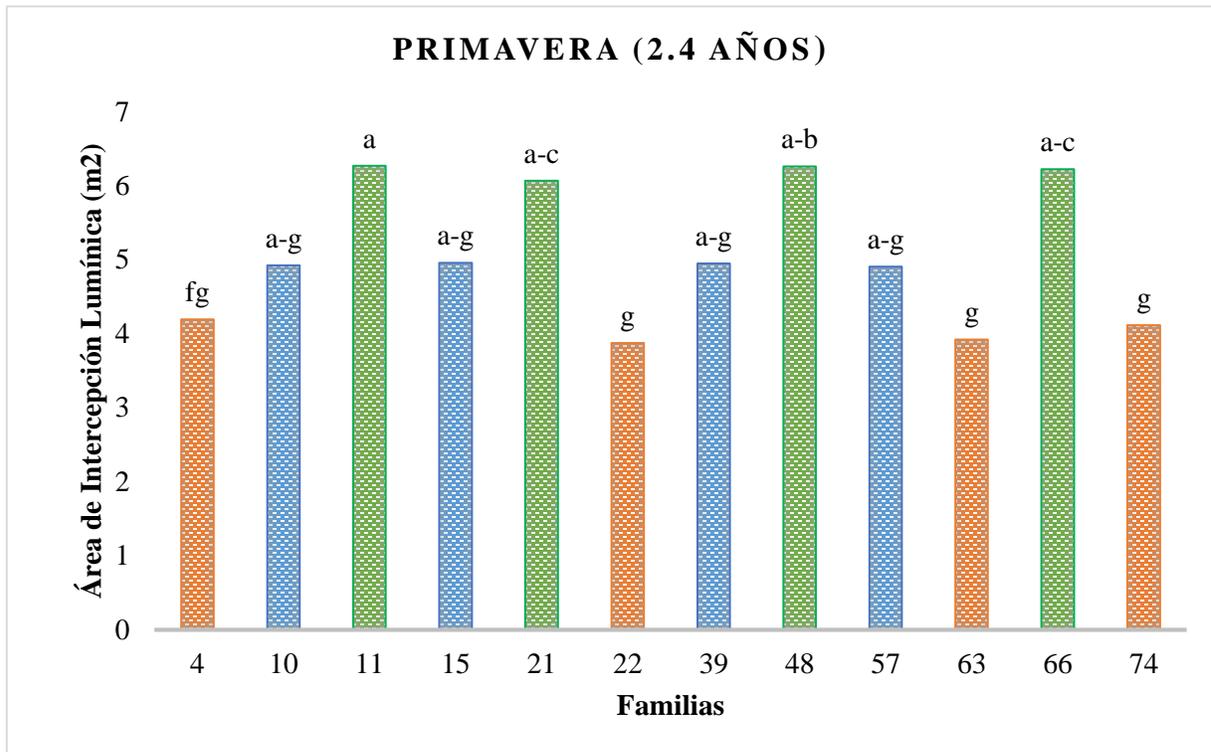


Figura 14. Valores promedio del área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de primavera 2022.

La familia 66 procedente de Tlahuiltepa, Hidalgo, presentó al inicio de verano el valor mayor del área de intercepción lumínica de la copa de los árboles (13.5 m^2), mientras que la familia 4 con origen de Tlatlauquitepec, Puebla, se ubicó en el extremo inferior con 8.6 m^2 a la edad de 2.7 años (Figura 15). Habiendo una diferencia calculada de 4.9 m^2 que corresponde al 36.3% entre familias extremas, identificando que un grupo de 26 familias están por encima de la media general de la plantación con valor mayor a 10.5 m^2 . En otras palabras, significa que la familia 66 tuvo el 22.2% más área de intercepción lumínica de copa comparada con la media general del ensayo de progenie al momento de la medición.

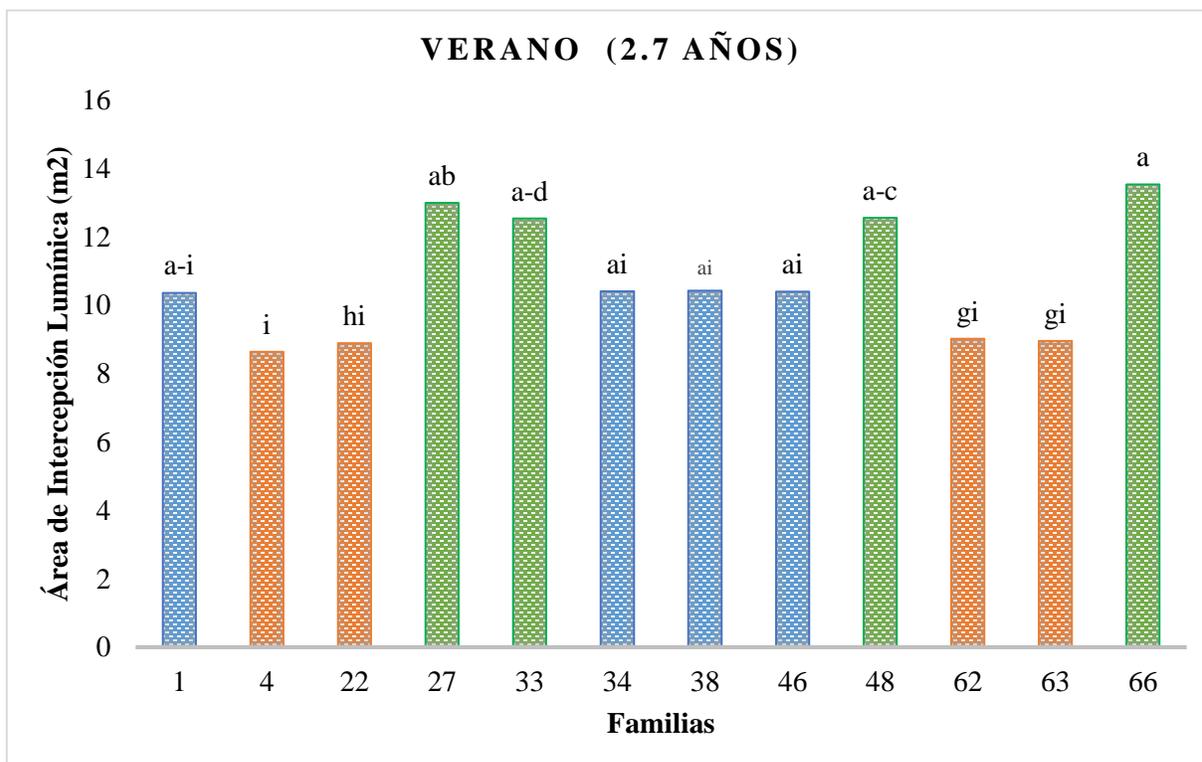


Figura 15. Valores promedio del área de intercepción lumínica de en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* a 2.7 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Verde), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Naranja) al inicio de verano 2022.

La familia 48 presentó resultados superiores en dos evaluaciones seguidas (otoño-invierno, 2021), quedando en el mismo grupo la familia 66 con el mayor crecimiento en altura en la última evaluación, ambas procedencias presentaron el valor de 8.4 m² de área de intercepción lumínica de copa. El 43.8% de las familias mantuvieron valores por encima de la media general, y el otro 56.2% permanecieron por debajo de dicho valor. Por último, se observó que las familias 4, 22 y 63 tuvieron los valores menores en las variables de altura total, diámetro normal y área de intercepción lumínica de la copa del árbol en toda la plantación.

Los resultados encontrados en este ensayo son superiores a los presentados por Rodríguez *et al.* (2009), en el estudio de variación en la cobertura de suelo en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* en el cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, reportaron que el valor máximo fue de 3 m² y el menor de 1.9 m² de área de intercepción lumínica de la copa en árboles de *P. greggii* a la edad de 4.5 años de plantados.

6.4 Análisis de correlación

6.4.1 Altura total con el diámetro normal

Los resultados del análisis de correlación mostraron ser altamente significativos ($P \leq 0.0001$) en cuanto a la relación que existe entre el crecimiento de la altura total con el incremento en diámetro normal de las 64 familias estudiadas de *P. patula* a la edad de 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años (Tabla 5).

La altura total del árbol está altamente correlacionada con el diámetro normal del mismo en edades tempranas, la correlación fue positiva (0.82203, 0.85882, 0.84150, 0.78607) y altamente significativa ($P \leq 0.0001$) a los 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años respectivamente, lo que indica que a mayor altura total de los árboles se tienen mayor diámetro normal. En otras palabras, ambas variables incrementan sus valores al mismo tiempo.

También se identificó que el valor de la correlación disminuye ligeramente a la edad de 2.7 años comparada con la edad de 1.9 años (0.78607, 0.82203 respectivamente). El crecimiento en altura se desarrolla primero más rápido debido a la competencia por la luz llegando a un punto en donde la altura deja de ser prioridad y después el árbol mejora los incrementos en diámetro (Romero, 2022).

Tabla 5. Resultados del análisis de correlación para la altura total con el diámetro normal en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Altura (otoño)	Diámetro (otoño)	Altura (invierno)	Diámetro (invierno)	Altura (primavera)	Diámetro (primavera)	Altura (verano)	Diámetro (verano)
Altura (otoño)	1	0.82203 <0.0001	-	-	-	-	-	-
Diámetro (otoño)	0.82203 <0.0001	1	-	-	-	-	-	-
Altura (invierno)	-	-	1	0.85882 <0.0001	-	-	-	-
Diámetro (invierno)	-	-	0.85882 <0.0001	1	-	-	-	-
Altura (primavera)	-	-	-	-	1	0.8415 <0.0001	-	-
Diámetro (primavera)	-	-	-	-	0.8415 <0.0001	1	-	-
Altura (verano)	-	-	-	-	-	-	1	0.78607 <0.0001
Diámetro (verano)	-	-	-	-	-	-	0.78607 <0.0001	1

6.4.2 Diámetro normal con área de intercepción lumínica de copa

Se encontró una correlación positiva altamente significativa ($P \leq 0.0001$) entre el diámetro normal con el área de intercepción lumínica de la copa del árbol en las 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* en cuatro mediciones a edad temprana (Tabla 6).

El diámetro normal de cada árbol en relación con el área de intercepción lumínica de la copa del mismo, presentaron la correlación positiva (0.66767, 0.74879, 0.73063, 0.71300) y altamente significativa ($P \leq 0.0001$) a los 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años respectivamente, lo que significa que al encontrar árboles con mayor diámetro normal estos tendrán mayor área de intercepción lumínica de copa y Viceversa.

Con los resultados de este estudio se puede decir que la especie de *P. patula* en etapas juveniles tiene una relación del diámetro normal con la superficie del área de intercepción lumínica de la copa del árbol, de modo que un árbol aumenta 9.3 mm de diámetro por año el

incremento en superficie del área de intercepción lumínica será cerca del 71.5% en el mismo tiempo.

Tabla 6. Resultados del análisis de correlación para el diámetro normal con el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Diámetro (otoño)	Área de Intercepción Lumínica (otoño)	Diámetro (invierno)	Área de Intercepción Lumínica (invierno)	Diámetro (primavera)	Área de Intercepción Lumínica (primavera)	Diámetro (verano)	Área de Intercepción Lumínica (verano)
Diámetro (otoño)	1	0.66767 <0.0001	-	-	-	-	-	-
Área de Intercepción Lumínica (otoño)	0.66767 <0.0001	1	-	-	-	-	-	-
Diámetro (invierno)	-	-	1	0.74879 <0.0001	-	-	-	-
Área de Intercepción Lumínica (invierno)	-	-	0.74879 <0.0001	1	-	-	-	-
Diámetro (primavera)	-	-	-	-	1	0.73063 <0.0001	-	-
Área de Intercepción Lumínica (primavera)	-	-	-	-	0.73063 <0.0001	1	-	-
Diámetro (verano)	-	-	-	-	-	-	1	0.713 <0.0001
Área de Intercepción Lumínica (verano)	-	-	-	-	-	-	0.713 <0.0001	1

6.4.3 Altura total con área de intercepción lumínica de copa

El análisis de correlación entre la altura total con el área de intercepción lumínica de la copa del árbol presentó correlación positiva altamente significativa ($P \leq 0.0001$). Lo que significa que los árboles con mayor altura tienen mayor superficie de área de intercepción lumínica de la copa del mismo (Tabla 7). De modo que al tener mayor superficie de área de intercepción lumínica en la copa genera mayor incremento en la altura total debido a que se conoce como la parte con mayor actividad fotosintética donde se absorbe la radiación lumínica y comprende la superficie lateral de la copa eliminando la superficie de sombra de la copa

(Jiménez *et al.*, 2002). En este estudio a la edad de 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años las correlaciones entre las variables antes mencionadas fueron de 0.83338, 0.86246, 0.86744, 0.87204 respectivamente.

Tabla 7. Resultados del análisis de correlación para la altura total con el área de intercepción lumínica de copa en el ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Fuente	Altura (otoño)	Área de Intercepción Lumínica (otoño)	Altura (invierno)	Área de Intercepción Lumínica (invierno)	Altura (primavera)	Área de Intercepción Lumínica (primavera)	Altura (verano)	Área de Intercepción Lumínica (verano)
Altura (otoño)	1	0.83338 <0.0001	-	-	-	-	-	-
Área de Intercepción Lumínica (otoño)	0.83338 <0.0001	1	-	-	-	-	-	-
Altura (invierno)	-	-	1	0.86246 <0.0001	-	-	-	-
Área de Intercepción Lumínica (invierno)	-	-	0.86246 <0.0001	1	-	-	-	-
Altura (primavera)	-	-	-	-	1	0.86744 <0.0001	-	-
Área de Intercepción Lumínica (primavera)	-	-	-	-	0.86744 <0.0001	1	-	-
Altura (verano)	-	-	-	-	-	-	1	0.87204 <0.0001
Área de Intercepción Lumínica (verano)	-	-	-	-	-	-	0.87204 <0.0001	1

7 CONCLUSIONES

En el ensayo de progenie de *Pinus patula* se encontró que son diferentes los árboles de las 64 familias en las variables de altura total, diámetro normal y área de intercepción lumínica de copa de los árboles, a la edad de 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años. Información que favorece para convertir el ensayo de progenie en huerto semillero a mediano plazo con la finalidad de obtener semilla con mayor calidad genética para la región.

Las familias con mayor promedio alcanzaron 363.1 cm, 31.5 mm y 13.5 m² de altura total, diámetro normal y área de intercepción lumínica de la copa respectivamente a la edad de 2.7 años de plantados. En altura y diámetro normal el 43% de las familias tuvo crecimientos por encima de la media general de la plantación. Referente al área de intercepción lumínica de la copa 29 familias rebasaron los valores promedio de la plantación (10.5 m²).

Las variables de altura total y el diámetro normal se correlacionaron positivamente con el área de intercepción lumínica de la copa de los árboles de 64 familias de *Pinus patula* en el ensayo de progenie a la edad de 1.9, 2.2, 2.4 y 2.7 años en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Lo que significa que los árboles con mayor altura y diámetro son árboles con mayor área de intercepción lumínica en la copa.

8 LITERATURA CITADA

Aguilera, R. (2001). *Pinus patula* Schl. et Cham. Ecología CONAFOR. Consultado en noviembre 2023. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf>.

Arguello Arias, H. (1991). La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. Revista Agronomía Colombiana. Vol. 8(2): 384-388. Consultado en enero 2024. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21129/22095>.

Autoridad Nacional del Ambiente (ANAM) (2014). Sistema de clasificación de la cobertura y uso de la tierra para el sistema nacional de monitoreo de los bosques, Panamá. Programa ONU-RED. Consultado en octubre 2023. Disponible en: <https://www.unredd.org/sites/default/files/202110/Sistema%20Clasificaci%C3%B3n%20de%20Cobertura%20y%20uso.pdf>.

Camacho Rebolledo, V. (1999). Evaluación de familias comunes de *Pinus patula* Schl. et Cham. Establecidos en dos ensayos de progenie. Foresta Veracruzana. Vol. 1(2): 19-24. Consultado en agosto 2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/497/49710204.pdf>.

Cardona, O. 2010. Algunos usos potenciales del *Pinus patula*. Consultado en febrero 2024. Disponible en: https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/FICHES_ARBRES/Pinus%20patula/Pino%20patula.pdf.

Carril Urria, E. (2009). Fotosíntesis: aspectos básicos. Universidad Complutense Madrid. Vol. 2(3): 1-47. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: <https://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/793>.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (1995). Manejo de recursos genéticos forestales. Documento presentado en el seminario-taller sobre manejo de recursos genéticos forestales en Universidad Autónoma Chapingo en la Universidad Autónoma Chapingo. Consultado en agosto 2023. Disponible en:

http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/3960Manejo_de_Recursos_Geneticos_Forestales.pdf.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) (2023). Manual de restauración forestal. CONAFOR. Consultado en octubre 2023. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/851270/Manual_de_restauraci_n_forestal_v_ersion_digital_compressed.pdf.

Corrado, A. (2014). Manejo forestal y diversidad genética de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham., en Sierra Juárez, Oaxaca. Consultado en agosto 2023, Revista Maderas y Bosques. Vol. 20(2): 11-22. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S140504712014000200002&script=sci_abstract&tlng=pt.

Courtis, A. (2014). Crecimiento y desarrollo, fisiología vegetal. (UNNA) Facultad de ciencias exactas y naturales. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Gu%C3%ADa%20de%20Estudio-Crecimientoydesarrollo.pdf>.

Dámaso Almanza, T. (2013). Distribución natural de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en el municipio de Villa del Carbón, México. Colegio de posgraduados, campus montecillo. Consultado en agosto 2023. Disponible en: http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/4246/Almanza_Tinoco_D_MT_Forestal_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Doruska, P., Burkhart, E. (1994). Modeling the diameter and locational distribution of branches within the crowns of loblolly pine trees in unthinned plantations. Canadian journal of forestry research, Vol. 24(12) 16-64. Consultado en noviembre 2023. Disponible en: <https://cdnscepub.com/doi/10.1139/x94-305>.

Dvorak, W. (2003). Genotype by environment interaction for volume growth at 6 years of age in a series of five *Pinus patula* progeny trials in southern Africa. Southern African Forestry Journal. Vol. 198(3): 3-15. Consultado en diciembre 2023. Disponible en: [10.1080/20702620.2003.1043170](https://doi.org/10.1080/20702620.2003.1043170).

Dvorak, W., Hodge, G., Kietzan, J., Osorio, L., Stanger, T. (2000). Conservation and testing the *Pinus patula* of tropical and subtropical forest tree especies by the CAMCORE Cooperative. Vol. 19(1) 148-173. Consultado en diciembre 2023. Disponible en: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20003029405>.

Fernández García, E (2018). Estudio de una prueba genética de *cedrela odorata*, establecida en “la pahua”, Colipa, Veracruz. Centro de investigaciones tropicales, Universidad Veracruzana. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: <https://www.uv.mx/met/files/2018/06/Eduardo-Garcia-Fernandez-marzo2018.pdf>.

Fernández Ocampo, N. (2014). Fotosíntesis. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Consultado en diciembre 2023. Disponible en: https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT110.pdf.

Flores Flores, C. (2014). Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies. Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Consultado en diciembre de 2023. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/19/0Manual%20Te%CC%81cnico%20para%20el%20Establecimiento%20de%20Ensayos.pdf>.

García Ramírez, E O., Alba Landa, J., Aparicio, A. (2001). Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie. Foresta Veracruzana. Vol. 3(1) 27-35. Consultado en agosto 2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/497/49730105.pdf>.

González Sánchez, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Revista Maderas y Bosques. Vol. 14(1) 107-121. Consultado en noviembre 2023. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v14n1/v14n1a8.pdf>.

Huerta, A., Nava Castro, S. Méndez, A. (2014). Diversidad genética de características en índices de áreas foliares en altas temperaturas en Tamaulipas. Revista fitotecnia mexicana. Vol. 37(3): 217-223. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-73802014000300006&script=sci_arttext.

Iglesias, L., Casas, J L. (2004). Avances en la evaluación de la diversidad genética de especies forestales. Universidad Veracruzana. Consultado en octubre 2023. Disponible en: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/1114/1/cuadbiod15_2.pdf.

Kohyama, T., Shin Ichiro, A. (1997). Crown architecture and life-history traits at 14 tree species in a warm temperature rain forest significance of spatial heterogeneity. *Journal of Ecology*. Vol. 8(5) 611-624. Consultado en enero 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/2960532>.

López Torres, J L., Tamaurit Urias, J C. (2005). Crecimiento e incremento en diámetro en bosques secundarios en Escárcega, Campeche, México. *Revista Chapingo*. Vol. 11(2) 117-123. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62911207.pdf>.

Miranda Alia, R. (2001). Ensayos de procedencias de *Pinus pinaster* Ait. en el centro de España. Vol. 10(2) 2-23. Consultado en diciembre 2023. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/28052702>.

Mondino, V. (2014). Variación geográfica y genética en caracteres adaptativos iniciales de *Nothofagus pumilio* Poepp. et Endl. Universidad Nacional de Buenos Aires. Consultado en noviembre 2023. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/144233166.pdf>.

Ospina, C., Hernández, R., Rincón, E., Urrego, J., Ramírez, C., Riano, N. (2011). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina, Colombia. Cenicafe Colombia. Consultado en enero 2024. Disponible en: 978-958-8490-09-0.

Otiniano Julca, O., Meneses Sevillano, L. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. Universidad Nacional Agraria, La Molina. Vol. 24(2) 49-61. Consultado en enero 2024. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292006000100009&script=sci_arttext.

Oviedo Azamar, M., López Upton, J., Vargas Hernández, J J., Plancarte Barrera, A. (2000). Evaluación de un ensayo de procedencias-progenies de *Pinus greggii* y su conversión a huerto semillero en una plantación de la localidad de Metepec, en el estado de Hidalgo. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Javier-Upton/publication/288834300_Evaluacion_de_un_ensayo_de_procedenciasprogenies_de_Pinus_greggii_y_su_conversion_a_huerto_semillero/links/5685ccc308ae1e63f1f36f41/Evaluacion-de-un-ensayo-de-procedencias-progenies.

Pearcy, R., Muraoka, H., Valladares, F. (2005). Crown architecture in sun and shade environments: Assessing function and trade-offs with a three-dimensional simulation model. *New Phytologist*. Vol. 166(3): 791-800. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: 10.1111/j.1469-8137.2005.01328.

Pelta Ramírez, F. (2009). Introducción básica a la fotosíntesis y características de especies. Estación experimental agropecuaria Bordenave. Consultado en agosto 2023. Disponible en: https://produccionanimal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/143-caracteristicas_forrajeras_megatermicas.pdf.

Pinazo Vega, M. (2010). Variación del área foliar específica en *Pinus elliottii* var. *Elliottii* Engelm. X *Pinus caribaea* var *hondurensis* Morelet. y su extrapolación al cálculo del área foliar proyectada. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata. Consultado en octubre 2023. Disponible en: https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131017/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Promis, A. (2013). Medición y estimación del ambiente lumínico en el interior del bosque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Vol. 19(1): 10-17. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.02.014>.

Ramos Hernández, J., Reyes Hernández, V J., Fierros González, A M., Rodríguez Barraza, G. (2022). Morfometría de copa en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* y *Pinus montezumae* en Michoacán, México. *Revista Maderas y Bosques*. Vol. 43(3): 59-66. Consultado en agosto 2023. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0717-92002022000300311&script=sci_arttext.

Rodríguez Laguna, R., Meza Rangel, J., Vargas Hernández, J., Jiménez Pérez, J. (2009). Variación en la cobertura de suelo en *Pinus greggi* Engelm. en el cerro el Potosí, Galeana, Nuevo León. *Revista Maderas y Bosques*, Vol. 15(1): 47-59. Consultado en agosto 2023.

Rodríguez Rivera, M. (2014). Propagación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl et Cham por estacas y acodos modificados. Postgrado en Ciencias Forestales, Campus Montecillo. Consultado en septiembre 2023. Disponible en:

http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/10521/2353/Rivera_Rodriguez_MO_MC_Forestal_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Romero Carreño, A. (2022). Correlación de diámetro-altura de árboles en la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta. *Revista Perspectivas Journal of Social Sciences*. Vol. 8(1): 1-19. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9184497>.

Salazar García, J., Vargas Hernández, J., Jasso Mata, J. Molina Galán, J. Ramírez Herrera, C., López Upton, J. (1999). Variación en el patrón de crecimiento en altura en especies de *Pinus* en etapas tempranas. *Revista Madera y Bosques*. Vol. 5(2): 19-34. Consultado en octubre 2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/617/61750203.pdf>.

Salaya Domínguez, J., López Upton, J., Vargas Hernández, J. (2012). Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Revista Agrociencia*. Vol. 46(5): 14-31. Consultado en febrero 2024. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000500009.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2009). Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Consultado en noviembre 2023. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/CG008969.pdf>.

Schomaker, Z. (1999). Tree Crown condition indicador the forest servicie. *Forest Health Monitoring Fact Sheet*. Consultado en febrero 2024. Disponible en: https://forestthreats.org/products/publications/Tree_Crown_Indicator.pdf

Silva Vargas, G. (2020). Biomecánica de los árboles: crecimiento, anatomía y morfología. *Revista Maderas y Bosques*. Vol. 25(3): 24-33. Consultado en septiembre 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712019000300300#B46.

Sterck Frank, J. (1999). Crown development in tropical rain forest trees in gaps and understorey. *Plant Ecology*. Vol. 14(3) 89-98. Consultado en octubre 2023. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009889414418>.

Talonia Ruiz, L F. (2010). Variación genética altitudinal entre procedencias de *Pinus patula* schldtl. & cham. en ensayos de vivero y campo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. Universidad

Michoacana. Consultado en agosto 2023. Disponible en: http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/1832.

Tang Zhenmin, J. (1999). Seasonal shoot and needle growth of loblolly pine responds to thinning, fertilization, and crown position. *Forest Ecology and Management*. Vol. 1(3) 117-130. Consultado en febrero 2024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112798005337>.

Torres López, J. (2005). Crecimiento e incremento en diámetro en masas forestales. *Revista Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. Vol. 11(3): 117-223. Consultado en octubre 2023. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/629/62911207.pdf>.

Wado, E. (2002). Crecimiento e incremento de árboles. Universidad Autónoma Chapingo. Consultado en agosto 2023. Disponible en: https://dicifo.chapingo.mx/pdf/publicaciones/crecimiento_e_incremento_pdf.

Valera, E. (2001). Ensayos de especies forestales. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Consultado en agosto 2023. Disponible en: <http://www.ula.ve/ciencias-forestales-ambientales/indefor/wp-content/uploads/sites/9/2017/01/Tema-9-PVEP.pdf>.

Vargas Silva, G. (2019). Biomecánica de los árboles, morfología y crecimiento del árbol. *Revista Maderas y Bosques*. Vol. 25(3): 16-29. Consultado en octubre 2023. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712019000300300.

Vargas Hernández, J., López Upton, J., Flores Marker, J., Barajas Peralta, A., González Vicente, C., (2017). Propuesta de mejora genética en apoyo a los programas de plantaciones forestales comerciales en el sureste de México. Asociación Mexicana de plantadores forestales. Consultado en febrero 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/246715/Estrategia_de_mejora_genetica_de_especies_para_PFC_en_el_sureste.pdf

Vega Pinazo, D. (2010). Variación del área foliar específica en *Pinus elliottii* var. *elliottii*. Universidad Nacional de La Plata. Consultado en diciembre 2023. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/131017/Documento_completo.pdf?sequence=1.

Vigo Islas, A. (2023). Órganos vegetales. Atlas de la histología vegetal. Consultado en enero 2024. Disponible en: https://mmegias.webs.uvigo.es/2-organos-v/guiada_o_v_inicio.php#:~:text=La%20ra%C3%ADz%20fija%20la%20planta,de%20crecimiento%20y%20a%20las%20ra%C3%ADces.