



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

---

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

T E S I S

“VARIACIÓN GENÉTICA EN CARACTERÍSTICAS  
DASOMÉTRICAS EN UN ENSAYO DE  
PROGENIE DE *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et  
Cham. EN HUAYACOCOTLA, VERACRUZ”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL**

**PRESENTA**

ERIKA NERI ROMERO

**DIRECTOR**

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

**CODIRECTORA**

DRA. JUANA FONSECA GONZÁLES

TULANCINGO DE BRAVO, HGO., MÉX., OCTUBRE 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

---

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

**T E S I S**

“VARIACIÓN GENÉTICA EN CARACTERÍSTICAS  
DASOMÉTRICAS EN UN ENSAYO DE  
PROGENIE DE *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et  
Cham. EN HUAYACOCOTLA, VERACRUZ”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL**

**PRESENTA**

ERIKA NERI ROMERO

**DIRECTOR**

DR. RODRIGO RODRÍGUEZ LAGUNA

**CODIRECTOR**

DRA. JUANA FONSECA GONZÁLEZ

**COMITÉ TUTORIAL**

M. EN C. DIANA GÓMEZ GARCÍA

DR. JOEL MEZA RANGEL

DR. RAMÓN RAZO ZÁRATE

TULANCINGO DE BRAVO, HGO., MÉX., OCTUBRE 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO  
Instituto de Ciencias Agropecuarias  
*School of Forestry and Environmental Studies*  
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales  
*Department of Agricultural Sciences and Forestry*

Tulancingo de Bravo, Hidalgo; a 01 de octubre 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 a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Erika Neri Romero**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“VARIACIÓN GENÉTICA EN CARACTERÍSTICAS DASOMÉTRICAS EN UN ENSAYO DE PROGENIE DE *Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. 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. Ramón Razo Zárate  
**VOCAL 1:** M. en C. Diana Gómez García  
**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,  
Exhacienda Aquetzalpa Tulancingo  
de Bravo, Hidalgo, México; C.P. 43600  
Teléfono: 771 71 72000 ext 2461  
alfredo\_madariaga@uaeh.edu.mx




[www.uaeh.edu.mx](http://www.uaeh.edu.mx)


La presente tesis titulada: “**Variación genética en características dasométricas en un ensayo de progenie de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Huayacocotla, Veracruz**” realizada por la pasante **Erika Neri Romero**, bajo la dirección del Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna y Codirectora Dra. Juana Fonseca González y el comité asesor indicado, ha sido aprobada por los mismos y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:


### LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

Comité asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna  
Director

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Juana Fonseca González  
Codirectora

  
\_\_\_\_\_  
M. en C. Diana Gómez García  
Asesor

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Joel Meza Rangel  
Asesor



  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ramón Razo Zárate  
Asesor

Ciudad Universitaria, Tulancingo, Hidalgo, México. Octubre, 2024.

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios quien ha sido mi guía y mi sostén a lo largo de esta trayectoria. Su presencia y su amor han sido la fuente de mi fortaleza y mi inspiración. Gracias por la oportunidad de estudiar, completar esta tesis y permitirme llegar a este momento importante de mi vida.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Rodrigo Rodríguez Laguna, por su invaluable guía y apoyo a lo largo de este proceso. Su vasta experiencia, sus conocimientos profundos y su dedicación han sido fundamentales para completar este trabajo de manera exitosa. Agradezco profundamente el tiempo y el esfuerzo que ha invertido en acompañarme y asesorarme a lo largo de este camino.

Le agradezco a mi codirectora, el Dra. Juana Fonseca González y a los miembros de mi comité asesor: Dr. Joel Meza Rangel, M.C. Diana Gómez García y el Dr. Ramón Razo Zárate, por su apoyo y por las sugerencias que han mejorado la calidad de mi investigación.

A mis amigas Daniela Aguilar Cid y Ana Karen Chico Mondragón por ayudarme con la toma de datos en campo.

Le 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, del cual se originó este proyecto de investigación.

---

## DEDICATORIA

A mis amados **padres** Celia Romero Arreola e Isaías Neri Vargas, quienes con su infinito amor paciencia y sacrificio han sido el pilar fundamental en mi formación académica y personal. Desde niña me han inculcado el valor del esfuerzo y la perseverancia. Gracias por creer en mí y por su apoyo incondicional a lo largo de este recorrido. Este logro es tan suyo como mío. Los amo.

A mis **hermanas** Roció, Lourdes, Fabiola y Minerva, por su apoyo inquebrantable, por ser mi fuente de inspiración, por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más desafiantes de este proceso, por creer en mí y celebrar conmigo cada pequeño triunfo en este camino.

A mi **compañero de vida** José Guadalupe Escorcía Solís, porque ha sido mi roca y mi apoyo incondicional a lo largo de este desafiante pero gratificante proceso. Gracias, porque desde el primer momento en que decidí embarcarme en esta aventura académica, has estado a mi lado, brindándome tu aliento, tu paciencia y tu comprensión. Te amo con todo mi corazón.

A mis **amigas** Daniela Aguilar Cid, Ana Karen Chico Mondragón y Angélica Suarez Torres, por haber recorrido conmigo el camino del aprendizaje tanto dentro de las aulas como fuera de ellas. Gracias por su apoyo incondicional. Cada una de ustedes ocupa un lugar especial en mi corazón y me siento afortunada de tenerlas en mi vida.

---

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INDICE DE CUADROS .....</b>	<b>III</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IV</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VI</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
2.1. Objetivo General .....	4
2.2. Objetivos específicos .....	4
2.3. Hipótesis.....	4
<b>3. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
3.1. Taxonomía de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. et Cham. ....	5
3.2. Descripción botánica .....	5
3.3. Fenología .....	6
3.4. Propagación.....	7
3.5. Dispersión y polinización .....	7
3.6. Importancia y usos de la especie .....	7
3.7. Distribución .....	8
3.8. Crecimiento e incremento de los arboles.....	8
3.8.1. Patrones de crecimiento en altura .....	8
3.8.2. Medición de la altura de los arboles .....	9
3.8.3. Métodos para la medición de alturas .....	10
3.8.4. Crecimiento en diámetro .....	11
3.9. Ensayos de progenie .....	11
3.10. Antecedentes de ensayos de progenie.....	11
3.11. Variabilidad genética.....	15
3.11.1. Causas y tipos de variabilidad .....	15
3.11.1.1. Variación ambiental .....	15
3.11.1.2. Variabilidad genética .....	16
3.12. Interacción genotipo-ambiente .....	16
3.13. Variación genética y sus tipos .....	17
3.14. Variación fenotípica.....	18

3.15. Variación geográfica .....	18
3.16. Parámetros genéticos .....	18
3.17. Heredabilidad .....	19
3.18. Calidad de sitio .....	21
<b>4. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>22</b>
4.1. Origen del germoplasma .....	22
4.2. Ubicación del ensayo de progenie .....	23
4.3. Producción de planta .....	24
4.4. Descripción del área de estudio .....	25
4.5. Establecimiento .....	25
4.6. Diseño experimental.....	25
4.7. Medición de las características dasométricas.....	26
4.8. Altura total.....	26
4.9. Diámetro normal (DN).....	27
4.10. Presencia de estróbilos femeninos y masculinos.....	28
4.11. Análisis estadístico.....	29
<b>5. RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
5.1. Altura total.....	31
5.2. Diámetro normal .....	36
5.3. Presencia de estróbilos.....	41
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>45</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Niveles de heredabilidad según Stanfield (1971).....	19
<b>Cuadro 2.</b> Procedencia y número de árboles superiores de donde se recolectó germoplasma (progenies) para el establecimiento del ensayo de progenie de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver.....	23
<b>Cuadro 3.</b> Resultados del análisis de varianza de altura total e incremento en 64 familias del ensayo de progenie de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. ....	31
<b>Cuadro 4.</b> Resultados de componentes de varianza en altura total e incremento de altura en 64 familias en un ensayo de progenie de <i>P. patula</i> plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. ....	35
<b>Cuadro 5.</b> Resultados del análisis de varianza de diámetro normal e incremento en 64 familias del ensayo de progenie de <i>P. patula</i> en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. ....	36
<b>Cuadro 6.</b> Resultados de componentes de varianza en diámetro normal e incremento del mismo en 64 familias en un ensayo de progenie de <i>P. patula</i> plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. ....	40
<b>Cuadro 7.</b> Porcentaje de flores femeninas y masculinas en 64 familias del ensayo de progenie de <i>P. patula</i> en el Ejido Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz a 3.4 años de plantadas. ....	43

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Origen de 64 familias de *P. patula* en la zona centro de su distribución natural. Fuente: Elaboración propia 2024. .... 22
- Figura 2.** Ubicación del ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, México. Fuente: Elaboración propia, 2024 ..... 24
- Figura 3.** Diseño experimental del ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en 21 bloques completamente al azar en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, establecido el 14 de octubre de 2019..... 26
- Figura 4.** Medición directa de la altura de los árboles de *P. patula* del ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla Veracruz. .... 27
- Figura 5.** Medición directa del diámetro de los árboles de *P. patula* en el ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla Veracruz, con ayuda de un calibrador con precisión al milímetro. .... 28
- Figura 6.** Estróbilos femeninos (A) y masculinos (B) en los individuos de *P. patula* del ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla, Veracruz. .... 29
- Figura 7.** Valores promedio en altura total en 64 familias del ensayo de progenie 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 (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris). .... 32

**Figura 8.** Valores promedio en altura total en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* a 3.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).  
..... 33

**Figura 9.** Valores promedio en diámetro normal en 64 familias del ensayo de progenie 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 (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).  
..... 37

**Figura 10.** Valores promedio en diámetro normal en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* a 3.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).  
..... 39

## RESUMEN

Los árboles poseen la capacidad de transmitir características a su descendencia, esto ha permitido la realización de ensayos de procedencia y progenie para comparar el comportamiento y productividad de diferentes poblaciones. Estos ensayos a largo plazo permiten evaluar la respuesta de la descendencia y valorar a los progenitores a lo largo de diferentes edades para la mejora genética. Por ello el objetivo de este estudio fue determinar el nivel de variación genética en las características dasométricas y producción de estróbilos femeninos y masculinos de un ensayo de progenie de *Pinus patula* de 3.4 años. El ensayo de progenie se estableció en octubre de 2019 en un terreno agrícola con una superficie de 1.25 hectáreas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, se utilizó un diseño de bloques completamente al azar de 21 bloques con 64 familias, el método que se empleó para su plantación fue de cepa común en marco real con distancia entre planta y planta de 3 x 3 m. A la edad de 2.4 y 3.4 años se midió en campo la altura total y el diámetro normal de cada árbol, y a la edad de 3.4 años de manera visual se identificaron los árboles con presencia de estróbilos femeninos y masculinos. Los datos obtenidos en ambas mediciones se sometieron al análisis de varianza, prueba de comparación de medias Tukey y componentes de varianza, para la presencia de estróbilos se sometió al análisis de frecuencias. Los resultados muestran que existen diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ) en las variables de altura total, diámetro normal entre las 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula*. La familia 66 tuvo el mayor valor en altura (270.2 cm) y 27 familias presentaron valores por encima de la media general (243.31 cm) a la edad de 2.4 años. En ese mismo sentido a la edad de 3.4 años fueron 30 las familias que se encuentra por arriba de la media general (406.18 cm) lo que representa el 46.9%, sin embargo, en este año quien superó a todas las familias en altura fue la familia 21 (449.79 cm). Se debe señalar que el promedio del incremento en altura de 64 familias en un ensayo de progenie de *P. patula* durante un año fue de 162.9 cm. De igual manera se encontró que el 8.8% de la variación encontrada en la altura total se refiere a la variación genética y el 91.2% se refiere al error de muestreo. En cuanto al diámetro de los árboles a la edad de 2.4

alrededor de 24 familias (37.5%) se encontraban por encima de la media general (2.5 cm), la familia 48 obtuvo el mejor desarrollo en diámetro (3.1 cm). Pero a la edad de 3.4 años el porcentaje que se encontraba sobre la media general (5.27 cm) aumentó al 46.9% (30 familias) y en este año la familia que alcanzó el diámetro mayor fue la familia 66 (6.28 cm) dejando en segundo lugar a la familia 48 (6.02 cm). El incremento promedio en diámetro normal fue de 2.75 cm. Además, se encontró que el 10.3% se refiere a la variación genética y el 89.7% al error de muestreo. En lo que refiere a las familias que presentaron mayor porcentaje de estróbilos femeninos fue la familia 5 (61.9%) y la familia 35 (57.14%) y las familias sin presentar estróbilos femeninos fueron la familia 44 y 46. Asimismo la familia 35 y 39 fueron las que presentaron el 95.2% de estróbilos masculinos, y la familia 4, 18 y 61 presentaron el menor porcentaje (14.29%). Se concluye que existe variación genética en las características dasométricas a la edad de 3.4 años de establecidas. La familia 21 (449.8 cm) superó a la familia 74 (379.1 cm) con un 15.7% entre familias extremas. En diámetro la familia 66 (6.3 cm) superó a la familia 49 y 59 (4.7 cm), entre familias extremas la diferencia calculada fue de 25.4%. El crecimiento promedio en altura obtenido durante 1 año (2.4 a 3.4 años) fue de 162.9 cm; respecto al incremento del diámetro normal el promedio fue de 2.8 cm. La variación genética en las características dasométricas a los 3.4 años en el ensayo de progenie se debió principalmente al error de muestreo 91.2% para altura y para el diámetro 89.7%. Las 64 familias presentaron estróbilos masculinos (algunas con mayor porcentaje que otras), sin embargo, en dos familias (44 y 46) ninguno de sus árboles presentó estróbilos femeninos a la edad de 3.4 años de plantados.

**Palabras clave:** componente de varianza, diámetro normal, ensayo de procedencia, heredabilidad, incremento anual.

## ABSTRACT

Trees have the ability to transmit traits to their offspring, which has allowed the development of provenance and progeny trials to compare the behavior and productivity of different populations. These long-term trials allow evaluating the response of the offspring and assessing the progenitors over different ages for genetic improvement. Therefore, the objective of this study was to determine the level of genetic variation in the dasometric characteristics and production of female and male stromata of a 3.4 year old *Pinus patula* progeny trial. The progeny trial was established in October 2019 in an agricultural land with an area of 1.25 hectares in the ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, a completely randomized block design of 21 blocks with 64 families was used, the method used for its planting was common vine in real frame with distance between plant and plant of 3 x 3 m. At the age of 2.4 and 3.4 years, the total height and normal diameter of each tree were measured in the field, and at the age of 3.4 years, the trees with the presence of male and female stromata were visually identified. The data obtained in both measurements were subjected to analysis of variance, Tukey mean comparison test and components of variance, and for the presence of stromata were subjected to frequency analysis. The results show that there are significant statistical differences ( $P \leq 0.0001$ ) in the variables of total height, normal diameter among the 64 families of the *P. patula* progeny trial. Family 66 had the highest value in height (270.2 cm) and 27 families presented values above the general mean (243.31 cm) at the age of 2.4 years. In the same sense, at the age of 3.4 years, 30 families were above the general mean (406.18 cm), which represents 46.9%; however, in this year, the family that surpassed all families in height was family 21 (449.79 cm). It should be noted that the average increase in height of 64 families in a progeny trial of *P. patula* during one year was 162.9 cm. Similarly, it was found that 8.8% of the variation found in total height refers to genetic variation and 91.2% refers to sampling error. Regarding the diameter of the trees at the age of 2.4 about 24 families (37.5%) were above the general mean (2.5 cm), family 48 obtained the best development in diameter (3.1 cm). But at the age of 3.4 years the

percentage above the general mean (5.27 cm) increased to 46.9% (30 families) and in this year the family that reached the largest diameter was family 66 (6.28 cm) leaving in second place family 48 (6.02 cm). The average increase in normal diameter was 2.75 cm. In addition, it was found that 10.3% refers to genetic variation and 89.7% to sampling error. The families with the highest percentage of female stromata were family 5 (61.9%) and family 35 (57.14%) and the families with no female stromata were family 44 and 46. Likewise, family 35 and 39 had 95.2% of male stromata, and family 4, 18 and 61 had the lowest percentage (14.29%). It is concluded that there is genetic variation in the dasometric characteristics at the age of 3.4 years of establishment. Family 21 (449.8 cm) outperformed family 74 (379.1 cm) with 15.7% between extreme families. In diameter, family 66 (6.3 cm) surpassed family 49 and 59 (4.7 cm); between extreme families the calculated difference was 25.4%. The average growth in height obtained during 1 year (2.4 to 3.4 years) was 162.9 cm; with respect to the increase in normal diameter, the average was 2.8 cm. The genetic variation in the dasometric characteristics at 3.4 years in the progeny trial was mainly due to the sampling error 91.2% for height and 89.7% for diameter. All 64 families presented male stromata (some with higher percentage than others), however, in two families (44 and 46) none of their trees presented female stromata at the age of 3.4 years after planting.

**Key words:** variance component, normal diameter, provenance test, heritability, annual increment.

## 1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se prevé que la producción forestal maderable para el año 2050 provenga en mayor medida de plantaciones forestales, sin embargo, los bosques comunitarios solo abarcan el 40% de la superficie por lo cual aportarán menos de la quinta parte de la demanda, mientras que las plantaciones con sólo el 3% y los bosques secundarios con el 17%, contribuirán cada una con dos quintas partes de los 3,000 millones de metros cúbicos que estima la demanda mundial para esa fecha (Elizondo, 2009). La producción nacional de madera únicamente satisface una tercera parte del consumo interno en México (CONAFOR, 2014; SEMARNAT, 2017). Durante el periodo de 1993-2017 diez entidades federativas de México como son Chiapas, Chihuahua, Durango, Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca y Puebla concentraron en promedio 86% de la producción forestal nacional. A pesar de esta aparente riqueza forestal, la balanza comercial muestra un déficit cada vez mayor de productos forestales, debido a que la producción nacional (7.5 millones m<sup>3</sup>) es insuficiente para satisfacer la demanda, ya que se produce menos madera de la que se consume (27.3 millones m<sup>3</sup>) y el resto se satisface a través de importaciones (CONAFOR, 2024).

En el país, las plantaciones forestales comerciales aún representan una proporción baja en términos de superficie, si se les compara con los bosques naturales. Participan, con el 5% de la producción de madera con respecto de la producción de los bosques naturales del país (López y Caballero, 2018). Debido a lo anterior, en México hay el interés creciente de establecer programas de mejoramiento genético que contemplen el establecimiento de huertos semilleros (Aparicio-Rentería *et al.*, 2013) para posteriormente establecer plantaciones especiales a partir de árboles fenotípicamente superiores establecidos con la finalidad de obtener semilla genéticamente mejorada para producir plantas de calidad que se requieren en programas de reforestación y plantaciones comerciales con mayor productividad y adaptadas a su ambiente (Espinel Hernández *et al.*, 2017).



De tal manera que se ha comprobado que los árboles poseen la capacidad para transmitir características a su descendencia (Ortiz *et al.*, 2021). Es por ello, que el establecimiento de ensayos de procedencia por especie es el procedimiento experimental más empleado para comparar el comportamiento y productividad de semillas provenientes de diferentes poblaciones de sitios y ambientes. Después se emplean los ensayos de progenie que garantizan el proceso de mejora genética de la especie (White *et al.*, 2007), a través de establecer experimentos con el diseño de bloques completamente al azar (Vargas y López, 2004) que permite minimizar el efecto de la variabilidad en las unidades experimentales (como el caso del suelo) debido a que se busca que estos sean lo más homogéneo posible (Littell *et al.*, 2006).

El género *Pinus* es de gran importancia ecológica, económica y social, debido a su rápido crecimiento y su madera de calidad, también influye en los procesos funcionales del ecosistema como son los ciclos bioquímicos, hidrológicos, es hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre. Para la sociedad genera alto valor económico, es fuente de madera, leña, pulpa, resina, semillas comestibles, de igual manera ofrece importantes servicios ambientales como agua, oxígeno, recreación, captura de carbono y tiene influencia en el clima de la región (García y González, 2003; Ramírez *et al.*, 2005).

La especie de *P. patula* es de gran importancia económica en el sector forestal tanto en distribución natural como en plantaciones, debido a que es una de las especies de mayor productividad (Vela, 1980; Styles, 1993) y tiene la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones climáticas y a suelos no forestales. Es una conífera nativa de México, con amplia distribución en la Sierra Madre Oriental, principalmente en los estados de Hidalgo, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Tlaxcala en altitudes que van de los 1,600 a 3,100 msnm (Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000; Nyoka, 2002, Escobedo, 2023). Esta especie llega a tener incrementos de 10 a 25 m<sup>3</sup> / ha / año dependiendo si crece por regeneración natural o en plantaciones comerciales, así como de la edad, densidad e índice de sitio (Morales *et al.*, 2013; Ramírez-Martínez *et al.*, 2020). En Zacualpan, Veracruz

se ha reportado la productividad en plantaciones de 17.9 m<sup>3</sup> / ha / año (Parras-Piedra *et al.*, 2017). En México se han establecido cerca de 10,000 hectáreas como plantación forestal comercial principalmente en el estado de Veracruz.

La finalidad de los ensayos de progenie a mediano y largo plazo, es valorar a los progenitores con base en la respuesta de su descendencia (White *et al.*, 2007) y son evaluados por lo menos a mitad del turno comercial, en el caso de *P. patula* son 10 años. Sin embargo, es importante dar seguimiento a la plantación en diferentes edades que permita estimar parámetros de utilidad para la toma de decisiones en un programa de mejora genética. En la zona de Huayacocotla, Veracruz, la silvicultura es de las principales actividades económicas y se tiene poco conocimiento en el mejoramiento genético de los bosques de pino, a través de un ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua a edad temprana se pretende generar información que ayude al mejoramiento genético de la especie para impactar de manera positiva en la genética de los bosques de la zona y aumenten la productividad de la madera. El ensayo de progenie de *P. patula* con el tiempo se convertirá en huerto semillero (Flores *et al.*, 2014) para abastecer de semilla a los viveros locales para producir planta con características de rápido crecimiento, fuste recto, autopoda y mayor volumen de madera. Los silvicultores se beneficiarán ya que los turnos de aprovechamiento serán más cortos y aumentara la producción de madera.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo General

Determinar el nivel de variación genética en las características dasométricas y producción de estróbilos femeninos y masculinos de un ensayo de progenie de *Pinus patula* de 3.4 años de establecido en campo en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

### 2.2. Objetivos específicos

- Determinar la variación en altura total y diámetro normal en 64 familias en un ensayo de progenie de *Pinus patula*.
- Estimar el incremento en altura total y diámetro normal en 64 familias en un ensayo de progenie de *Pinus patula* en el periodo de un año.
- Identificar las familias con mayor presencia de estróbilos femeninos y masculinos en el ensayo de progenie de *Pinus patula* a la edad de 3.4 años.

### 2.3. Hipótesis

Las familias de árboles de *Pinus patula* establecidas en el ensayo de progenie presentan variación en crecimiento y presencia de estróbilos femeninos y masculinos a la edad de 3.4 años.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Taxonomía de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

En México se encuentran 4 de las 6 familias existentes de coníferas (Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae). Dentro de la familia Pinaceae se encuentran cuatro géneros (*Abies*, *Picea*, *Pinus* y *Pseudotsuga*). El género más representativo de México es *Pinus* con 49 de 120 especies reportadas en el mundo. Se tiene registro que el género *Pinus* cuenta con 12 especies que se distribuyen de manera natural en el estado de Hidalgo, dentro de las cuales esta *P. patula* (Farjon y Styles, 1997; Gernandt y Pérez, 2014; Espinoza-Pelcastre *et al.*, 2018).

Clasificación taxonómica de *P. patula*:

**Reino:** Plantae

**Filo:** Tracheophyta

**Clase:** Pinopsida

**Orden:** Pinales

**Familia:** Pinaceae

**Género:** *Pinus*

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

#### 3.2. Características y descripción botánica

Wormald (1975) comenta que *Pinus patula* a nivel nacional es conocido como pino llorón y en las zonas de distribución natural se le conoce como pino chino u ocote colorado. Considerada como especie forestal con mayor velocidad de crecimiento (Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000; Nyoka, 2002; Pérez-Luna *et al.*, 2024) y debido a sus excelentes características y su buen potencial productivo es reconocida como especie prioritaria en México para implementar programas de mejora genética. La madera es de excelente calidad, debido a que está libre de nudos y tiene bajo

contenido de resina (Nyoka, 2002). Se utiliza como madera aserrada ya que se trabaja con facilidad, se utiliza para elaborar postes, durmientes, pilotes, armaduras, vigas, cajas de empaque y acabados de interiores y exteriores. De igual manera se utiliza como pulpa para papel (CONAFOR, 2024).

Esta especie alcanza alturas de 40 m y diámetros que van desde los 50 a 90 cm, su corteza es gruesa, rugosa, escamosa y color café-rojiza, sus hojas se encuentran unidas en grupos de 3, 4 o hasta 5 por fascículo, en ejemplares de Molango, Hidalgo, Puebla y Perote, Veracruz es más frecuente la cifra de 4, con un largo de 15 a 30 cm y un ancho de 0.7 a 1 mm, son delgados y colgantes o algo extendidas, son de color verde claro brillante, con los bordes finamente aserrados y los dientecillos muy finos (regularmente en pinos mexicanos). Cuenta con conos largamente cónicos, sésiles, un poco encorvados con longitud de 7 a 12 cm y son de color amarillo ocre con tinte rojizo lustroso y café amarillento cuando estos maduran, además son tenazmente persistentes y seróticos (Perry, 1991; Farjon y Styles, 1997).

Las semillas son pequeñas, de forma triangular de color marrón a negruzco, con longitud de entre 3 y 5 mm, posee un ala que las recubre con longitud de 2 cm de largo y 1 cm de ancho (Espinel Hernández *et al.*, 2017).

### **3.3. Fenología**

La especie florece tempranamente y comúnmente los estróbilos femeninos aparecen al tercer año, los masculinos al cuarto año y las semillas viables a partir del quinto año (Espinel Hernández *et al.*, 2017). Sin embargo, luego del cuarto año hay una producción de pequeños conos llamados microestróbilos, los cuales eventualmente son abortados y la producción de conos se estabiliza entre los 8 y 10 años.

Los conos donde van las semillas se desarrollan en periodos de entre 22 a 30 meses, los cuales maduran durante los meses de octubre-noviembre (invierno). La recolección de conos se realiza durante la época seca para facilitar su apertura.

Cada uno pesa en promedio de 36 a 50 g y el número de semillas por cono es de 200 a 300 (Ospina *et al.*, 2011).

### **3.4. Propagación**

La propagación de esta especie es sexual (semilla), aunque también se ha encontrado que tienen la capacidad para propagarse de manera vegetativa (Rentería *et al.*, 2014) por esquejes, varetas, acodos, injertos y estacas, por lo tanto, las partes vegetativas útiles son las ramillas, las cuales deben recolectarse del tercio superior del árbol madre en la época de latencia meristemática (Conafor, 2024).

### **3.5. Dispersión y polinización**

La dispersión de sus semillas es anemófila igual que su polinización. La cual se da de manera abierta y se define como la nube de polen generada por una plantación, en este caso de diferentes familias, en donde se conoce a la madre mas no al padre (Ipinza, 1998).

### **3.6. Importancia y usos de la especie**

*P. patula* es de gran importancia económica en el sector forestal tanto en su distribución natural como en plantaciones alrededor del mundo, es una especie de rápido crecimiento (Vela, 1980; Styles, 1993, Pérez-Luna *et al.*, 2024) y se utiliza en los programas de reforestación debido a su gran abundancia y productividad y no solo en madera sino también en captura de carbono (Romo *et al.*, 2014). Es una especie que sobrevive a incendios de baja intensidad y cuando hay incendios superficiales se regenera rápidamente debido a que sus conos son serótimos, es resistente a las heladas y a algunas plagas y enfermedades (Ruiz, 2010). En el país es una fuente de materia prima muy importante para la industria maderera (Castelán y Arteaga, 2009) debido a la excelente calidad de su troza, fuste recto y capacidad de poda natural (Velázquez *et al.*, 2004; Escobar-Sandoval *et al.*, 2018)

así como también se utiliza en la elaboración de pulpa para papel (Castelán y Arteaga, 2009).

### **3.7. Distribución**

*P. patula* es una especie originaria de México y se distribuye naturalmente sobre las montañas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, principalmente en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Tlaxcala; sin embargo, en los estados de Hidalgo, Puebla y Veracruz se localizan las poblaciones más grandes y mejor desarrolladas. Se encuentra en altitudes que van de los 1600 a 3100 msnm y es considerada una especie templada-subtropical con precipitaciones anuales que van de 1000 a 1500 mm, que generalmente se desarrolla en ambientes forestales nubosos y en suelos bien drenado y profundos (Perry, 1991; Dvorak *et al.*, 2000; Nyoka, 2002).

### **3.8. Crecimiento e incremento de los arboles**

El crecimiento de los árboles se refiere al cambio sucesivo de diámetro, altura y área basal, los que a su vez modifican el volumen y la masa de los individuos; sin embargo, aquí influye mucho el origen de la especie y el entorno ambiental (Smith *et al.*, 1992).

El incremento de un árbol se refiere al aumento de tamaño en un determinado periodo de tiempo. Este crecimiento se refiere a la división, alargamiento y engrosamiento celular que ocasiona que los árboles cambien de peso, volumen y forma (Achinelli *et al.*, 2013).

#### **3.8.1. Patrones de crecimiento en altura**

Salazar *et al.* (1999) describe tres patrones principales de crecimiento en altura y uno más que se da en condiciones anormales:

**Crecimiento libre:** es un crecimiento indeterminado que se presenta en la fase inicial de la vida del árbol y se relaciona más con el ambiente que con el genotipo de la planta. En este crecimiento la plántula forma y elonga todas sus células para formar condiciones ambientales locales.

**Crecimiento fijo:** resultado de la elongación de las unidades de crecimiento que previamente han sido formadas en una yema que se originó al final de la estación de crecimiento, lo cual constituye una estrategia de adaptación para enfrentar las bajas temperaturas.

**Crecimiento fijo-libre:** consiste en la separación de la elongación anual del brote en dos etapas durante la estación de crecimiento, el primer crecimiento se origina de las células preformadas en la yema que estuvo en latencia durante el invierno y el otro de nuevas células formadas en una yema incospicua o no, posterior a la yema invernal, en este cada año, se elongan varios ciclos sucesivos, formando yemas no invernales.

**Crecimiento fijo-fijo:** consiste en la elongación tardía de una yema terminal formada durante la misma estación de crecimiento, pero interrumpió su reposo debido a alguna alteración en la fisiología de la planta, causada por las condiciones ambientales anormales. Es el menos frecuente y por lo general se presenta en condiciones de estrés.

### 3.8.2. Medición de la altura de los árboles

Cuando se señala a la altura de un árbol se refiere a la distancia lineal de su eje principal, desde el nivel del suelo hasta su límite superior (Wabo, 2002). La medición de la variable altura es importante ya que con esta es posible estimar otras variables (masa, volumen de madera y volumen de leñas o biomasa) de un árbol individual. Las alturas de los árboles también se emplean para: obtener curvas de altura de masas en donde relacionan la altura con el diámetro normal del árbol, también se utiliza en la silvicultura para clasificar una masa regular por su jerarquía o estatus sociológico (Biblioteca UMAR, 2024).



La altura se mide según sea el límite superior que se considere (Wabo, 2002):

- **Altura total:** el límite superior es el punto más alto de la copa.
- **Altura del fuste:** su límite superior es donde finaliza el fuste.
- **Altura comercial:** el límite superior es el extremo de la última parte comercialmente útil de todo el árbol.
- **Altura del tocón:** su límite superior es el límite superior del tocón.

### 3.8.3. Métodos para la medición de alturas

Método directo: es necesario acudir al lugar y los procedimientos que más se utilizan son la escalada del árbol y el empleo de jalones y pértigas telescópicas (Biblioteca UMAR, 2024).

Método indirecto: la medición se realiza a distancia y se clasifica en 6 categorías, de acuerdo al procedimiento de estimación de altura en la que se basan los aparatos o métodos que se utilicen:

1. Método elemental: método ocular, de la sombra arrojada y del espejo.
2. Cruz de hachero: aparato que obliga a posicionarse a una distancia igual a la altura del árbol.
3. Las reglas hipsométricas y el dendrómetro de Kramer son aparatos que permiten estacionarse a una distancia cualquiera conocida.
4. Los aparatos como la plancheta obligan a estacionarse a distancias horizontales predeterminadas.
5. Los aparatos que obligan a estimar la altura a cualquier distancia conocida son la plancheta hipsométrica, el hipsómetro Suunto, Blume-Leiss, la pistola haga y el relascopio Bitterlich.
6. Aparatos que permiten colocarse a cualquier distancia conocida: clinómetros, nivel de Abney, dendrómetros ultrasónicos o por impulsos laser.

#### **3.8.4. Crecimiento en diámetro**

El diámetro normal, medido a una altura de 1.3 m de la superficie del suelo, es la medida más utilizada en una evaluación forestal, ya que esta proporciona datos para calcular áreas basales y volúmenes (Avery y Burkhart, 1994), de igual manera con esta medición se puede observar si el diámetro del árbol está creciendo adecuadamente con respecto a la altura (Mendoza-Aguilar, 2018).

Los instrumentos más utilizados para medir el diámetro normal son cinta diamétrica, la cual mide el perímetro de la sección siguiendo la línea convexa que la encierra y la forcípula o calibre forestal de brazo móvil, que mide la distancia entre dos líneas paralelas tangentes a una región convexa cerrada (Husch *et al.*, 1982; Clark *et al.*, 2000).

#### **3.9. Ensayos de progenie**

Los ensayos de progenie tienen como finalidad promover información necesaria para evaluar a los padres (árboles élites), estimar parámetros genéticos, establecer una población para la selección de generación avanzada, estimar de manera directa la ganancia genética, y principalmente la producción de semilla (Sáenz y Plancarte, 1991).

#### **3.10. Antecedentes de ensayos de progenie**

Mullin y colaboradores (2011), mencionan que numerosos programas de mejoramiento genético han sido implementados en todo el mundo y se tiene reporte de algunos trabajos que han buscado mejorar especies de los géneros: *Pinus*, *Picea*, *Pseudotsuga*, *Larix*, *Cupressus*, *Cryptomeria*, *Chamaecyparis*, *Thuja* y *Cunninghamia*, con diversos objetivos de cruzamiento con relación a su importancia económica y ecológica.

Debido a que *P. patula* es ampliamente utilizada en plantaciones y después de ser introducida en Sudáfrica en 1907 e identificar su gran potencial de desempeño como especie exótica, se establecieron varias pruebas de progenie en

varios países africanos en los años 70's, con el objetivo de mejorar la especie (Wormald, 1975; Dvorak *et al.*, 2000).

En África se han realizado trabajos para estimar la heredabilidad y correlaciones en algunas variables como el número de cotiledones, el número de ramas, el número de verticilos, la altura, el diámetro, la forma del fuste, el volumen y la densidad de la madera (Barnes y Schweppenhauser, 1978).

En otros países como Colombia, Brasil y Sudáfrica demostraron la variabilidad entre las poblaciones, al comparar el desempeño de familias introducidas, mejoradas y recolectadas de poblaciones naturales en México, mediante el establecimiento de pruebas de procedencia (Kageyama *et al.*, 1977; Ladrach y Lamberth, 1991; Wright *et al.*, 1995). Las pruebas establecidas por la Cooperativa de Investigación de América Central (CAMCORE), tomaron como base 282 familias de 13 procedencias del rango de distribución natural de *P. patula* en México y demostraron que, de manera general, las procedencias del centro del país (Querétaro, Hidalgo, Puebla y Veracruz) son más productivas que las del sur (Oaxaca) (Dvorak *et al.*, 1995; Dvorak *et al.*, 2000).

En México el mejoramiento genético de *P. patula* inició alrededor de los años 90's. y hasta la fecha existen 12 huertos semilleros que es posible que se encuentren produciendo semilla mejorada para el uso de plantaciones comerciales debido a que son de primera generación.

En el 2003 en México, específicamente en el municipio de Aquixtla, Puebla, se estableció el primer huerto semillero asexual de *P. patula*, a partir del cual se han establecido otros 4 huertos semilleros asexuales, en los estados de Hidalgo, Oaxaca, Veracruz y Puebla, por medio del Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT (González Jiménez *et al.*, 2022).

Recientemente se establecieron dos ensayos de progenie de *P. patula* en la zona centro de su distribución natural (Rancho Tlatoxca, Zacualtipán de Ángeles, en el estado de Hidalgo y Ejido Ojo de Agua, Huayacocotla, en el estado de Veracruz), los cuales tienen como finalidad determinar las diferencias entre

poblaciones en características de semilla y crecimiento, así como en la fenología del brote terminal; identificar algún patrón de variación relacionado con características geográfico-ambientales de ocho poblaciones de *P. patula* de Hidalgo, Puebla y Veracruz; y por último estimar parámetros genéticos en un ensayo de progenie localizado en dos sitios. Para llevar a cabo esto, se colectaron semillas de 64 árboles seleccionados en su medio natural con características deseables para la producción de madera de calidad, las sembraron en contenedores de polietileno para posteriormente establecerlas en los dos sitios ya seleccionados anteriormente con un diseño de bloques completamente al azar. En campo encontraron diferencias estadísticas ( $p < 0.05$ ) entre y dentro de los sitios. En el Rancho Tlatoxca las plantas presentaron mayores alturas y diámetros. Sin embargo, las plantaciones no mostraron ningún patrón de variación definido entre las variables fenológicas y los factores geográfico-ambientales del sitio de origen. En cuanto a la heredabilidad de familias esta fue mayor en el Ejido Ojo de Agua para las tres características (Fuentes, 2022).

Escobedo (2023) realizó un estudio de las características morfológicas de la copa de árboles de *P. patula* en un ensayo de progenie para protección del suelo ubicado en Huayacocotla, Veracruz, el cual tuvo como finalidad evaluar las características morfológicas de los árboles en un ensayo de progenie para identificar a las familias con características deseables y protección al suelo, se midieron las variables altura, diámetro y algunas características de copa donde encontró diferencias significativas ( $P \leq 0.0001$ ) entre familias en todas las variables y periodos de evaluación. En este estudio los árboles incrementaron en altura el 54.5% de otoño-2021 (208.7 cm) a verano-2022 (322.4 cm), el diámetro promedio de la plantación tuvo un aumento de 112.7% de otoño (16.6 mm) a verano (35.5 mm); además en ambas variables las familias 21, 33, 48 y 66 mostraron los promedios más altos para todas las evaluaciones, en cuanto a la cobertura del suelo los árboles de las familias 51, 29 y 55 mostraron los valores más altos en el área de proyección de copa sobre el suelo. En sus conclusiones menciona que existe variación importante en el ensayo de progenie, para la identificación de individuos con características deseables de protección al suelo en menor tiempo.

En el Municipio de Xico, Veracruz se evaluó el crecimiento de clones de *P. patula* en el huerto semillero de Ingenio del Rosario, cuya finalidad principal fue conocer el crecimiento de 31 árboles clones a los 21, 33, 39, 42, 45, 51 y 54 meses de edad. En dicho estudio evaluaron las variables altura total, diámetro del tallo, número de verticilos y diámetro de copa, para las cuales realizaron análisis descriptivos y de varianza, encontrando para la variable altura diferencias significativas entre los clones a las edades de 21 y 33 meses y a nivel bosque en todas las edades; para el diámetro a nivel bosque a los 33, 39, 42 y 45 meses de edad y a nivel clon a los 21, 33, 39, 42, 51 y 54 meses de edad; en el diámetro de copa a nivel clon en todas las edades y en bosque a los 39, 42, 45 y 51 meses de edad. Las correlaciones de Pearson fueron altas y significativas entre altura total, diámetro de tallo y de copa ( $r \geq 0.72$ ). De igual manera obtuvieron que el diámetro del tallo y de copa presentaron mayor efecto genético que ambiental, por el contrario, la altura tuvo mayor efecto ambiental que genético. Por su parte el número de verticilos es independiente del crecimiento de altura y diámetro del tallo (Villareal, 2018).

En otras especies también se han realizado estudios de mejoramiento genético como Gutiérrez *et al.*, (2010), quienes mencionan que en el transcurso de 1994 en Los Tarihuanes, Arteaga, Coahuila, México se estableció un ensayo de progenie de *Pinus greggii* var. *greggii*; cuyo objetivo fue seleccionar y rescatar los genotipos valiosos, que se adaptaran a las condiciones semiáridas de la región y presentaran mejor crecimiento y desarrollo.

García Fernández (2018) en la localidad La Pahua municipio de Colipa, Veracruz, trabajo con *Cedrela odorata* L. evaluando las características morfométricas (altura y diámetro) en un diseño experimental de cuatro bloques al azar, con 3 procedencias, 20 familias y cuatro repeticiones cada una. Valoraron diferencias entre familias dentro de procedencias y entre procedencias, mediante un análisis de varianza ( $P \leq 0.05$ ). y obtuvieron que las diferencias morfométricas dentro de procedencias y entre familias son el resultado de la interacción del genotipo-ambiente de cada individuo.

### **3.11. Variabilidad genética**

#### **3.11.1. Causas y tipos de variabilidad**

Todas las diferencias entre los árboles son el resultado de tres factores importantes: 1) las diferentes condiciones ambientales en los cuales los árboles crecen, 2) la diversidad genética y 3) la interacción genotipo-ambiente (Zobel y Talbert, 1992).

##### **3.11.1.1. Variación ambiental**

La variación ambiental es entendida por la mayoría de los forestales y su manejo es la base de la mayoría de las actividades silvícolas. Algunos de los factores ambientales que afectan el crecimiento de los árboles pueden controlarse y manipularse, sin embargo, existen algunos que no. Algunas características de las masas de árboles como los niveles de densidad y la competencia entre árboles, se pueden controlar mediante el espaciamiento entre las plantas o mediante aclareos (Zobel y Talbert, 1988).

Por otra parte, las diferencias de nutrientes pueden corregirse mediante fertilización y la humedad del suelo puede modificarse mediante drenaje. En general la textura del suelo no puede alterarse, pero la preparación del lugar puede cambiar la estructura del suelo en grado considerable, ya que operaciones como el subsuelo, algunas veces son útiles para crear un ambiente propicio para el mejor desarrollo de la raíz y el crecimiento del árbol: La preparación del lugar y los herbicidas suelen utilizarse para reducir la competencia, ya que si no se controla disminuye o limita el crecimiento del árbol (Zobel y Talbert, 1988).

Otras variables ambientales que afectan el fenotipo del árbol son la precipitación, temperatura y acción del viento. La variación entre los árboles causada por diferencias ambientales no puede utilizarse en programas de mejoramiento genético y frecuentemente no pueden predecirse; sin embargo, las fuerzas ambientales son la causa más importante de variabilidad en algunas características, especialmente las relacionadas con el crecimiento. La forma y

calidad también pueden ser afectadas por las diferencias ambientales, pero por lo general las características de calidad tienden a ser ampliamente heredables y menos afectadas por el ambiente (Zobel y Talbert, 1988).

### **3.11.1.2. Variabilidad genética**

La variabilidad genética es muy compleja, pero si se utiliza adecuadamente puede manipularse para obtener buenas ganancias en algunas características del árbol. La variación genética se divide en dos componentes aditivos y no aditivos. La variación aditiva es causada por los efectos acumulativos de los alelos en todos los loci que determinan una característica. La variación genética no aditiva su vez se divide en dos: por dominancia la cual es causada por la interacción de los alelos específicos en un locus; y por *epistasis* la cual es causada por las interacciones entre loci. Por lo general casi todos los programas de mejoramiento genético forestal utilizan la porción aditiva de la variación genética (Zobel y Talbert, 1988).

### **3.12 Interacción genotipo-ambiente**

Una condición que es de importancia excepcional para el estudio de la variación recibe comúnmente el nombre de interacción genotipo-ambiente. Este término se utiliza para describir la situación donde existe un cambio en el rendimiento de determinados genotipos cuando se cultivan en diferentes ambientes (Zobel y Talbert, 1988).

La interacción genotipo-ambiente posee un interés especial en el mejoramiento genético forestal y en la prueba genética. Esta interacción significa que el rendimiento relativo de clones, familias, procedencias, o especies difieren cuando estas crecen en ambientes distintos. Esto puede consistir en un cambio real en el crecimiento, que es el tipo de interacción más importante para el genetista forestal, o puede consistir simplemente en un cambio de variación de un ambiente a otro sin que ocurra algún cambio en el crecimiento. La interacción genotipo-ambiente

puede expresarse simbólicamente mediante una expresión del modelo que relaciona el rendimiento fenotípico con los efectos genéticos del ambiente (Zobel y Talbert, 1988):

$$F = G + A + GA$$

Donde

F = valor fenotípico

G = efecto genético

A = efecto ambiental

GA = efecto causado por la interacción genotipo-ambiente

La única forma de explicar el efecto de la interacción GA es realizar pruebas genéticas en más de un ambiente.

### **3.13. Variación genética y sus tipos**

La variación genética es la que permite que las especies evolucionen y se adapten a los cambios del medio ambiente (Hamilton, 2009). La magnitud y los patrones de variación genética son consecuencia de las fuerzas evolutivas que actúan sobre las especies, dichas fuerzas son mutación, migración, flujo genético, deriva genética y selección (Furnier, 2004). La mejora genética de los pinos se lleva a cabo a través de la selección de familias, ya que son de amplia distribución, longevos, de polinización cruzada con ayuda del viento y con un alto índice de fecundidad (Zobel y Talbert, 1988).

Furnier (2004), menciona que para el estudio de la variación genética en especies forestales existen dos métodos:

- a) Marcadores moleculares: consiste en extraer ADN de los árboles de interés e identificar el polimorfismo presente en las secuencias de ADN.
- b) Estudio de ambiente común: uno de los más utilizados para medir la variación genética de especies forestales. Esto implica ver el desarrollo de



plántulas de diferentes genotipos en un ambiente común. Lo que se busca con este método es que todos los genotipos experimenten el mismo ambiente y que cualquier diferencia que se observe entre plántulas se deba solo a la diferencia de genotipo.

### **3.14. Variación fenotípica**

Son aquellas particularidades observables en un individuo, como la apariencia y la manifestación específica de un determinado rasgo como el tamaño, color, etc. Esta variación surge por la interacción entre genotipo y ambiente (Zerón, 2011). Este mismo autor define genotipo al conjunto de genes que tiene un organismo, los cuales fueron heredados por sus progenitores.

### **3.15. Variación geográfica**

Las características geográficas se relacionan con la altitud, latitud y longitud del sitio de donde se colectó el material vegetal; estas variables se utilizan como medida indirecta para conocer las condiciones climáticas de los sitios, ya que los bosques carecen de estaciones meteorológicas. Particularmente la altitud se ha utilizado para saber la temperatura, ya que se sabe que mayor altitud menor temperatura (Rehfeldt *et al.*, 2014).

### **3.16. Parámetros genéticos**

Para entender el concepto parámetro, primero debemos comprender el concepto de población, el cual estadísticamente se refiere a todo el grupo o conjunto de individuos u objetos que poseen alguna característica en común. Un parámetro se define como una constante numérica que contribuye a la descripción de una población (Infante y Zarate, 1984).

Los parámetros genéticos se estiman con dos propósitos: 1) para obtener información sobre la naturaleza de la acción de los genes involucrados en la

herencia del o de los caracteres bajo investigación, 2) generar la base de la evaluación de los planes de mejoramiento genético de la población, o posiblemente para obtener la información para el desarrollo de nuevos enfoques en el mejoramiento de las especies de interés (Robinson y Cockerham, 1965).

### 3.17. Heredabilidad

La heredabilidad es la medida del grado en el cual un carácter imprime la influencia de la herencia en comparación con el ambiente y esta se expresa como la proporción entre varianza genética y fenotípica (Moreno *et al*, 1986) este concepto fue creado con el propósito de determinar qué proporción de la variación total o fenotípica observada en un carácter métrico, es atribuible a causas genéticas (Vega, 1988).

La heredabilidad indica la proporción relativa de las influencias genéticas y ambientales en la manifestación fenotípica de los caracteres, y como consecuencia se indica el grado de facilidad o dificultad para mejorar dichos caracteres (Resende, 2002). Existen muchas formas de conocer la heredabilidad y una de ellas es a través de un análisis de progenie, en el cual se estima la varianza fenotípica y se subdivide en sus distintos componentes, partiendo de las diferencias entre y dentro de progenie o familias (Falconer y Mackay, 1996).

**Cuadro 1.** Niveles de heredabilidad según Stanfield (1971).

<b>Heredabilidad</b>	
<b>Alta</b>	> 0.5
<b>Moderada</b>	Entre 0.20 – 0.50
<b>Baja</b>	< 0.20

En sentido amplio la heredabilidad ( $h^2_{sa}$ ), se puede definir (de acuerdo con Moreno *et al.*, 1986):

$$h_{sa}^2 = \frac{V_g}{V_t}$$

Donde:

$h_{sa}^2$  = Heredabilidad en sentido amplio.

$V_g$  = Varianza genética.

$V_t$  = Varianza total.

Por su parte Falconer (1986), define a la heredabilidad en sentido estricto o estrecho ( $h_{se}^2$ )

$$h_{se}^2 = \frac{V_a}{V_t}$$

Donde:

$h_{se}^2$  = Heredabilidad en sentido estricto

$V_a$  = Varianza (genética) aditiva.

$V_t$  = Varianza total.

De acuerdo con Sáenz y Plancarte (1991) para ambas definiciones los valores teóricos van de 0 (nulo control genético), a 1 (control genético total). La heredabilidad puede estimarse de dos formas (Falconer, 1986):

- a) **Regresión progenie-progenitor:** consiste en la medición y comparación del crecimiento de los hijos respecto a los padres.
- b) **Análisis del parentesco de las progenies:** se basa únicamente en las progenies, se estima la varianza fenotípica y se subdivide en sus distintos componentes, a partir de las diferencias entre y dentro de progenies o familias.

### 3.18. Calidad de sitio

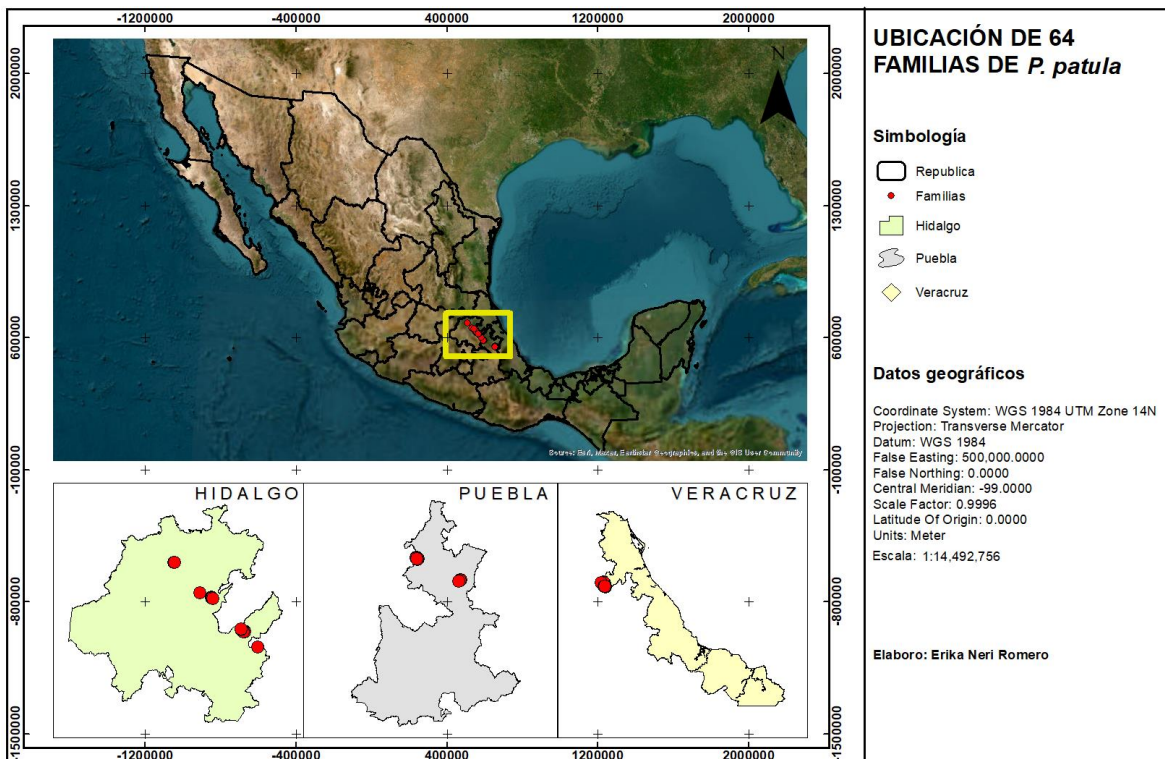
Se entiende por calidad de sitio al potencial de producción de madera de un área específica para una especie determinada (Wabo, 2002). Existen dos métodos para evaluar la calidad de sitio.

- **Método indirecto:** a través de los factores del medio ambiente, incluida la vegetación a excepción de la especie forestal de interés.
- **Método directo:** mediante alguna característica de los individuos de interés solamente cuando crece en el sitio de estudio.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Origen del germoplasma

Durante los meses de mayo y junio del 2018, en los estados de Puebla, Hidalgo y Veracruz diferenciada como la zona centro de su distribución natural de *P. patula* (Figura 1), se realizó el recorrido identificando los árboles superiores, tomando en cuenta que la distancia entre arboles es de 100 m. Después de haber localizado y elegido a los árboles, se realizó una selección por comparación, se seleccionaron 5 árboles para compararlos, de estos cinco al igual que el candidato son dominantes, creciendo en condiciones de competencia similares a las del árbol candidato, estos se encuentran a menos de 25 a 50 m del candidato, tienen la misma edad y no exceden de 10 años. De los cinco árboles se eligió el más sobresaliente, con autopoda, rectitud, vigor, buena floración y libres de plagas o enfermedades (Cuadro 2) (Flores *et al.*, 2014).



**Figura 1.** Origen de 64 familias de *P. patula* en la zona centro de su distribución natural. Fuente: Elaboración propia 2024.

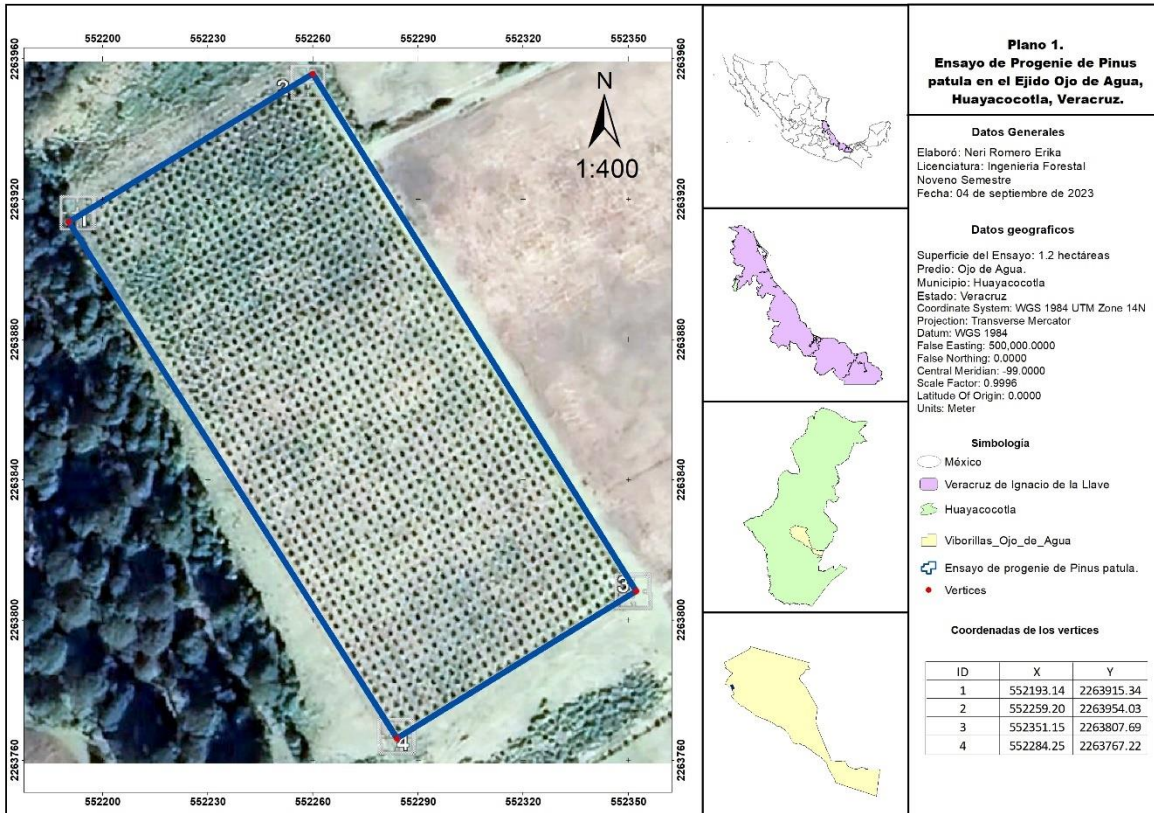
**Cuadro 2.** Procedencia y número de árboles superiores de donde se recolectó germoplasma (progenies) para el establecimiento del ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver.

Número de progenies	Estado	Municipios
1-25	Puebla	Ahuazotepec, Tlatlauquitepec y Zacatlán
26-35	Hidalgo	Metztitlán y 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, 26, 41, 70, 71 y 73 se descartaron debido a la poca obtención de semilla y los porcentajes de germinación en vivero fueron bajos.

#### 4.2. Ubicación del ensayo de progenie

El ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* se estableció en el ejido Viborillas Ojo de Agua que se encuentra ubicado en Huayacocotla, Veracruz (en las coordenadas geográficas 20° 37' 49" LN y 98° 38' 10" LO, con altitud de 2310 m, pendiente de 3% (Figura 2), de acuerdo al sistema de Köppen modificado por Enriqueta García (1981) presenta el clima templado subhúmedo C(w2), con temperatura media anual de 14.7 °C, su precipitación media anual es de 1004 mm. El tipo de suelo que se encuentra es luvisol, considerado el quinto grupo de suelos más extendido sobre el país de México, son suelos rojos, grises o pardos claros, susceptibles a la erosión, principalmente aquellos que tienen un alto contenido de arcilla (INEGI, 2014).



**Figura 2.** Ubicación del ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, México. Fuente: Elaboración propia, 2024

### 4.3. Producción de planta

La producción de la planta se realizó en las instalaciones del vivero forestal ubicado en el Instituto de Ciencias Agropecuarias, perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo; la siembra se realizó en diciembre de 2018 en tubos rígidos de polietileno negro de 310 cm<sup>3</sup>, y a los 5 meses las plantas se colocaron en un túnel con malla sombra al 50%. Se utilizó una mezcla de sustrato compuesta por 60% aserrín, 15% tezontle, 15% turba de musgo y 10% vermiculita más 8 gramos de fertilizante de liberación controlada de 8 meses (12-09-16) por litro de sustrato. La semilla se depositó a la profundidad de aproximadamente 0.7 cm y se cubrió con vermiculita. En los días posteriores a la siembra se

suministraron riegos ligeros a diario y al iniciar la emergencia se regó cada tercer día hasta llevar la planta a campo.

#### **4.4. Descripción del área de estudio**

El ensayo de progenie se estableció en un terreno agrícola con superficie de 1.25 hectáreas, el cual se encontraba abandonado y tiene ligera pendiente de 3%. Debido a su anterior uso para el establecimiento de la plantación se eliminó la vegetación arbustiva y herbácea; por dos ocasiones con ayuda de un tractor se pasó una rastra para dejar el suelo con las características deseables para realizar la plantación.

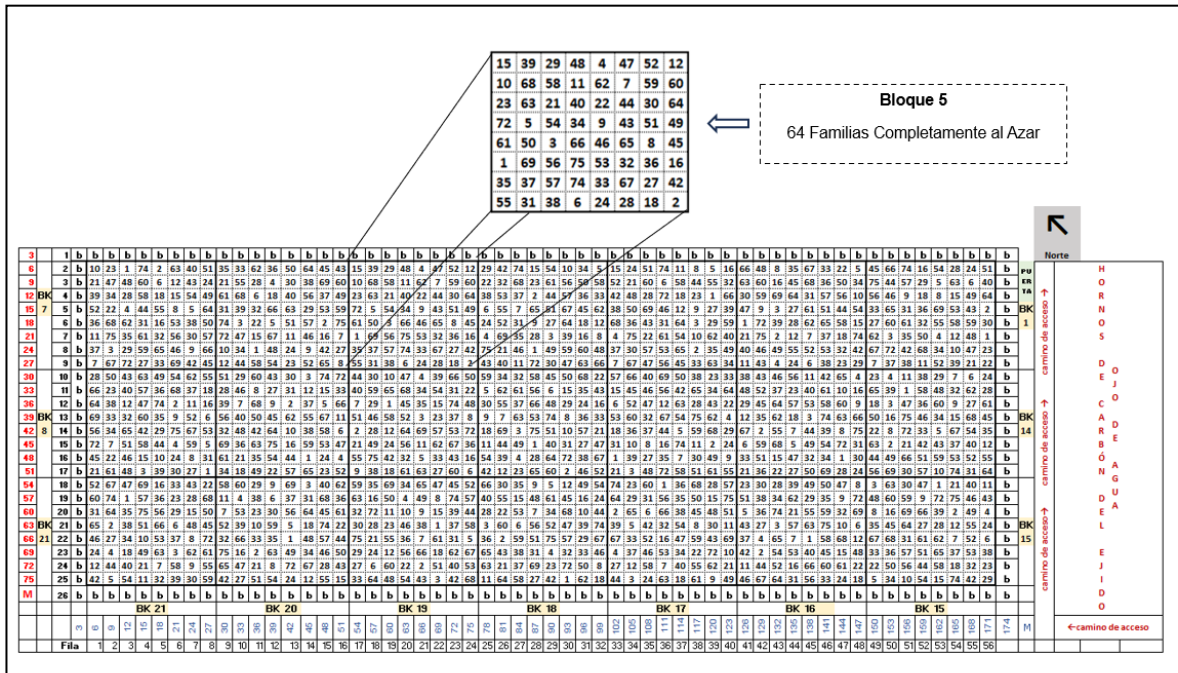
#### **4.5. Establecimiento**

El ensayo de progenie se estableció el 14 octubre de 2019, con plantas de 9 meses de edad. El método de plantación utilizado fue cepa común en marco real, la distancia entre planta y planta fue de 3x3 m; además, se plantó una hilera de árboles de la misma especie como franja de protección en el perímetro del ensayo.

#### **4.6. Diseño experimental**

Para este ensayo de progenie se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, se establecieron 21 bloques con 64 progenies (familias) asignados al azar en cada bloque (Figura 3), la parcela experimental fue de un árbol por progenie por bloque, por lo tanto, se utilizaron 1,344 plantas más 164 árboles de bordo como franja de protección en el perímetro del ensayo.





**Figura 3.** Diseño experimental del ensayo de progenie de 64 familias de *P. patula* en 21 bloques completamente al azar en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacotla, Veracruz, establecido el 14 de octubre de 2019.

#### 4.7. Medición de las características dasométricas

La toma de datos se llevó a cabo en dos mediciones, la primera se realizó en el mes de marzo de 2022 cuando la planta tenía 2.4 años de edad y la segunda en el mismo mes, pero a la edad de 3.4 años. En ambas mediciones se midió la altura total y el diámetro normal y únicamente a la edad de 3.4 años se identificaron los árboles que presentaron flores femeninas y masculinas. Con los datos de las dos evaluaciones se calcularon los incrementos en altura y diámetro.

#### 4.8. Altura total

La altura total del árbol se considera como la distancia lineal a lo largo de su eje principal, se mide desde el nivel del suelo hasta el límite superior (yema terminal). Esta variable se midió con ayuda de la regla telescópica marca Hastings ® con precisión al centímetro, por lo cual se colocó desde la superficie del suelo hasta la yema terminal (Figura 4).



**Figura 4.** Medición directa de la altura de los árboles de *P. patula* del ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla Veracruz.

#### **4.9. Diámetro normal (DN)**

El diámetro normal sirve para determinar el volumen individual o de la masa forestal, así como para definir la estructura del bosque o para seleccionar los árboles que se deben medir en un inventario (Quiñónez *et al.*, 2012). Esta variable consistió en medir el diámetro a la altura de 1.30 cm con ayuda de un calibrador de árbol marca Drescher® con precisión al milímetro (Figura 5).



**Figura 5.** Medición directa del diámetro de los árboles de *P. patula* en el ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla Veracruz, con ayuda de un calibrador con precisión al milímetro.

#### **4.10. Presencia de estróbilos femeninos y masculinos**

A la edad de 3.4 años de establecidos en campo de manera visual y directa se identificó la presencia o ausencia de estróbilos femeninos y masculinos para cada árbol (familias) presente en el ensayo de progenie. Los estróbilos femeninos y masculinos se encuentran en el mismo árbol (planta monoica) pero en diferente posición en la copa del árbol. Las inflorescencias femeninas poseen un color púrpura cuando están dispuestas para la polinización, tienen pequeñas espinas deciduas, por lo general se encuentran laterales y rara vez en posición sub-terminal y aparecen de manera solitaria o en grupos (Figura 6A) (Wormald, 1975;). Por su parte los estróbilos masculinos (Figura 6B) son color verde cuando jóvenes



y amarillo al madurar, ocurren de manera abundante en racimos y están ubicadas en la parte terminal de las ramas y aparecen con las nuevas hojas (Martínez, 1948; Wormald, 1975).



**Figura 6.** Estróbilos femeninos (A) y masculinos (B) en los individuos de *P. patula* del ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, en Huayacocotla, Veracruz.

#### 4.11. Análisis estadístico

A los datos de altura total y diámetro normal obtenidos en campo y a las variables calculadas de incremento en altura e incremento en diámetro normal en el periodo de un año se les realizaron análisis de varianza y aquellas variables que presentaron diferencia estadística significativa ( $P \leq 0.0001$ ), se les aplicó la

prueba de comparación de media de Tukey. También se realizó la estimación de componentes de varianza para identificar el factor causante de la variación de las características dasométricas entre las familias. Por último, a los datos de flores femeninas y masculinas se realizó un análisis de frecuencias. Todos los datos se ejecutaron con el software SAS versión 9.0.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Altura total

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ) en la variable de crecimiento en altura total e incremento entre familias a los 2.4 y 3.4 años de establecidos los árboles de *P. patula* en el ensayo de progenie del ejido Viborillas Ojo de Agua, perteneciente al municipio de Huayacocotla, Veracruz (Cuadro 3).

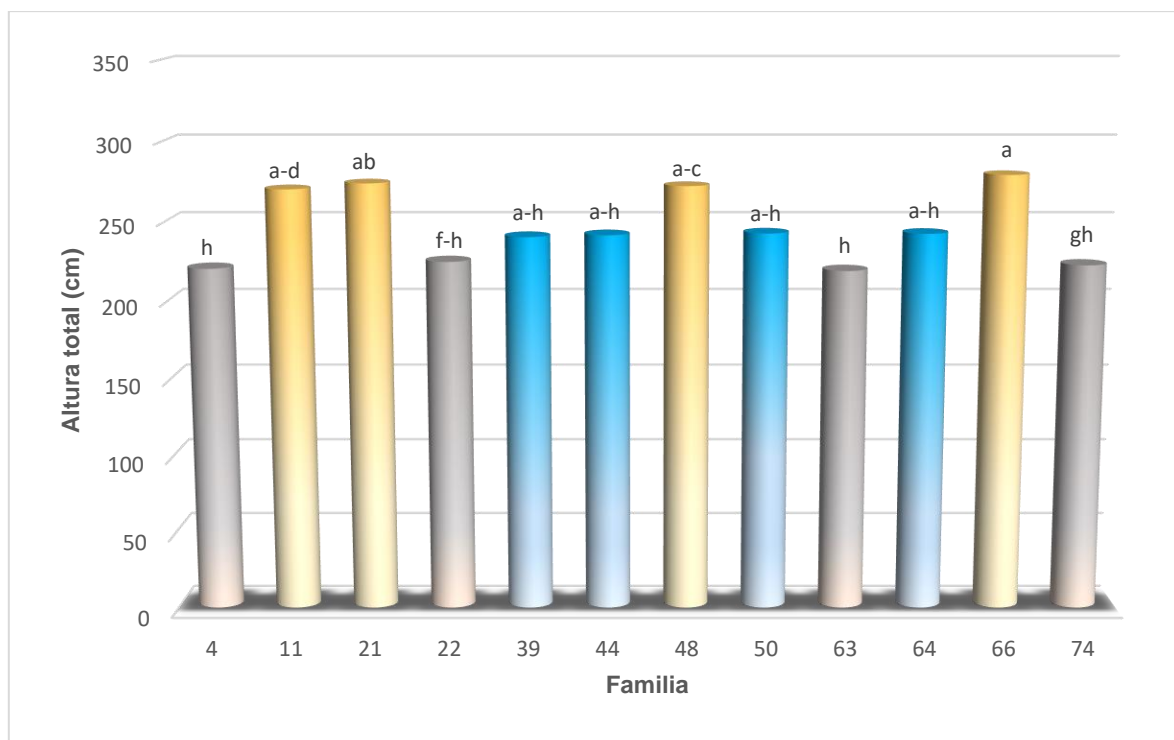
**Cuadro 3.** Resultados del análisis de varianza e incremento de altura total en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Evaluación	Fuente	GL	CMF	F-Valor	Pr > F
Altura (marzo, 2022)	Familia	63	3592.0	3.68	<0.0001
Altura (marzo, 2023)	Familia	63	6382.5	3.00	<0.0001
Incremento Altura (2022-2023)	Familia	63	1507.7	1.45	0.0139

GL= Grados de Libertad, CMF= Cuadrado Medio de la Familia, Pr > F= Probabilidad

La familia 66 que procede del municipio Tlahuiltepa, Hidalgo tuvo el mayor promedio en altura total (279.2 cm), mientras que la familia 63 cuya procedencia es el ejido Cumbre de Muridores, municipio de San Bartolo Tutotepec, obtuvo el menor valor (219.0 cm) a la edad de 2.4 años (2022). Se encontró una diferencia calculada entre familias extremas de 60.2 cm lo que significa que la familia 66

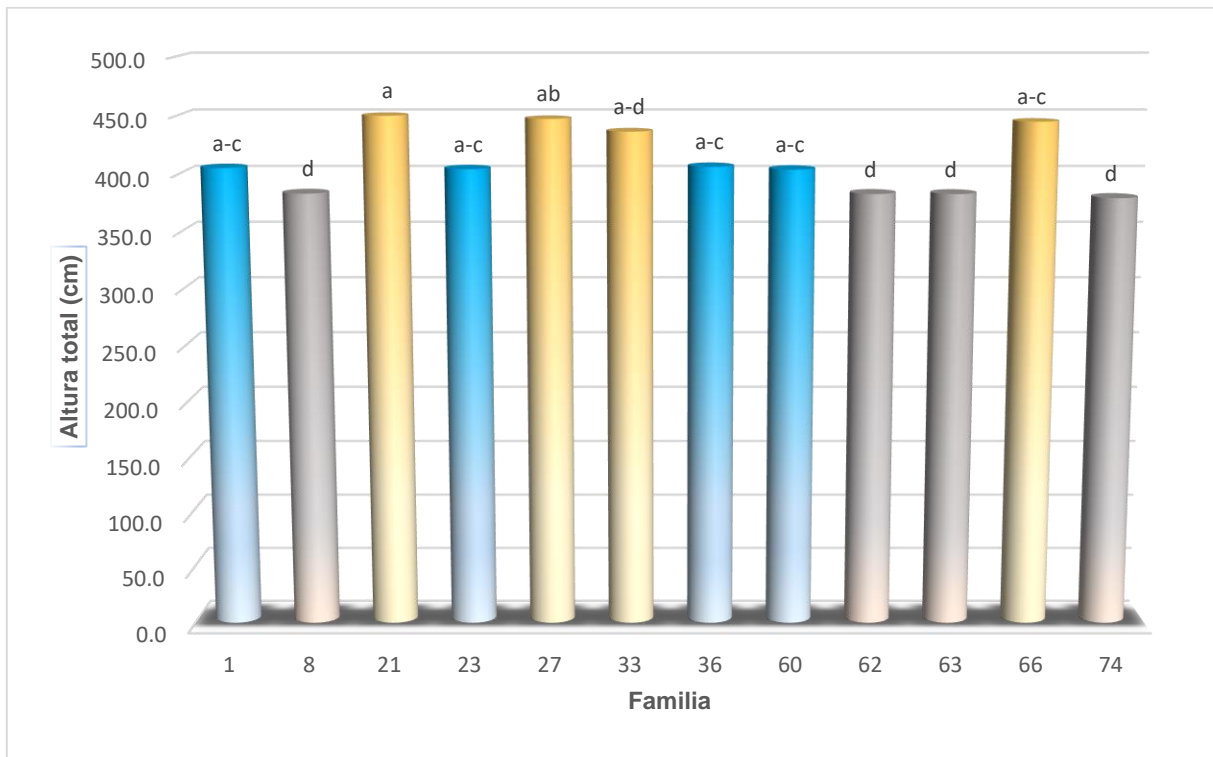
después de 29 meses de establecida en campo tiene el 21.6% más de altura total que la familia 63 (Figura 7). Se identificó que un grupo de 27 familias están por arriba de la media general (243.3 cm) de toda la plantación.



**Figura 7.** Valores promedio en altura total en 64 familias del ensayo de progenie 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 (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).

Por su parte la medición en la misma variable que se realizó a la edad de 3.4 años (2023), arrojó que la familia 21 originaria de Ahuazotepc, Puebla, que en el año anterior estaba en segundo lugar, tuvo mejor desarrollo en altura (449.8 cm) y superó a la familia 66 dejándola en tercer lugar (444.8 cm) de las 64 familias. Sin embargo, la familia 74 originaria del ejido San Cornelio, del municipio de Agua Blanca, que el año anterior se encontraba en el tercer lugar de las más

pequeñas, este año fue la que obtuvo menor altura total (379.1 cm), con la diferencia calculada entre familias extremas de 70.7 cm lo que significa que la familia 21 después de 41 meses de establecida en campo tiene el 15.7% más de altura total que la familia 74 (Figura 8). De igual manera se identificó un grupo de 30 familias se encuentran por encima de la media general (406.18 cm) de la plantación.



**Figura 8.** Valores promedio en altura total en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* a 3.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).

Los resultados encontrados en este estudio mostraron que si existe variación de crecimiento en altura y los resultados son mayores a lo que reportaron Morales *et al.* (2013), evaluaron 84 familias en 20 repeticiones a los 4 y



5 años de establecida en un ensayo de progenie con la especie de *P. patula*. En la primera altitud (Sierra Mojada) obtuvieron alturas promedio de 1.45 m y 2.19 m y en la segunda altitud (Chichicaxtla) observaron alturas promedio de 2.8 m y 3.85 m

La altura promedio de *P. patula* lograda a los 2.4 años fue ligeramente mayor a las reportadas por Vizcaíno y Pupiales (2008) quienes evaluaron dos ensayos de progenie de *P. patula* a los 29 meses de edad y detectaron diferencias estadísticas significativas entre las familias, uno fue establecido en La Serrana, provincia de Pichincha, Ecuador en donde las alturas promedio fueron de 2.22 m, el segundo ensayo se encuentra en Iltaqi, Imbabura, Ecuador con alturas promedio de 2.20 m. Villareal (2018) en un estudio realizado en el ejido Ingenio del Rosario en el Municipio de Xico, Veracruz en el cual evaluó el crecimiento de clones de *P. patula* en el huerto semillero, reporta que existen diferencias significativas entre clones a los 21 y 33 meses de edad, debido a que reporta alturas promedio de 2.20 m a 2.60 m. Es posible que esta similitud se deba a que tienen altitudes parecidas o las condiciones climáticas y edafológicas son semejantes y las progenies se han adaptado exitosamente.

Los componentes de varianza indicaron que 11.4% de la variación encontrada en la variable altura total a la edad de 2.4 años se les atribuye a las familias y el 88.6% corresponde al error de muestreo (Cuadro 4). De la misma manera la variación encontrada en la altura total de los árboles a la edad de 3.4 años fue de 8.8% que se les atribuye a las familias y el resto al error de muestreo que fue de 91.2%. Estos resultados son superiores a lo reporta Villareal (2018) que evaluó el crecimiento de clones de *P. patula* en el huerto semillero de Ingenio del Rosario, Municipio de Xico, Veracruz, en el cual menciona que la mayor cantidad de variación aportada fue por el error experimental y por lo cual para la variable altura, la aportación mayor por parte de los clones se dio a la edad de 21 meses con un 6%.

**Cuadro 4.** Resultados de componentes de varianza en altura total e incremento de altura en 64 familias en un ensayo de progenie de *P. patula* plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Variable	FV	CM	Componentes de varianza	
			Estimado	%
Altura 2022	Familia	3592.0	126.1	11.4
	Error	976.1	976.1	88.6
Altura 2023	Familia	6382.4	205.3	8.8
	Error	2125.5	2125.5	91.2
Incremento altura 2022-2023	Familia	1507.6	22.5	2.1
	Error	1041.0	1041.0	97.9

FV= Fuente de Variación; CM=Cuadrados Medios. Los grados de libertad para las fuentes de variación son: F=63; E=1243

De igual manera se observó que durante el periodo 2022 al 2023 el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ) para la variable de incremento de altura entre las familias. Se identificó que los árboles incrementaron en promedio 162.9 cm en altura. Respecto a los componentes de varianza indicaron que la mayor parte de la variación encontrada para el incremento en altura se atribuye al error de muestreo (97.9%) y a las familias equivale al 2.1%. Los resultados encontrados en este estudio mostraron que del año 2.4 al 3.4 si hubo un incremento importante en altura y estos resultados son mayores a lo que reporta Morales *et al.*, (2013), en el trabajo de investigación titulado “Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes”, en el cual evaluaron 84 familias en 20 repeticiones a los 4 y 5 años de establecida. En la primera altitud (Sierra Mojada) a la edad de 4 años obtuvieron un incremento en altura de 74 cm que equivale al 51%. Para la

segunda altitud (Chichicaxtla) se identificó un incremento de 105 cm que equivalen al 35%. Posiblemente esto se deba a que se evaluaron a diferente edad o por que los ensayos están establecidos en diferentes ubicaciones. Sin embargo, son similares a los reportados por Vizcaíno y Pupiales (2008) en una evaluación del comportamiento de procedencias de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham en dos sitios de estudios a los 80 y 83 meses de edad; ya que sus resultados mostraron que en el primer sitio (Iltahui en Imbabura) evaluado a los 80 meses de edad presentaron el incremento de 1.65 m/año y el segundo sitio de estudio (La Serrana, en Imbabura) evaluado a los 83 meses presentó un incremento en altura de 1.56 m/año.

## 5.2. Diámetro normal

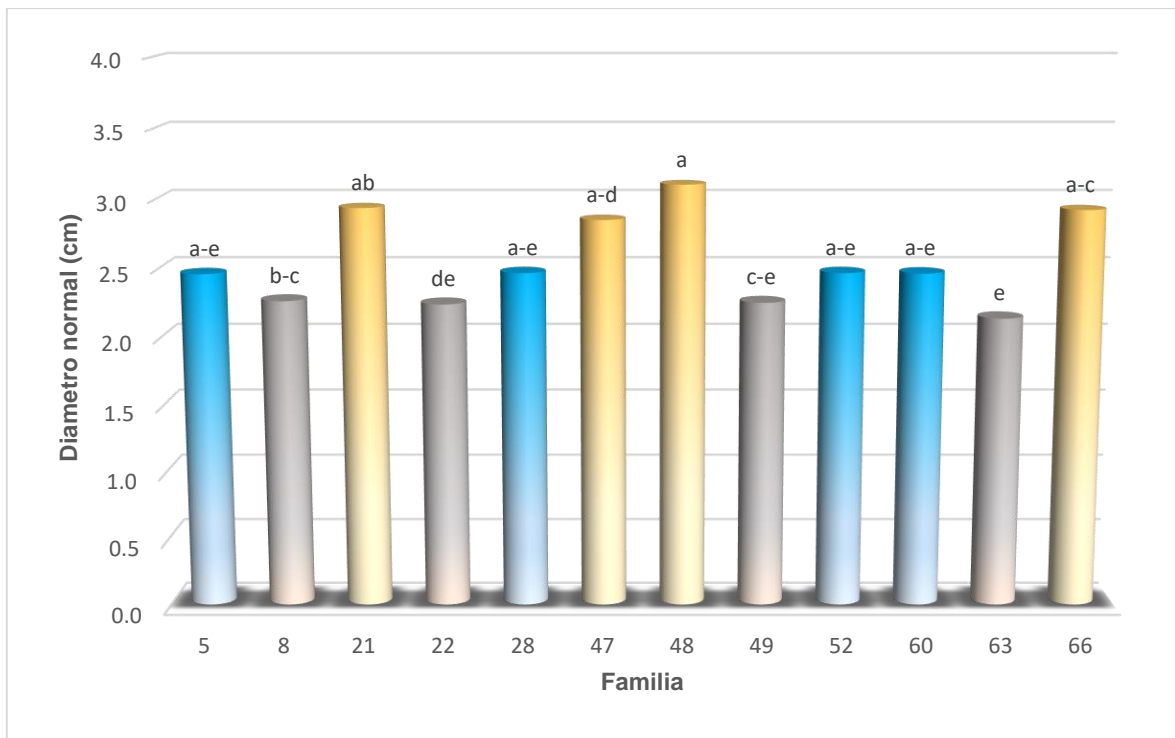
El análisis de varianza en la variable de diámetro normal e incremento mostró diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.0001$ ) entre las familias a los 2.4 y 3.4 años de establecidos los árboles de *P. patula* en el ensayo de progenie del ejido Viborillas Ojo de Agua, ubicado en el municipio de Huayacocotla, Veracruz (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Resultados del análisis de varianza de diámetro normal e incremento en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Evaluación	Fuente	GL	CMF	F-Valor	Pr > F
Diámetro (marzo 2022)	Familia	63	0.8	3.15	<.0001
Diámetro (marzo 2023)	Familia	63	2.6	3.37	<.0001
Incremento diámetro (2022-2023)	Familia	63	0.8	2.31	<.0001

GL= Grados de Libertad, CMF= Cuadrado Medio de la Familia, Pr> F= Probabilidad

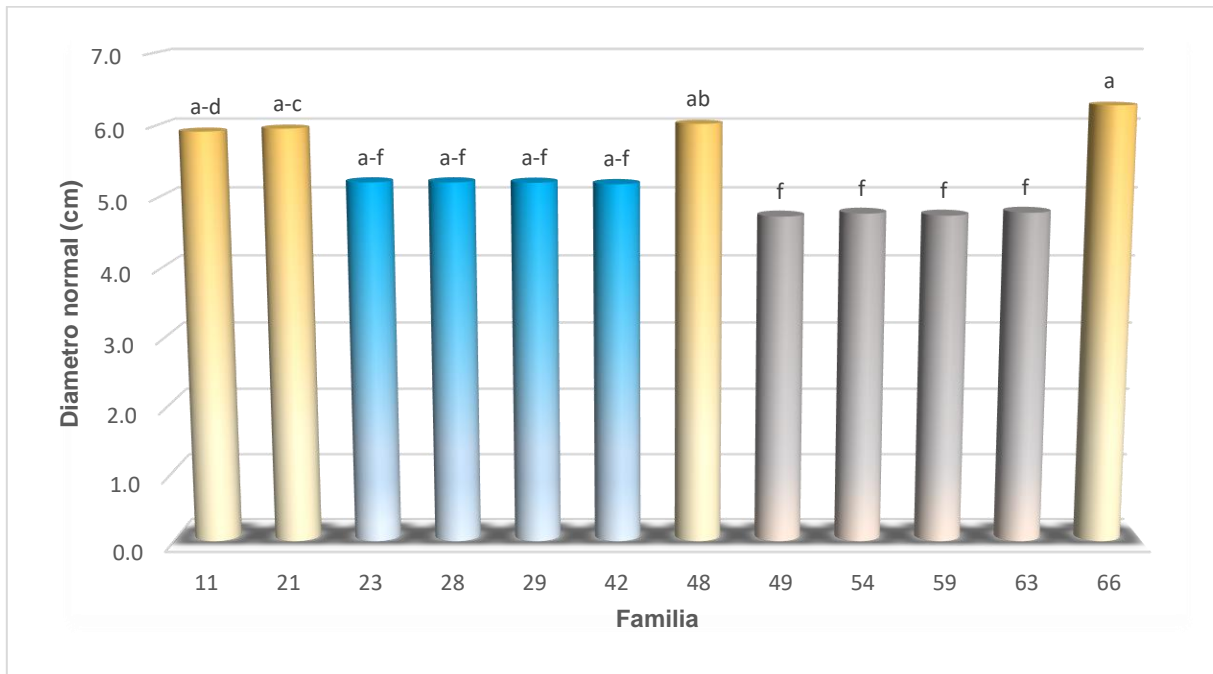
A la edad de 2.4 años (2022) la familia 48 cuya procedencia es el ejido La Selva, del municipio de Huayacocotla, Veracruz, tuvo el mayor promedio en diámetro normal (3.1 cm), por el contrario, la que mostró un menor crecimiento en diámetro fue la familia 63 (2.1 cm) cuyo origen es el ejido La Cumbre de Muridores, perteneciente a San Bartolo Tutotepec. Se encontró una diferencia calculada entre familias extremas de 1 cm lo que significa que la familia 48 después de 29 meses de establecida en campo tiene el 32.3% más de diámetro total que la familia 63 (Figura 9). También se identificó un grupo de 24 familias que se encuentran por arriba de la media general (2.51 cm) de todo el ensayo. Las familias más cercanas a la media general son la familia 3 (2.5 cm) de Tlatlauquitepec, Puebla y la familia 16 (2.5 cm) de Zacatlán, Puebla.



**Figura 9.** Valores promedio en diámetro normal en 64 familias del ensayo de progenie 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 (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).

En cambio, la medición que se realizó a la edad de 3.4 años (2023), mostró que la familia 66 que pertenece al municipio Tlahuiltepa, Hgo. que anteriormente se encontraba en segundo lugar y para el 2023 tuvo mejor desarrollo en diámetro (6.3 cm), pero se encontraron otras familias con valores similares como la familia 48 (6.0 cm) del ejido La Selva, del municipio de Huayacocotla, Veracruz, la familia 21 (6.0 cm) de Ahuazotepec, Puebla y la familia 11 (5.9 cm) de Tlatlauquitepec, Puebla. Por otra parte, las familias que obtuvieron el menor valor de crecimiento en diámetro normal fue la familia 49 y 59 (4.7 cm) del ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz, dando como resultado una diferencia calculada entre familias extremas de 1.6 cm, lo que significa que la familia 66 después de 41 meses de establecida en campo tiene el 25.4% más de diámetro normal que las familias 49 y 59 (Figura 10). Así como también se identificó un grupo de 30 familias por encima de la media general (5.2 cm), siendo la familia 36 y 38 (5.2 cm) originarias del ejido La Selva, Huayacocotla, Veracruz, las más cercana a la media general.

Los valores de diámetro normal encontrados en las 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* coinciden con lo reportado por Camacho *et al* (1999) ya que evaluó dos ensayos de progenie de esta misma especie, pero 3 años posteriores a su establecimiento en campo y reporto diámetros entre 3-4 cm; por su parte Villareal (2018) reporta diámetros de 42 mm a 60 mm.



**Figura 10.** Valores promedio en diámetro normal en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* a 3.4 años de plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. Se presentan 4 familias con valores superiores (Amarillo), 4 familias con valores intermedios (Azul) y 4 familias con valores inferiores (Gris).

Los componentes de varianza indicaron que 9.4% de la variación encontrada en la variable de diámetro normal a la edad de 2.4 años se les atribuye a las familias y el 90.6% corresponde al error de muestreo (Cuadro 6). De la misma manera la variación encontrada en el diámetro normal de los árboles a la edad de 3.4 años fue de 10.3% que se les atribuye a la familia y el resto al error de muestreo que fue de 89.7%. Estos resultados son similares a lo que reporta Villareal (2018) en una evaluación que realizó para conocer el crecimiento de clones de *Pinus patula* en el huerto semillero de Ingenio del Rosario, Municipio de Xico, Veracruz, en el cual menciona que la mayor aportación de varianza por los clones se presentó a la edad de 39 y 51 meses con un 10%.

**Cuadro 6.** Resultados de componentes de varianza en diámetro normal e incremento del mismo en 64 familias en un ensayo de progenie de *P. patula* plantadas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz.

Variable	FV	CM	Componentes de varianza	
			Estimado	%
Diámetro (2022)	Familia	0.84	0.02	9.4
	Error	0.27	0.27	90.6
Diámetro (2023)	Familia	2.63	0.08	10.3
	Error	0.78	0.78	89.7
Incremento diámetro (2022-2023)	Familia	0.78	0.03	6
	Error	0.34	0.34	94

FV= Fuente de Variación; CM=Cuadrados Medios. Los grados de libertad para las fuentes de variación son: F=63; E=1243.

De igual manera se observó que durante el periodo 2022 al 2023 el incremento en diámetro entre las familias fue de 2.7 cm/año. Por su parte los componentes de varianza indicaron que la mayor parte de la variación encontrada para el incremento en diámetro, se atribuye al error de muestreo (94%) y les corresponde a las familias el 6% de la variación.

Estos resultados, son ligeramente mayores a los que reporta Vizcaíno y Pupiales (2008) en una evaluación del comportamiento de procedencias de *Pinus patula* Schlttdl. et Cham en dos sitios de estudios a los 80 y 83 meses de edad; ya que sus resultados mostraron que en el primer sitio (Iltaquí en Imbabura) que se evaluó a los 80 meses de edad presentó un incremento medio anual de 2.3 cm/año y en el segundo sitio (La Serrana, Provincia de Pichincha) que se analizó a los 83 meses tuvo un incremento medio anual de 2.1cm/año.

Esto probablemente se deba a que con la edad algunas familias cada vez se van adaptando mejor a las condiciones ambientales y no sufren ningún daño que afecte su desarrollo en el incremento del diámetro normal.

### 5.3. Presencia de estróbilos

El análisis de frecuencias identificó que los árboles de *P. patula* de la familia 5 (Tlatlauquitepec, Puebla) exhibieron el 61.9% la presencia de estróbilos femeninos a la edad de 3.4 años de establecidos en campo. Lo que significa que 13 de 21 árboles plantados en el ensayo de progenie de la misma familia están iniciando la producción de conos (dentro se encuentra la semilla). Valores similares presentó la familia 35 (57.1%) con origen en el ejido El Reparó, Zacualtipán ambas familias mostraron características precoces en la producción de estróbilos femeninos a las condiciones ambientales y de suelo en el sitio. Por el contrario, las familias 44 y 46 con origen del ejido La Selva, Huayacocotla, Veracruz a la fecha de evaluación no presentaron estróbilos femeninos (0%).

Referente a formación de estróbilos masculinos las familias 35 y 39 con origen en el ejido El Reparó, Zacualtipán, Hidalgo y en el ejido La Selva, Huayacocotla, Veracruz respectivamente fueron los que exhibieron más del 95.2% de estróbilos masculinos, lo que significa que 20 de los 21 árboles plantados de dichas familias en el ensayo de progenie aportaron polen en el presente ciclo de reproducción. Por el contrario, la familia 4 procedente de Tlatlauquitepec, la familia 18 de Ahuazotepec, ambas de Puebla y la familia 61 con origen en Cumbre de Muridores, San Bartolo Tutotepec, Hidalgo tuvieron el menor porcentaje de floración (14.3%) lo que representa que 3 de los 21 árboles plantados presentaron estróbilos masculinos. Se identificó que todas las familias (unas con mayor número de ejemplares que otras) generaron estróbilos masculinos (Cuadro 7).

Los resultados encontrados en el presente estudio coinciden con lo reportado por Espinel Hernández *et al.* (2017), mencionan que la especie florece tempranamente y comúnmente los estróbilos femeninos aparecen al tercer año, los masculinos al cuarto año. Pero son diferentes a los que se reportan en Colombia ya que tienen registros de que esta especie produce conos entre los 8 y



10 años de edad (SIRE, 2001). Lo anterior se puede deber a que la especie se encuentra en sitios fuera de su distribución natural y ocupa de tiempo para adaptarse a las condiciones ambientales del sitio para posteriormente producir estróbilos femeninos y masculinos.

**Cuadro 7.** Porcentaje de estróbilos femeninos y masculinos en 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* en el Ejido Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz a 3.4 años de plantadas.

FAM	EF (%)	EM (%)	FAM	EF (%)	EM (%)	FAM	EF (%)	EM (%)
1	31.1	57.1	30	42.9	66.7	53	52.4	85.7
2	23.8	52.4	31	33.3	71.4	54	28.6	47.6
3	28.6	66.7	32	38.1	57.1	55	28.6	47.6
4	19.0	14.3	33	38.1	62.0	56	38.1	71.4
5	61.9	76.2	34	42.7	38.1	57	42.9	81.0
6	33.3	19.0	35	57.1	95.2	58	9.5	57.1
7	14.3	23.8	36	28.6	38.1	59	23.9	76.1
8	33.3	42.9	37	19.0	33.3	60	38.1	85.7
9	28.6	42.9	38	28.6	28.6	61	28.6	14.3
10	28.6	42.9	39	28.6	95.2	62	42.9	90.5
11	28.6	71.4	40	42.9	71.4	63	19.0	23.8
12	23.8	62.0	42	30.0	60.0	64	33.3	38.1
15	25.0	50.0	43	28.6	90.5	65	9.5	38.1
16	23.8	33.3	44	0.0	23.8	66	38.1	76.1
18	14.3	14.3	45	28.6	47.6	67	35.0	80.0
21	23.8	38.1	46	0.0	30.0	68	4.8	28.6
22	9.5	28.6	47	38.1	57.1	69	33.3	90.5
23	33.3	57.1	48	47.6	57.1	72	23.8	61.9
24	19.0	52.4	49	23.8	38.1	74	19.0	38.1
27	42.7	90.5	50	42.9	71.4	75	33.3	42.9
28	23.81	66.7	51	5.0	25.0			
29	28.57	62.0	52	52.4	52.4			

Las 4 familias con mayor porcentaje de estróbilos femeninos y estróbilos masculinos se resaltan en color verde y las 4 familias con menor porcentaje de EF y EM se resaltan en color morado.

## 6. CONCLUSIONES

En el ensayo de progenie de 64 familias de *Pinus patula* se obtuvo variabilidad en el crecimiento de altura y diámetro a la edad de 3.4 años de establecidas en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Veracruz. La familia 21 (449.8 cm) que procede de Ahuazotepec, Puebla superó a la familia 74 (379.1 cm) con origen del ejido San Cornelio, Agua Blanca, Hidalgo con 70.7 cm de altura que corresponde al 15.7% entre familias extremas. Referente al diámetro normal la familia 66 (6.3 cm) que proviene de Tlahuiltepa, Hidalgo tuvo el mayor diámetro normal que las familias 49 y 59 (4.7 cm) que proceden del mismo ejido (Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla) donde se estableció el ensayo, entre familias extremas (1.6 cm) la diferencia calculada fue de 25.4%.

El crecimiento promedio en altura obtenido durante 1 año (2.4 a 3.4 años) por los árboles de las 64 familias del ensayo de progenie de *P. patula* fue de 162.9 cm y la familia 72 (Acaxochitlán, Hidalgo) sobresaliente tuvo 180.4 cm y el menor crecimiento en un año fue de 139.1 cm por la familia 35 que procede de Zacualtipán, Hidalgo. Respecto al incremento del diámetro normal la familia 66 (Tlahuiltepa, Hidalgo) tuvo 3.4 cm y el menor incremento en un año fueron 2.3 cm por la familia 59 con origen de Huayacocotla, Veracruz.

La variación genética en las características dasométricas a los 3.4 años en el ensayo de progenie se debió principalmente al error de muestreo (91.2%) y solo el 8.8% a la variación genética de la familia (altura). Para el diámetro la variación de 10.3% se le atribuye a la familia y 89.7% al error de muestreo.

Respecto a la precocidad del *P. patula* en el ensayo de progenie en el ejido Viborillas Ojo de Agua, Huayacocotla, Ver., se obtuvo que las 64 familias presentaron estróbilos masculinos (familias con mayor porcentaje que otras), sin embargo, en dos familias (44 y 46) ninguno de sus árboles presentó estróbilos femeninos a la edad de 3.4 años de plantados.

## 7. REFERENCIAS

- Achinelli, F. Goya, J. Sandoval, M. (2013). Silvicultura. Curso de Silvicultura, Guía de crecimiento. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Buenos Aires, Argentina.
- Anta, M. B., González, J. G. Á., Hidalgo, I. J. D. M., y Sánchez, C. A. L. (2004). Relación altura-diámetro generalizada para *Quercus robur* L. en Galicia. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, (18), 141-146.
- Avery, T. E. & H. E. Burkhart. (1994). Forest measurements. Ed. 4. McGraw-Hill, New York. 408.
- Barnes, R. D., & Schweppenhauser, M. A. (1978). *Pinus patula* Schiede and Deppe progeny tests in Rhodesia. Genetic control of nursery traits.
- Biblioteca UMAR. (s.f.). Capítulo 3. Medición de la altura de los árboles. (s.f.). Recuperado 22 de julio de 2024, de <http://bibliotecape.umar.mx:8080/Repositorio/files/original/fedb75fa4c8c720513b5af411e4932fb.pdf>
- Camacho, V. R., Hernández, L. D. C. M., y Landa, J. A. (1999). Evaluación de familias comunes de *Pinus patula* Schl. et Cham. establecidas en dos ensayos de progenie. Foresta veracruzana, 1(2), 19-24.
- Castelán Lorenzo, M., y Arteaga Martínez, B. (2009). Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham., en cortas bajo el método árboles padres. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 15(1), 49-57.
- Clark, N. A., Wynne, R. H., & Schmoldt, D. L. (2000). A Review of Past Research on Dendrometers. Forest Science 46(4): 570-576.
- Comisión Nacional Forestal. (2014). Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento a la Producción y Productividad. Zapopan, Jal. CONAFOR.

Comisión Nacional Forestal. (s.f.). Paquetes Tecnológicos. *Pinus patula* Schl. et Cham. Recuperado 11 de mayo de 2024, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/975Pinus%20patula.pdf>

Dvorak, W. S., Hodge, G. R., Kietzka, J. E., Malan, F., Osorio, L. F & Stanger, T. K. (2000). *Pinus patula*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources. North Carolina State University. Raleigh, USA. 148–173.

Dvorak, W. S., Donahue, J. K. & Vásquez, J. A. (1995). Early performance of CAMCORE introductions of *Pinus patula* in Brazil, Colombia and South Africa. *South African Forestry Journal* 174(1):23–33.

Escobar Sandoval M., Vargas Hernández, C., López Upton, J., Espinosa Zaragoza, S., y Borja de la Rosa, A. (2018). Parámetros genéticos de calidad de maderas. Crecimiento y ramificación de *Pinus patula*. *Madera y bosques* 24:1-11.

Escobedo Luna, T. (2023). Evaluación de las características morfo-anatómicas de dos ensayos de progenie de *Pinus patula* Schiede ex Schltld et Cham. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Espinel Hernández, G. A., Gutiérrez Munera, M., Vargas Espinosa, M. C., & Molina López, M. (2017). *Monografía- Pinus patula*. (Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín), Obtenido de SCRIBD.

Espinoza Pelcastre, C., Hernández León, S., Gernandt, D. S., Arce Cervantes, O., Rodríguez Laguna, R., y González Ávalos, J. (2018). Clave de identificación taxonómica con caracteres anatómicos foliares para especies de *Pinus* L. en Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 28-49.

Farjon, A., y Styles, B. T. (1997). *Flora Neotrópica Monograph 75 Pinus (Pinaceae)*. New York Botanical Garden.

- Falconer D. S. & Mackay, T. F. (1996). Introduction to quantitative genetics. 4th. ed. Longman Exxex, UK. 464.
- Flores Flores, C., López Upton, J., & Valencia Manzo, S. (2014). Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies.
- Flores, C., López, J., y Valencia, M. S. (2014). Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies. *Comisión Nacional Forestal–CONAFOR. Primera Edición. Jalisco–México.*
- Fuentes Amaro, S. L. (2022). Establecimiento de dos ensayos de progenie de *Pinus patula* Schiede ex Schltld. et Cham. en la zona centro de su distribución. Tesis doctoral. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Furnier, G. R. (2004). Métodos para medir variación genética en las plantas. In: Manejo de Recursos Genéticos Forestales. 2a edición. J. J. Vargas H., B. Bermejo V. y F. T. Ledig (eds.). Colegio de Postgraduados, Comisión Nacional Forestal. Montecillo, Edo. de México y Zapopan, Jalisco, México. 20-30.
- García, A. A., y González, M. S. (2003). Piceas de Durango. Instituto de Ecología, A. C. Comisión Nacional Forestal. México. 187.
- García Amaro, E. (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen: para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana.
- García Fernández, E. (2018). Estudio de una prueba genética de *Cedrela odorata* L., establecida en “La Pahuá”, Colipa, Veracruz (Doctoral dissertation, Universidad Veracruzana).
- García W. S., Posada H. M, Pérez G. A, Valdés J.R., Ramírez G. (2013). Sistema compatible de crecimiento y rendimiento para rodales coetáneos de *Pinus patula*, Rev. Fitotecnia Mexicana vol.36 no.2 Chapingo.
- Gernandt, D. S., y Pérez de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, 85, 126-133.

- Gutiérrez Flores, L. M. (2018). Diagnóstico de la enfermedad fúngica de *Pinus patula* y propuesta de biocontrol en Tétela de Ocampo, Puebla, Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Puebla.
- Gutiérrez Vásquez, B.N., Cornejo Oviedo, E.H., Zermeño González, A., Valencia Manzo, S., y Mendoza Villarreal, R. (2010). Conversión de un ensayo de progenies de *Pinus greggii* var. *greggii* a huerto semillero mediante eigenanálisis. *Bosque* 31 (1): 45-52.
- Hamilton, M. (2009) Population genetics. Hawiley-Blackwell. USA. 407 p.
- Husch, B., Miller, C. I. y Beers, T. W. (1982). Forest Mensuration. 3th Edition. John Wiley & Sons. N. York. 402.
- INEGI, Instituto Nacional de Geografía e Informática. (2019). Marco geoestadístico del INEGI. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825192242> (Consultado: agosto 2021).
- Infante G. S y G. P. Zárate de L. (1984). Métodos Estadísticos: un enfoque interdisciplinario. Ed. Trillas. 1<sup>era</sup>. Reimpresión. México. 643.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). Guía para la interpretación de cartografía: edafología: escala 1:250 000: serie III / Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México.
- Ipinza Roberto H. (1998). Mejoramiento genético forestal. Conif. Ficha técnica No 42. Santafé de Bogotá.
- Kageyama, P. Y., R. M. Speltz y A. P. Silva. (1977). Variação genética entre e dentro de progênies de *Pinus patula* Schiede e Deppe na região de Telêmaco Borba - PR. *IPEF* 15:21–39.
- Ladrach, W. E. and C. Lambeth. (1991). Growth and heritability estimates for a seven-year-old open-pollinated *Pinus patula* progeny test in Colombia. *Silvae Genetic* 40(5–6):169–173.

- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger and O. Schabenberger. (2006). SAS(R) for Mixed Models. 2nd ed. SAS Institute. Cary, USA. 814 p.
- López López M. A. y Caballero Deloya M. (2018). Análisis financiero de una plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. de pequeña escala. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(46):1-21 DOI: 10.29298/rmcf.v9i46.116
- Martínez Maximino. (1948). Los pinos de México. 2ª edición. Lugar de publicación desconocido, México: Ediciones Botas. 368 p.
- Martínez Santiago, D., Caballero Cruz, P., Filio Hernández, E., Garzón Trinidad, A., Ortiz Barrios, R., Cruz Santiago, O. L., ... y Sandoval García, C. (2021). Guía de densidad para el manejo de rodales naturales de *Pinus rudis* Endl. en Oaxaca. Revista mexicana de ciencias forestales 12(64): 23-44.
- Márquez, R.J., Ramírez García, E.O., y Cruz Jiménez, V. (2008). Estudio de conos de *Pinus teocote* Schl. et Cham de diez progenitores en una población del Cofre de Perote, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 10(1):47-52.
- Márquez, R.J., Rebolledo Camacho, V., y Contreras-Zayas, J. L. (2007). Variación de conos de *Pinus oaxacana* Mirov en una población de Los Molinos, Municipio de Perote, Veracruz. Foresta Veracruzana 9(2):45-50.
- Mendoza Aguilar, M. C. (2018). Medición del diámetro (DAP) de un árbol. LAVEP-UNAM.
- Morales González, E., López Upton, J., Vargas Hernández, J. J., Ramírez Herrera, C., y Gil Muñoz, A. (2013). Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. Revista Fitotecnia Mexicana, 36(2), 155-162.
- Moreno V., Mercadet, A., y Anton. 1986. Principios del mejoramiento genético forestal. En: Genética y mejoramiento arbóreo. Colectivo de autores. Noda J., A. L. V. Moreno. A. Gonzales R. A. Álvarez B. A. Mercadet. M. Anton. y



- M. Pérez S. (eds.). Centro universitario de Pinar del Río. Ministerio de educación superior. Enpes. La Habana, República de Cuba. 297.
- Mullin, T. J., Andersson, B., Bastien, J. C., Beaulieu, J., Burdon, R. D., Dvorak, W. S., King, J. N., Kondo, T., Krakowski, J., Lee, S. J., Mckeand, S. E., Pâques, L., Raffin, A., Russell, J. H., Skrøppa, T., Stoehr, M., & Yanchuk, A. (2011). Economic Importance, Breeding Objectives and Achievements. In: Plomion, C., J. Bousquet and C. Kole (eds). *Genetics, Genomics and Breeding of Conifers*. CRC Press. Taylor & Francis Group. Clemson, US. 40–127.
- Nyoka B. I. (2002). *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. In: CAB International (comp). *Pines of Silvicultural Importance*. London, UK. CABI Publishing. 303-316.
- Ortiz, G. R., Vásquez, M. E. R., del Valle, J. R. E., Ángeles, G. V. C., Velasco, V. A. V., y Hernández, A. H. (2021). Ensayos de progenies y huertos semilleros de especies forestales en México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas* 8(1), 79-88.
- Ospina, C., Hernández, R., Rincón, E., Sánchez, F., Urrego, J., Rodas, C., Ramírez, C & Riaño, N. (2011). Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona andina colombiana: El *Pinus patula* Schl et Cham. *FNC-Cenicafé. Colombia*.
- Perry J. P. (1991). *The pines of México and Central America*. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. USA. 231.
- Quiñónez Barraza, G., Cruz Cobos, F., Vargas Larreta, B., & Hernández, F. J. (2012). Estimación del diámetro, altura y volumen a partir del tocón para especies forestales de Durango. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(9), 23-39.
- Choque Mamani, R. (2017). *Manual para el productor forestal. Como cubicamos nuestra madera*. Primera edición.

- Rehfeldt, G. E., Leites, L. P., St Clair, J. B., Jaquish, B. C., Sáenz-Romero, C., López-Upton, J., & Joyce, D. G. (2014). Comparative genetic responses to climate in the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Clines in growth potential. *Forest Ecology and Management*, 324, 138-146.
- Rentería, A., Juárez, S. F., y Sánchez, L. R. (2014). Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz. México, *Madera y bosques*, 20(1). 85-96.
- Reyes, R. J., Aldrete A., Cetina, A. V. y López, U. J. (2005). Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* en sustrato a base de aserrín. *Revista Chapingo*, 11 (2): 105-110.
- Robinson, H. F y Cockerham, C. C. (1965). Estimación y significado de los parámetros genética, *Fitotecnia Latinoamericana*. Caracas. Venezuela. 2:23-38.
- Rodríguez, R. G. (2007). Estudios de variación y frutos y plantas de *Cedrela odorata* L. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. Tesis Maestro en Ecología Forestal. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 59.
- Romo D., H. Navarro, H. M. De los Santos, O. Hernández y J. López. (2014). Crecimiento maderable y biomasa aérea en plantaciones jóvenes de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Zacualpan, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5:78-91.
- Sáenz, R. C., y Plancarte, B. A. (1991). Metodología para el establecimiento y evaluación de ensayos de progenies en especies forestales. Serie de apoyo académico. No. 46. División de Ciencias Forestales. Chapingo. México. 47.
- Smith, W. R., Farrar, R. M., Murphy, P. A., Yeiser, J. L., Meldahl, R. S & Kush, J. L. (1992). Crown and basal área relationships of open-growth southern pines

- for modeling competition and growth. *Canadian Journal of Forest Research* 22: 341-347.
- Stanfield, W. D. (1971). *Genética. Teoría y 440 problemas resueltos*. Segunda ed. McGraw-Hill, México. 405.
- Ruiz Talonia, L. F. (2010). *Variación genética altitudinal entre procedencias de Pinus patula Schlttdl et Cham. en ensayos de vivero y campo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca* (Doctoral dissertation, Tesis Maestría en Ciencias Biológicas. Morelia, Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo).
- Vargas H., J. J. y J. López U. (2004). Diseños Genéticos y Métodos Estadísticos en la Evaluación del Germoplasma de Especies Forestales. *In: Vargas H., J. J., B. Bermejo V. y T. F. Ledig (eds). Manejo de Recursos Genéticos Forestales*. 2da ed. Colegio de Postgraduados. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, México. 128–145.
- Vega O., P.C. (1988). *Introducción a la Teoría de Genética Cuantitativa: con especial referencia al mejoramiento de plantas*. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela. 323.
- Velázquez M., Ángeles, A.G., Llanderal, T., Román, A. R y Reyes, V. (2004). *Monografía de Pinus patula*. SEMARNAT/CONAFOR. Colegio de Postgraduados. Jalisco, México. 124.
- Villareal, A Q. (2018). *Crecimiento de clones de Pinus patula en el huerto semillero de Ingenio del Rosario, Municipio de Xico, Veracruz*. Tesis de maestría. Instituto de Investigaciones Forestales.
- Vizcaíno Pantoja, M. I., & Pupiales Alvarado, J. C. (2008). *Evaluación del comportamiento de procedencias de Pinus patula Schlect. et Cham en dos sitios en las provincias de Imbabura y Pichincha* (Doctoral dissertation, Tesis de Ingeniera Forestal. Facultad de Ingeniería en Ciencias

- Agropecuarias y Ambientales. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador).
- Wabo, E. (2002). Medición de diámetros, alturas y edad del árbol. Curso de Biometría Forestal-Guía de clases. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Buenos Aires, Argentina.
- Wabo, E. (2002). Calidad de sitio e Índice de sitio. Curso de Biometría Forestal-Guía de clases. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ciencias Agraria y Forestales. Buenos Aires, Argentina.
- White, T. L., Adams, W. T. & Neale, D. B. (2007). Forest Genetics. CABI Publishing. Cambridge, USA. 682.
- Wormald, T. J. (1975). *Pinus patula*. Tropical Forestry No. 7. Oxford, UK: Department of Forestry, Oxford, Commonwealth Forestry Institute. 212.
- Wright, J. A., Osorio, L. F & Dvorak, W. S (1995). Recent developments in a tree improvement program with *Pinus patula* in Colombia. Forest Ecology and Management 72(2-3):229-234. doi: 10.1016/0378-1127(94)03457-8.
- Zerón, A. (2011). Biotipos, fenotipos y genotipos. ¿Qué biotipo tenemos? *Educación*, 2(1).
- Zobel B. J. y J. Talbert (1988). Técnicas de mejoramiento de árboles forestales. Limusa, México D. F. 545.