



# INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE SAN MIGUEL EL GRANDE

INSTITUTO TECNOLÓGICO DESCENTRALIZADO



---

---

---

## INGENIERÍA FORESTAL

“EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROGENIES SUPERIORES  
DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.”

### T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA

**MARÍA MERCEDES CERVANTES MACHUCA**

SAN MIGUEL EL GRANDE, TLAXIACO, OAXACA, 2021.

La presente tesis titulada **“EVALUACIÓN TEMPRANA DE UN ENSAYO DE PROGENIES SUPERIORES DE *Pinus pseudostrobus* Lindl.** Realizada por la alumna: **María Mercedes Cervantes Machuca**, bajo la dirección de la Comisión Revisora que se indica, ha sido aprobada por la misma para su impresión y aceptada como requisito parcial para obtener el título de:

## INGENIERO FORESTAL

### COMISIÓN REVISORA

DIRECTOR	 M.C. DANIEL MARTÍNEZ SANTIAGO
CO-DIRECTOR	 DR. GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ
REVISOR	 ING. ROSALINO ORTÍZ BARRIOS
REVISOR	 LIC. OCTAVIO LEMUEL CRUZ SANTIAGO

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande por brindarme las puertas y darme la oportunidad de poder lograr uno de mis metas, que es estudiar una carrera profesional.

Al Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz por haber aceptado y revisado este trabajo con sus duras y acertadas revisiones y por su apoyo brindado durante este proceso.

Al M.C. Daniel Martínez Santiago por su asesoría y aportaciones al trabajo y por su apoyo brindado.

Al Ing. Rosalino Ortiz Barrios por todo el apoyo y asesorías brindadas.

Al M.C. Marcos Emilio Rodríguez Vásquez, por el apoyo brindado durante la toma de datos en campo y por ser parte de mi vida.

Al Biólogo Octavio Lemuel Cruz Santiago, por el apoyo brindado en las revisiones en este trabajo.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo es el resultado de mucho empeño, dedicación y coraje de superación personal a lo largo de mi formación académica.

**CON AMOR Y CARIÑO A MI MADRE**

Sra. Sofía Machuca García

Por el apoyo incondicional que siempre me ha brindado, porque siempre que la he necesitado ha estado ahí para ayudarme y alentarme a seguir adelante, por su comprensión, cariño, consejos y amor.

A mis hermanos

Nicolás, Salomón, José, Francisco y Esmeralda

Con mucho cariño por todos esos momentos compartidos, porque siempre permanezcamos unidos como hasta ahora, porque siempre han confiado en mí y porque me han apoyado en las decisiones tomadas a lo largo de este camino.

A mis sobrinos

Nahomi Adelaida y Anderson Emanuel

Por ser parte de mi vida.

## RESUMEN

### Evaluación temprana de un ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrabus* Lindl

Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande

En México a partir de 1970 se desarrollaron las plantaciones forestales con el fin de conocer el crecimiento y desarrollo de algunas variables dasométricas; estas plantaciones comerciales inician con un plan de mejoramiento genético, que incluye la selección de las procedencias y las familias con adaptación y crecimiento mayor. El objetivo fue realizar la evaluación temprana de un ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrabus* Lindl establecidas en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. En octubre de 2013 se estableció el ensayo en los bosques de Ixtlán de Juárez, Oaxaca; el trasplante se hizo a ocho meses de edad, a una equidistancia entre plantas de 2 m; cada bloque contiene 40 familias con dos repeticiones, es decir, una densidad de 120 plantas por bloque con un total de 6 bloques; el ensayo fue rodeado por una línea de plantas borde de protección, los datos obtenidos fueron procesados utilizando el paquete SAS 9.4, se realizó el análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, 0.05). Los valores indicaron que el área de copa e IMA en volumen son un carácter altamente variable (CV > 65 %, hasta 81.9 %); en cuanto al incremento medio anual (IMA) para área basal en  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}/\text{año}$  y diámetro normal en  $\text{cm}/\text{año}$  la familia 15 presentó valores más altos con 3.14 y 1.49 respectivamente, la familia 15 presentó un incremento en volumen del  $12.41 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a los siete años de edad, seguido del 52A ( $11.46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ), 29 ( $11.33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ) y 2 ( $10.73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ) con relación al Testigo que presenta un incremento de  $8.15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ . El crecimiento inicial a 7 años permite una diferenciación entre familias con respecto al Testigo genético, siendo la familia 15 quien presentó un incremento en volumen del 52.3 % con respecto al Testigo.

**Palabras clave:** Crecimiento, densidad, Ixtlán de Juárez, mejoramiento genético, *Pinus patula*, volumen

## ABSTRACT

Early evaluation of progeny test of *Pinus pseudostrobus* Lindl

Instituto Tecnológico Superior de San Miguel el Grande

In Mexico, from 1970, forest plantations were developed in order to know the growth and development of some dasometric variables; These commercial plantations begin with a genetic improvement plan, which includes the selection of provenances and families with greater adaptation and growth. The objective was to perform the early evaluation of a trial of superior progenies of *Pinus pseudostrobus* Lindl established in Ixtlán de Juárez, Oaxaca. In October 2013, the trial was established in the forests of Ixtlán de Juárez, Oaxaca; the transplant was made at eight months of age, at an equidistance between plants of 2 m; each block contains 40 families with two repetitions, that is, a density of 120 plants per block with a total of 6 blocks; The test was surrounded by a line of protective border plants, the data obtained were processed using the SAS 9.4 package, the analysis of variance and tests of means were performed (Tukey, 0.05). The values indicated that the crown area and IMA in volume are highly variable (CV > 65%, up to 81.9%); Regarding the mean annual increase (IMA) for basal area in  $\text{m}^2\text{ha}^{-1}$  / year and normal diameter in cm/year, family 15 presented higher values with 3.14 and 1.49 respectively, family 15 presented an increase in volume of  $12.41 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  at seven years of age, followed by 52A ( $11.46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{year}$ ), 29 ( $11.33 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}/\text{year}$ ) and 2 ( $10.73 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}/\text{year}$ ) in relation to the Control that presents a increase of  $8.15 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}/\text{year}$ . The initial growth at 7 years allows a differentiation between families with respect to the genetic Control, being family 15 who presented an increase in volume of 52.3% with respect to the Control.

**Key words:** Growth, density, Ixtlán de Juárez, genetic improvement, *Pinus patula*, volume

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS .....	i
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Antecedentes .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Problema a resolver.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Objetivos .....</b>	<b>5</b>
1.4.1. General.....	5
1.4.2. Específicos.....	5
1.4.3. Hipótesis.....	5
<b>CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERARURA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Descripción de Pinus pseudostrobus Lindl .....</b>	<b>6</b>
2.1.1. Descripción botánica.....	6
2.1.2. Requerimientos ambientales .....	6
2.1.3. Ecología y distribución .....	7
2.1.4. Potencial y usos.....	7
<b>2.2. Importancia del mejoramiento genético .....</b>	<b>7</b>
<b>2.3. Nivel del mejoramiento genético .....</b>	<b>8</b>
<b>2.4. Antecedentes de los ensayos de progenie .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Importancia de los ensayos de progenie.....</b>	<b>9</b>
<b>2.6. Calidad genética de los ensayos de progenie .....</b>	<b>11</b>
<b>2.7. Estudios sobre mejoramiento genético forestal en México.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Localización .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Antecedentes del ensayo de progenies.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3 Inventario del ensayo .....</b>	<b>16</b>
3.3.1 Variables cuantitativas evaluadas.....	16
3.4.2. Variables cualitativas evaluadas .....	19
<b>3.5. Análisis estadístico .....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>21</b>
<b>4.1. Resultados .....</b>	<b>21</b>

4.2. Discusión.....	29
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN.....	31
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES .....	32
CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA .....	33

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza de variables dasométricas de familias selectas de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. ....	21
Cuadro 2. Comportamiento de variables cualitativas de fenotipos selectos de <i>Pinus pseudostrobus</i> .....	22
Cuadro 3. Variables de diámetro y altura a 7 años de 40 familias de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. ....	23
Cuadro 4. Variables de copa, volumen y área basal a 7 años de 40 familias de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. ....	24
Cuadro 5. Variables de incremento medio anual a 7 años de 40 familias de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. ....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del ensayo de progenie de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en el municipio de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. ....	13
Figura 2. Diseño experimental para ensayo de progenies de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. ....	15
Figura 3. Medición de altura total con ayuda de una vara graduada. ....	16
Figura 4. Medición de diámetro de copa. ....	17
Figura 5. Medición de los vecinos más cercanos al árbol centro. ....	18
Figura 6. Crecimiento en diámetro normal de las mejores familia de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl, con respecto al testigo (T). Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). ....	27
Figura 7. Altura total por familia de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. T = testigo. Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). ....	27
Figura 8. Incremento medio anual (IMA) por familia de <i>P. pseudostrobus</i> Lindl. T = Testigo. Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05). ....	28

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En México las plantaciones forestales se desarrollaron a partir de 1970 con el fin de conocer el crecimiento y desarrollo de algunas variables dasométricas. Sin embargo, el tema de las plantaciones comerciales es muy reciente y está tomando auge muy importante en diferentes partes del mundo y México no es la excepción (Morales, 2012). Es necesario disponer de suficiente semilla (germoplasma) de calidad genética superior, con el fin de establecer plantaciones forestales comerciales y de restauración. Una de las alternativas mejor adecuada es el establecimiento de huertos semilleros con árboles mejorados genéticamente, para ello, es necesario utilizar semillas de individuos superiores; es decir, seleccionados de acuerdo a características fenotípicas sobresalientes y de importancia económica (Morales *et al.*, 2013), por lo que es necesario tener un control y determinar la calidad genética de las progenies derivadas de los árboles seleccionados.

White *et al.* (2007) describen que un programa de mejora genética inicia con la selección de árboles superiores con base en su fenotipo, por lo que es esencial determinar la calidad de estos árboles a través de la evaluación del crecimiento de su progenie en los terrenos donde se establecen las plantaciones.

Para una fuente de semillas forestales, en términos generales, es importante el origen (procedencia, familia e individuo) de donde se obtiene el germoplasma para los programas de plantaciones de un sitio o región; aunque la mayoría de los esfuerzos se han enfocado a la determinación de las especies adecuadas y en el mejor de los casos las procedencias más productivas, es necesario también, identificar a las mejores familias e incluso los mejores individuos de cada especie para un sitio específico (Márquez, 2007).

Sin embargo, cuando los ensayos de evaluación se realizan en varias localidades se genera un comportamiento diferencial entre las progenies de diferentes árboles, según el ambiente particular, conocido como interacción genotipo-ambiente (White *et al.*, 2007).

El mejoramiento genético forestal se enfoca en el aumento y calidad de los árboles y su adaptabilidad a cambios ambientales (White *et al.*, 2007); Parra *et al.* (2016) señalan que las pruebas de progenie permiten incrementar la producción de madera por unidad de superficie, acortar los ciclos de producción, mejorar la calidad, aumentar la resistencia a plagas y enfermedades, adaptarse a los factores ambientales y ocupar sitios improductivos.

Las plantaciones comerciales inician con un plan de mejoramiento genético, que incluye la selección de las procedencias y las familias con adaptación y crecimiento mayor. Diversas empresas forestales investigan la mejora genética de *Pinus pseudostrobus* Lindl y desarrollan individuos con características de crecimiento mejores que los silvestres (CAMCORE, 2007); esta especie es sobreexplotada como madera en rodales naturales y en ocasiones se encuentra asociada con *P. montezumae* Lamb. (Manzanilla, 2013; Villegas-Jiménez *et al.*, 2016), estudios han evidenciado cruzamientos interespecíficos permitiendo así el incremento en la variación genética entre especies (Castellanos-Acuña *et al.*, 2013). Por lo anterior, se estableció ensayos de procedencias con el fin de conocer el crecimiento y desarrollo de variables dasométricas para fines maderables.

## 1.2. Problema a resolver

En México el principal problema relacionado con el mejoramiento genético forestal, es la falta de organización en la obtención de materiales de alta calidad genética que aseguren una viabilidad en vivero y por consiguiente, la sobrevivencia y producción de madera; hay registro de ensayos mejorados pero no existen antecedentes del origen de lo mencionado anteriormente, esto puede conllevar a una producción de semilla con resultados bajos de germinación, dando como resultado poca superficie plantada y por consiguiente una baja producción de madera (SEMARNAT, 2000).

Acosta *et al.* (2010) mencionan que la industria forestal en Ixtlán de Juárez, tiene como principal materia prima cuatro especies del género *Pinus*; de las cuales se mezclan *P. patula* Schl et Cham y *P. oaxacana* Mirov, mientras que *P. pseudostrobus* Lindl y *P. ayacahuite* Ehren son distribuidas por separado, ya que son consideradas maderas finas y caras. Debido a lo anterior, estas especies han tenido un manejo forestal utilizando el Método de Desarrolla Silvícola (MDS) y Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI) para su comercialización; de igual forma, en 2010 se realizó una plantación de *Pinus pseudostrobus* Lindl utilizando semilla colectada de su bosque y producida en la comunidad sin embargo no se realizó un seguimiento posterior de la plantación (Ramírez *et al.*, 2015), este manejo presenta árboles con germoplasma desconocido, es decir que no se encuentra información ni registro de donde proviene. Es por ello la importancia de evaluar estas características de historia de vida de las procedencias de *P. pseudostrobus* de árboles superiores selectos de los rodales naturales de la comunidad de Ixtlán, Oaxaca.

### 1.3. Justificación

El mejoramiento genético en los bosques es de gran importancia ya que busca iniciar actividades conducentes a la recuperación y mejoramiento genético de las masas forestales en las regiones del estado (Muñoz *et al.*, 2013b); así mismo, fomentar la producción de semillas de fenotipos de mejor calidad para utilizarlas en la propagación de planta para plantaciones forestales y producción maderable (Bernal, 2018).

Esa alternativa es la mejor opción siempre y cuando se tenga un buen registro de todo el proceso; además de conservar el acervo genético de las especies forestales del estado; en 2013 se estableció un ensayo de *Pinus pseudostrobus* Lindl en Ixtlán de Juárez, Oaxaca (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016) con la finalidad de cumplir con la demanda maderable; es decir; seleccionar los fenotipos deseables.

El presente proyecto de investigación se realizó con la finalidad de aplicar una estrategia de mejoramiento genético efectiva para el desarrollo de la actividad forestal dentro del municipio de Ixtlán de Juárez, garantizando una alta producción maderable, en cuanto a origen y procedencia.

Una vez logrado el éxito de identificar las características heredables y retirar los individuos sin heredabilidad, el ensayo se convertirá en huerto semillero con la confiabilidad de obtener semilla de calidad para la producción de madera.

## **1.4. Objetivos**

### 1.4.1. General

Realizar la evaluación temprana de un ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrobus* Lindl establecidas en Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

### 1.4.2. Específicos

- Evaluar el crecimiento e incremento inicial entre y dentro de familias de árboles selectos, así como el efecto del bloque en características maderables cuantitativas.
- Analizar el comportamiento de variables cualitativas en progenies de siete años de edad que determinan la calidad de la madera.

### 1.4.3. Hipótesis

Por lo menos una progenie obtendrá un incremento medio anual de un 30% en diámetro y altura mayor que el Testigo.

## CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERARURA

### 2.1. Descripción de *Pinus pseudostrobus* Lindl

#### 2.1.1. Descripción botánica

*Pinus pseudostrobus* Lindl. es una especie endémica de México con alta variación genética y altitudinal, se sobreexplota como madera en rodales naturales y en algunos sitios se encuentra asociada con *P. montezumae* Lamb., razón por la que se han evidenciado cruzamientos interespecíficos (Viveros-Viveros *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2007; Sáenz-Romero *et al.*, 2012; Castellanos-Acuña *et al.*, 2013).

Es una especie propuesta para la reforestación, agroforestería y plantaciones comerciales de madera porque posee características deseables de calidad de madera y alta productividad aunado a la alta diversidad genética (Sáenz *et al.*, 2011; Cambrón *et al.*, 2013). La presencia de alta diversidad genética y amplia distribución, son elementos que ayudan a sustentar un programa de mejoramiento genético de *P. pseudostrobus* Lindl a largo plazo, pero se requiere incrementar el conocimiento sobre la biología de la especie, dinámicas poblacionales y caracteres heredables con fines de explotación maderable (Villegas, 2014).

Estudios previos de *P. pseudostrobus* Lindl han documentado que posee cierta resistencia a plagas como *Heterotermes sp*; además de alto crecimiento inicial en condiciones de competencia en ensayos de campo (Sáenz *et al.*, 2011; Cambrón *et al.*, 2013) y en rodales naturales es altamente productivo alcanzando desde 10 a 50 m de altura entre 18 y 40 años de edad (Sáenz *et al.*, 2011).

#### 2.1.2. Requerimientos ambientales

Esta especie presenta un amplia distribución altitudinal de 1600 a 3250 m; en climas templados a templados cálidos, entre de temperaturas que oscilan de -9.0 a 40 °C y en México se ubica entre 17° 15' a 29° 25' LN y 92° 5' a 108° 35' LO (Sáenz *et al.*, 2011; Cambrón *et al.*, 2013).

### 2.1.3. Ecología y distribución

Esta especie se distribuye en México en los estados de Jalisco, Michoacán, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas, y en Totonic, Quetzaltenango y Sacatepequez, Guatemala. La especie está adaptada a climas que van desde templados-fríos a templado-cálidos, en elevaciones de 1900 a 3000 m, con precipitación anual de 800 a 1500 (Viveros-Viveros *et al.*, 2005). Ésta amplia distribución geográfica supone una gran diversidad genética que puede ser aprovechada para fines productivos.

Según Perry (1992) y Narave y Taylor (1997) se asocia con otras coníferas, particularmente *P. montezumae* Lamb y *P. chiapensis* (Martínez) Andresen, así como *Abies religiosa* Kunth Schltdl. *et* Cham.

### 2.1.4. Potencial y usos

*Pinus pseudostrobus* Lindl es una especie de alto interés maderable comercial, como especie de reforestación y restauración ecológica en las regiones templadas del centro y sur de México, debido a sus ventajas de rápido crecimiento inicial o establecimiento, calidad de madera, alta productividad y resistencia a plagas. Además está clasificada como una de las mejores especies en producción de madera aserrada, para construcción y triplay, durmientes, tableros de partículas, artesanías, ebanistería, muebles, resina, chapa, papel, celulosa y cajas de empaque, entre otros usos (Viveros-Viveros *et al.*, 2005; Viveros-Viveros *et al.*, 2006; Sáenz *et al.*, 2011; Cambrón-Sandoval *et al.*, 2014).

## 2.2. Importancia del mejoramiento genético

Cuando se inicia un programa de mejoramiento genético forestal el silvicultor enfrenta el desafío de seleccionar de los mejores genotipos. Esto se dificulta en la primera generación de mejora, debido a que la selección se realiza con base al fenotipo. Sin embargo, a medida que se avanza en el programa, la información que se obtiene permite desglosar los componentes de la varianza fenotípica: varianza genética, varianza ambiental y varianza genético ambiental (Alba-Landa *et al.*, 2008), expresadas en características fisiológica, morfológica, sanitaria y biológica de los individuos, todo esto ayuda a generar índices de selección más eficientes.

Para lo cual, según Torres (2000) es indispensable utilizar metodologías de evaluación más eficientes de la selección.

Los árboles tienen la capacidad de heredar sus características a su progenie (Trujillo, 2005). A esta variabilidad se le atribuye el acervo genético fundamental que dirige el manejo del recurso forestal presentes en sus especies y en sus poblaciones; por lo anterior, al ser evaluada en función de objetivos, se puede manipular para obtener beneficios como ganancias genéticas buscando su homogeneización al disminuir su variación (Alba-Landa *et al.*, 2008).

El mejoramiento genético es la manipulación en la variación existente, la cual a través de la variación fenotípica se obtiene como resultado la variación en desarrollo (edad), variación ambiental y variación genética. Así mismo, el mejoramiento genético forestal se enfoca al control de fuentes parentales con base a la combinación de la genética y la silvicultura dando como resultado el incrementar la productividad del bosque en a un corto plazo y con un bajos costo (Morales, 2012).

### **2.3. Nivel del mejoramiento genético**

En México los programas de mejoramiento genético *ex situ* son muy incipientes, todos caen dentro de la categoría denominada “primera generación” y son de tamaño reducido. De las 21 instancias con proyectos de mejoramiento genético, se cuenta con 21 huertos semilleros sexuales (HSS), 5 huertos semilleros asexuales (HSA) y 5 bancos clonales (BC) (CONAFOR, 2012).

En las últimas cinco décadas se comprobó que los árboles tienen la capacidad de transferir características a su descendencia. Razón fundamental que sostendrá en el futuro la silvicultura que distinguirá a México en proporción con su gran diversidad de especies de árboles y que sustituirá la actividad actual (Alba-Landa *et al.*, 2005).

La capacidad de heredar las características que tienen los árboles a su progenie está íntimamente ligada a la variabilidad que en conjunto presenten las poblaciones de especies. Esta variabilidad constituye el acervo fundamental que dirige el manejo del recurso genético contenido en las especies y sus poblaciones, la cual al ser reconocida y evaluada en función de objetivos específicos, se puede manipular para obtener altas ganancias genéticas buscando su homogeneización al disminuir la

variación y por otro lado se pueden proteger especies y poblaciones buscando la heterogeneización en poblaciones naturales o inducidas que contengan variabilidad y que mantenga una variación que induzca diversidad para garantizar descendencias que se aseguren esquemas nuevos de adaptación y fuerza evolutiva natural (Alba, 2007).

Acosta *et al.* (2010) describen que, dada la importancia de la actividad forestal en Oaxaca, es necesario hacer más eficiente los procesos de manejo forestal para estabilizar la productividad y garantizar beneficios a largo plazo. En este contexto, se busca homogeneizar el crecimiento de árboles, a través del mejoramiento genético para incrementar la productividad, lo que repercute en mayores ingresos por venta de madera, servicios y otros productos.

#### **2.4. Antecedentes de los ensayos de progenie**

Existen estudios que han determinado las mejores especies productivas entre procedencias; por lo que, es necesario identificar las mejores poblaciones e incluso los mejores individuos dentro de poblaciones para propagarlos y establecer plantaciones. En este contexto, los ensayos de progenie permiten conocer el potencial de un individuo a través de su descendencia (Alba-Landa, 2008). Esto conlleva a un mejoramiento de varias características a la vez (Valencia y Vargas, 2000), y por consecuencia una plantación experimental de material genético, más eficiente y productiva (Zapata y Hasbun, 2011).

#### **2.5. Importancia de los ensayos de progenie**

Los ensayos de procedencias y evaluaciones tempranas en *Pinus* y otras especies maderables son de gran utilidad para describir la variación genética de las poblaciones y conocer la respuesta en diferentes ambientes y estratos altitudinales con micronichos o algún manejo forestal específico; todo esto en función de las herramientas descriptivas utilizadas ya sean marcadores moleculares o evaluaciones agroforestales (Naydenov *et al.*, 2005; Cambrón *et al.*, 2013).

La información resultante de las evaluaciones de procedencias es de gran importancia para la selección de poblaciones, familias o individuos sobresalientes para utilizarse como progenitores en programas de mejoramiento genético o de

reforestación. Por esta razón, las evaluaciones de procedencias ayudan a una mejor descripción y selección de las poblaciones e individuos de diferentes orígenes geográficos con base en caracteres de eficiencia productiva forestal (Alba-Landa *et al.*, 2003; Hernández-Martínez *et al.*, 2007; Alba-Landa *et al.*, 2008; Zapata y Hasbun, 2011; Soto-Correa *et al.*, 2012).

Los principios de heredabilidad son perfectamente aplicables a las especies estudiadas y que además encuentran amenazada su existencia por los sitios que ocupan para su desarrollo en franca competencia con la agricultura y ganadería, por lo que asegurar su permanencia así como su industrialización requiere un eficaz manejo práctico de su mejoramiento (Alba-Landa *et al.*, 2008).

Esto se logra a través del desarrollo de un programa de mejoramiento genético forestal, primeramente con la localización de rodales semilleros de la especie elegida con características deseadas para los fines establecidos, con lo cual se logra obtener la semilla requerida; a partir de estos rodales es posible establecer áreas semilleras, las cuales se distinguen del rodal por la intensidad de selección a la que es sometida y su manejo para la producción de semilla con mayores ganancias genéticas (Ramírez, 2000).

En este contexto y considerando la necesidad de restaurar sitios degradados es importante dentro del programa de mejoramiento genético forestal, el establecimiento de ensayos de especies a partir de los cuales se prueban especies distintas para conocerlas mejor en un sitio definido. Igualmente los ensayos de progenie y de procedencias/progenie permitirán conocer el valor genético de un individuo a través del comportamiento de su descendencia y de individuos de diferentes sitios cuando se trata de la evaluación de procedencias (Alba-Landa *et al.*, 2008), fundamentado en la gran variedad de ambientes en que se desarrolla una especie con el objetivo de determinar acertadamente las fuentes de reproducción en el establecimiento de plantaciones.

Es decir, los ensayos de especies y procedencias y los de procedencia/progenie consisten en probar la adaptabilidad que presenta una especie exótica o nativa, o una procedencia en un lugar determinado e incluso su progenie para detectar

aquella que sea la más productiva en la región y recomendarla para reforestación, utilizando técnicas como: selección, cruzamiento y pruebas de descendencia en los árboles, para mejorar la calidad de los bosques (Alba-Landa *et al.*, 2002). En particular, los ensayos de procedencias en etapas tempranas de desarrollo buscan relacionar el comportamiento inicial con su comportamiento en edad adulta respecto a calidad maderable, principalmente (Ortega *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2003).

## **2.6. Calidad genética de los ensayos de progenie**

Una forma de determinar la calidad genética es a través de la evaluación del crecimiento de la progenie, de preferencia en los terrenos donde se establecerán las plantaciones (Clausen, 1990). Un ensayo de progenies es una evaluación de los progenitores con base en la respuesta de su descendencia, y sirve para determinar el valor genético de los árboles inicialmente seleccionados, así como otros parámetros genéticos (Morales *et al.*, 2013). Sin embargo, los ensayos de progenies son caros y su costo aumenta conforme avanza la edad de los individuos, por lo que se practica la selección temprana (White *et al.*, 2007), a una edad anticipada en la que se evalúa una característica de manifestación precoz fuertemente correlacionada con un carácter de interés económico a la edad madura (Vargas-Hernández y Adams, 2002).

## **2.7. Estudios sobre mejoramiento genético forestal en México**

En México, el mejoramiento genético se desarrolló a principios de la década de los 50; constituyendo la parte operacional de los programas de manejo forestal. *Pinus pseudostrobus* es una especie de importancia económica por su uso en la producción de madera aserrada y derivados, ya que el crecimiento es relativamente rápido, tiene buena forma de fuste y excelente calidad de la madera (López-Upton, 2002), ya que es muy apropiada en el establecimiento de plantaciones comerciales. Viveros- Viveros *et al.* (2005), establecieron dos ensayos de progenies de *Pinus pseudostrobus* Lindl determinando la variación genética altitudinal en el crecimiento, supervivencia y resistencia a heladas entre poblaciones de la especie. Utilizando semilla recolectada de ocho poblaciones a lo largo de un gradiente altitudinal (2100 y 2800 m) en bosques de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México.

Viveros-Viveros *et al.* (2006) establecieron un ensayo de nueve procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl; a dos diferentes altitudes (2200 y 2800 m) en Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México con el propósito de determinar la variación genética entre procedencias en características del crecimiento, supervivencia, daños por heladas y el grado de interacción genotipo x ambiente.

Farfán *et al.* (2002), establecieron un ensayo de progenies de *Pinus ayacahuite* EHREN. var. *ayacahuite* con el propósito de evaluar la eficiencia de selección temprana; donde estimaron el control genético en el crecimiento en altura y diámetro para edades de 3 a 13 años, así como las correlaciones genéticas edad en un ensayo de 42 familias de polinización libre. Incluyeron (los grupos de poblaciones, un grupo del Sur de México y otro de Centroamérica). Vargas *et al.* (2014) evaluaron parámetros genéticos del crecimiento inicial en altura y diámetro de 15 familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* a través del tiempo. Zitácuaro y Aparicio (2004) realizaron un estudio bajo condiciones de vivero en Los Molinos, Veracruz y Humeros y Derrumbadas, Puebla, en donde evaluaron el crecimiento inicial en plántulas de un año de edad de *Pinus oaxacana* Mirov de tres procedencias.

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Localización

La comunidad de Ixtlán de Juárez está localizada al noreste de la ciudad de Oaxaca, en la región Sierra Norte a 61 km, siguiendo la carretera Federal No. 175 Tuxtepec-Oaxaca (Figura 1) (TIASA, 2003). El ensayo de progenies se localiza en rodales bajo manejo forestal de la comunidad, a 2753 m de altitud en las coordenadas 17° 36' LN y 96° 45' LO en exposición este.

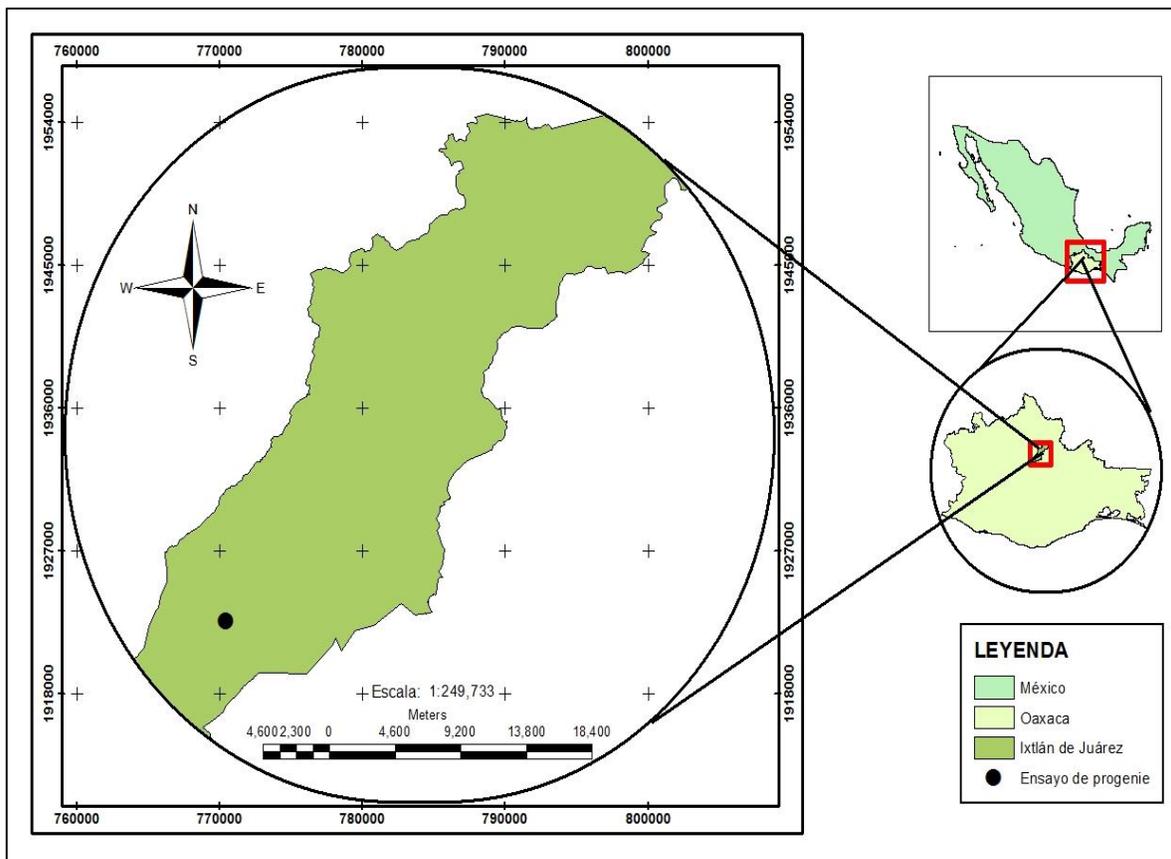


Figura 1. Ubicación geográfica del ensayo de progenie de *Pinus pseudostrobus* Lindl en el municipio de Ixtlán de Juárez, Oaxaca.

### 3.2. Antecedentes del ensayo de progenies

De octubre de 2012 a enero de 2013 se realizaron recorridos por los bosques de pino-encino, entre altitudes de 2440 y 2960 m en rodales naturales de Ixtlán, Oaxaca, México. De los fenotipos selectos de *P. pseudostrobus* Lindl se colectó

semilla de 40 plantas, designados como procedencias de progenitores sobresalientes maderable con diferentes características dasométricas (edad en años, diámetro normal en cm, rectitud del fuste, diámetro de copa en m y volumen estimado en m<sup>3</sup>) y la ubicación geográfica (altitud del sitio en m, latitud norte y longitud oeste).

Las semillas de cada progenitor (= familia) fueron sembradas en el mes de febrero de 2013 en charolas de plástico de 49 cavidades de 175 cm<sup>3</sup> que contenían un sustrato compuesto por mezcla de turba (40%), vermiculita (30%) y perlita (30%), en el vivero forestal de Ixtlán de Juárez de la Sierra Norte de Oaxaca (17° 20' LN y 96° 29' LO, a 2030 msnm). Las características climatológicas de la ubicación del vivero son 18.3 °C y 759.3 mm de temperatura y precipitación medias anuales (Zacarías-Eslava y Del Castillo, 2010). La distribución de familias se hizo por charola (=unidad experimental) en un arreglo completamente al azar con tres repeticiones.

El establecimiento de progenies se realizó el 1 de octubre de 2013, en los bosques de Ixtlán de Juárez, Oaxaca; el trasplante se hizo a ocho meses de edad, con una distancia entre plantas de 2 m; cada bloque contiene las 40 familias con dos repeticiones, es decir, una densidad de 120 plantas por bloque con un total de 6 bloques; el ensayo fue rodeado por una línea de plantas borde de protección (Figura 2).



### 3.3 Inventario del ensayo

Se realizó un inventario en el ensayo evaluando variables cuantitativas y cualitativas como, diámetro normal, diámetro de tocón, diámetro de base, altura de fuste limpio, altura total, diámetro de copa, distancia entre los cuatro árboles vecinos más cercanos, rectitud de fuste, ángulo de ramas, forma y sesgo de la copa y posición sociológica.

#### 3.3.1 Variables cuantitativas evaluadas

Una vez ubicado la distribución de las familias, se empleó una cinta diamétrica para la medición del diámetro normal con corteza, diámetro de la base a ras del suelo en cm y diámetro de tocón en cm a 0.30 m del suelo; para altura total se utilizó una vara graduada en metros; en cuanto a la altura de fuste limpio se midió con un flexómetro (Truper de 8 m de longitud) del suelo hasta donde inicia la primera rama (Figura 3).



Figura 3. Medición de altura total con ayuda de una vara graduada.

La longitud de copa (m), se calculó restando la altura del fuste limpio a la altura total; el diámetro de copa (m), se obtuvo con la ayuda de un flexómetro, se midió la copa en dirección norte (N) a sur (S) y de este (E) a oeste (O) para obtener el área de copa, a partir del fuste se visualizó hasta donde se extienden las ramas más largas de la copa (Figura 4).



Figura 4. Medición de diámetro de copa.

Para la distancia entre los cuatro árboles vecinos más cercanos se midió con la ayuda del flexómetro en m; se visualizó los cuatro cuadrantes, con forme a las manecillas del reloj se midió de la base del árbol centro a la base del vecino más cercano (Figura 5); posteriormente se calculó la densidad  $ha^{-1}$  dividiendo 10000 entre el promedio de las cuatro distancias de los vecinos elevado al cuadrado, utilizando la siguiente formula (Muñoz *et al.*, 2013a):

$$\frac{10000}{(Dis\ tan\ cia\ promedio\ de\ vecinos\ más\ cercanos)^2} = Densidad\ (\text{árboles}\ ha^{-1})$$



Figura 5. Medición de los vecinos más cercanos al árbol centro.

Para la estimación del volumen total por árbol se utilizó el modelo lineal desarrollado por Vargas-Larreta *et al.* (2017), para *Pinus pseudostrobus* Lindl de la UMAFOR 2001.

$$V = \beta_0 \times d^{\beta_1} \times h^{\beta_2} + \beta_3 \times d^2$$

Donde:

$V$ = volumen

$d$ = diámetro normal (cm)

$h$ = altura total (m)

$$\beta_0 = 0.0000484$$

$$\beta_1 = 1.9098935$$

$$\beta_2 = 0.9957073$$

$$\beta_3 = 0.0000377$$

El área basal se obtuvo con la siguiente fórmula (Muñoz *et al.*, 2013a):

$$AB = \frac{\pi}{4} (d^2)$$

Donde:

$AB$ = área basal ( $m^2$ )

$d$ = diámetro (m)

$\pi/4$ = constante (0.7854)

Además, se calculó el IMA para las variables volumen, área basal, diámetro normal y altura total; se obtuvo mediante el producto de cada variable y la densidad (árboles ha<sup>-1</sup>) entre la edad de la plantación (7 años):

$$IMA = \frac{Variable \times NAHA}{edad}$$

Donde:

*Variable*= volumen (m<sup>3</sup>), área basal (m<sup>2</sup>), diámetro normal (cm) y altura total (m); por árbol.

*NAHA*= número de árboles ha<sup>-1</sup>

*IMA*= incremento medio anual

#### 3.4.2. Variables cualitativas evaluadas

Se evaluaron las variables cualitativas de acuerdo al manual Muñoz *et al.* (2013a). Se evaluó la rectitud del fuste de todos los árboles; para determinar esta variable, el árbol presenta un nivel de rectitud de fuste; es decir, se realizó la observación en las cuatro caras (N, S, E y O), así como al pie del árbol. Se le asignaron cero puntos para fustes torcidos, curvos o pandos y cinco puntos para fustes rectos.

El ángulo de ramas se realizó visualmente entre todos los árboles. El árbol que presentó un ángulo de ramas cercano a 90° con respecto al fuste se le asignó de uno a dos puntos y menor o igual a 45° se le asignó cero puntos.

Con respecto a la forma y sesgo de la copa se consideró la conformación, densidad del follaje, dominancia y radio de la copa; estas características se evaluaron subjetivamente, se le asignó de 0 a 5 puntos, dependiendo de la superioridad de cada árbol.

Además de las variables mencionadas anteriormente, se determinó la dominancia de copa de los árboles; es decir, como árboles dominantes, codominantes, intermedios y suprimidos de acuerdo a su altura total; así mismo, se identificó aquellos árboles que presentaron bifurcación.

### 3.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante diseño en bloques completos al azar (Muñoz *et al*, 2013a):

$$y_{ij} = \mu + \beta_j + f_i + \ell_i$$

Donde:

$y_{ij}$  = Variable respuesta

$\mu$  = Media general

$\beta_j$  = Efecto del bloque

$f_i$  = Efecto del fenotipo (familia)

$\ell_i$  = Error experimental

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el paquete SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2012), se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks ( $\alpha = 0.05$ ), además las variables dasométricas se transformaron en exponencial utilizando la ecuación  $e^{\sqrt{x+1}}$  para cumplir la homogeneidad; posterior se realizó el análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, 0.05); además, en cuanto a las variables cualitativas se realizó el análisis de varianza no paramétrico mediante la prueba de Kruskal-Wallis para diferenciar familias ( $\alpha = 0.05$ ).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

Las familias evaluadas de *Pinus pseudostrobus* mostraron diferencias altamente significativas en casi todas las variables evaluadas ( $p \leq 0.01$ ), excepto en altura de fuste limpio, donde las familias fueron estadísticamente iguales ( $p > 0.05$ ). Algo importante que ocurrió en el diseño experimental fue la diferenciación de los bloques (repeticiones dentro de familias) ( $p \leq 0.01$ ), excepto en diámetro normal, AB e IMA en AB y DN; la significancia de los bloques permite reducir el error experimental (Cuadro 1).

Los valores del coeficiente de variación calculados indicaron que el área de copa e IMA en volumen son un carácter altamente variable (CV > 65 %, hasta 81.9 %). Es decir, la mayor heterogeneidad obtenida entre familias se debieron a las condiciones variables de densidad en las que se encuentra el ensayo; contrariamente al volumen y área basal (CV < 1 %) quienes presentaron caracteres homogéneos.

Cuadro 1. Resumen del análisis de varianza de variables dasométricas de familias selectas de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Variable	Familia	Bloque	Error	CV (%)
Diámetro de base	320.58**	1096.39**	120.6	27.20
Diámetro de tocón	219.13**	814.08**	84.52	28.25
Diámetro normal	120.36**	73.51 <sup>ns</sup>	50.13	29.18
Altura fuste limpio	0.19 <sup>ns</sup>	1.34**	0.22	10.72
Altura total	19.98**	141.39**	7.5	17.62
Área de copa	1467.35**	9632.85**	694.41	65.88
Volumen	0.00063**	0.00059**	0.00024	0.56
Área basal	0.0000306**	0.0000178 <sup>ns</sup>	0.00001283	0.13
IMA volumen	962.62**	2349.87**	438.18	81.95
IMA área basal	6.73**	5.43 <sup>ns</sup>	2.76	27.55
IMA diámetro normal	0.41**	0.21 <sup>ns</sup>	0.17	9.16
IMA altura total	0.10**	0.73**	0.04	5.09
Longitud de copa	13.91**	95.58**	5.28	18.71

Dónde: IMA = incremento medio anual. CV= coeficiente de variación. \*\*= altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). \*= significativo ( $p \leq 0.05$ ). <sup>ns</sup>= no significativo ( $p > 0.05$ ). Todas las variables se transformaron a  $\left( e^{\sqrt{x+1}} \right)$ .

Se encontraron altas diferencias significativas entre familias ( $p < 0.05$ ) en cuanto a las variables cualitativas, excepto la forma y sesgo de la copa y rectitud de fuste, los cuales mostraron un comportamiento uniforme (Cuadro 2). De igual forma, los valores del coeficiente de variación para la bifurcación son de carácter altamente variable ( $CV > 150\%$ ) seguido del ángulo de las ramas ( $CV = 45.7$ ), esto debido a que se intuye que al momento de la plantación se dañaron las yemas apicales de las plántulas al colocarles etiquetas metálicas; por otra parte, la forma y sesgo de la copa presentó menor heterogeneidad ( $CV = 14.7\%$ ) es decir, mayor similitud de copas entre familias (Cuadro 2), debido a que las diferencias entre familias dependen de las condiciones de densidad en las que se encuentra el ensayo.

Cuadro 2. Comportamiento de variables cualitativas de fenotipos selectos de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Variable	Media	Error	CV (%)
Rectitud de fuste	0.623 <sup>ns</sup>	0.557	16.5
Ángulo de rama	0.784 <sup>**</sup>	0.386	45.7
Forma y sesgo de copa	0.416 <sup>ns</sup>	0.449	14.7
Posición sociológica	0.754 <sup>**</sup>	0.372	39.6
Bifurcación	1.226 <sup>*</sup>	0.817	154.3

Dónde: CV= coeficiente de variación. \*\*= altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ). \*= significativo ( $p \leq 0.05$ ). ns= no significativo ( $p > 0.05$ ).

Para el diámetro normal se encontró una proporción con el mismo número de familias por arriba del Testigo, siendo los árboles 15, 52A y 28 algunos de los más altos con 10.46, 10.32 y 10.30; de igual forma, para la altura total las familias 2, 16 y 52A con 7.36, 7.15 y 7.10 respectivamente (Cuadro 3); para el área de copa sólo ocho familias se encontraron por arriba del Testigo, siendo el 52A con 14.65 el más alto y concordando que el 15 se encuentra entre los más altos en área de copa y número de árboles por hectárea; por otro lado, en volumen y área basal las mejores familias son 15, 52A y 28 quienes se encuentran entre los más altos con 0.03 m<sup>3</sup>/árbol y 0.008 m<sup>2</sup>/árbol en contraste con el Testigo con 0.02 m<sup>3</sup>/árbol y 0.006 m<sup>2</sup>/árbol respectivamente (Cuadro 4).

En cuanto al incremento medio anual (IMA) para volumen, área basal y diámetro normal la familia 15 presentó valores más altos con 12.41, 3.14 y 1.49 respectivamente; tanto para el IMA en altura total fue la familia 2 quien presentó

valores más altos con 1.05 m/año; de igual forma, las familias 52A, 29 y 7 se encuentran por arriba del Testigo (T) en estas variables. Las familias 15 y 52A son las que presentaron mayor valores por arriba del Testigo para todas las variables evaluadas, es decir, presentan un mayor crecimiento e incremento con respecto del Testigo (Cuadro 5).

Cuadro 3. Variables de diámetro y altura a 7 años de 40 familias de *P. pseudostrobus* Lindl.

NA	Diámetro base (cm)	Diámetro tocón (cm)	Altura fuste limpio (m)
28	14.41±0.39 a	12.35±0.45 ab	1.24±0.03 ab
15	14.3278±0.44 a	12.67±0.44 a	1.32±0.04 ab
2	13.72±0.31 ab	11.86±0.29 abcd	1.21±0.04 ab
52A	13.7±0.38 ab	12.3±0.41 ab	1.25±0.09 ab
11	13.54±0.52 ab	11.8±0.56 abcde	1.27±0.04 ab
12	13.47±0.34 abc	12.24±0.39 abc	1.33±0.06 ab
49	13.39±0.49 abcd	11.95±0.59 abcd	1.26±0.05 ab
7	13.03±0.48 abcde	10.66±0.41 bcdefghi	1.22±0.04 ab
17	12.97±0.32 abcde	11.22±0.34 abcdefg	1.25±0.04 ab
16	12.95±0.34 abcde	11.47±0.33 abcdef	1.19±0.05 ab
29	12.91±0.47 abcde	11.44±0.48 abcdef	1.28±0.03 ab
1	12.7±0.58 abcde	11.26±0.55 abcdefg	1.22±0.06 ab
6	12.77±0.37 abcde	11.12±0.40 abcdefg	1.22±0.05 ab
19	12.66±0.38 abcde	11.26±0.38 abcdefg	1.27±0.038 ab
34	12.6±0.64 abcde	10.9±0.60 bcdefghi	1.19±0.05 ab
T	12.49±0.33 bcdef	10.93±0.31 abcdefgh	1.18±0.03 ab
36	12.49±0.58 bcdef	10.82±0.51 bcdefghi	1.08±0.04 b
24	12.42±0.43 bcdef	10.72±0.37 bcdefghi	1.13±0.04 ab
21	12.40±0.45 bcdef	11.26±0.46 abcdefg	1.35±0.09 a
20	12.38±0.74 bcdef	10.45±0.76 cdefghi	1.29±0.04 ab
9	12.34±0.70 bcdef	11.08±0.71 abcdefg	1.16±0.05 ab
41	12.31±0.40 bcdef	10.78±0.28 bcdefghi	1.11±0.03 ab
18	12.31±0.44 bcdef	11.09±0.43 abcdefg	1.29±0.039 ab
32	12.3±0.46 bcdef	10.79±0.50 bcdefghi	1.26±0.4 ab
8	12.29±0.32 bcdef	10.9±0.29 bcdefghi	1.16±0.06 ab
10	12.28±0.57 bcdef	9.94±0.78 fghi	1.26±0.07 ab
42	12.24±0.28 bcdef	10.59±0.37 bcdefghi	1.12±0.04 ab
38	12.17±0.49 bcdefg	10.81±0.47 bcdefghi	1.34±0.21 ab
33	12.08±0.43 bcdefg	10.41±0.35 defghi	1.13±0.005 ab
44	11.99±0.71 bcdefg	10.46±0.71 cdefghi	1.23±0.09 ab
52	11.93±0.45 bcdefg	10.65±0.41 bcdefghi	1.25±0.09 ab
35	11.91±0.65 bcdefg	10.18±0.57 defghi	1.32±0.10 ab
48	11.65±0.64 cdefg	9.79±0.53 fghi	1.2±0.08 ab

22	11.52±0.22 defg	10.25±0.23 defghi	1.32±0.07 ab
3	11.42±0.82 efg	9.46±0.72 ghi	1.16±0.09 ab
23	11.4±0.83 efg	10±0.82 efghi	1.31±0.10 ab
37	11.32±0.68 efg	9.97±0.59 fghi	1.23±0.06 ab
5	11.31±0.98 efg	10.87±0.71 bcdefghi	1.15±0.07 ab
25	10.68±0.63 fg	9.28±0.64 hi	1.21±0.09 ab
13	10.41±0.74 g	9.12±0.73 i	1.16±0.07 ab

Dónde: F= familia. Letras distintas en la misma columna representan diferencias significativas (Tukey, 0.05). T = testigo. La media se incluye ± el error estándar.

Cuadro 4. Variables de copa, volumen y área basal a 7 años de 40 familias de *P. pseudostrobus* Lindl.

F	Área de copa (m <sup>2</sup> )	Longitud de copa (m)	Volumen (m <sup>3</sup> /árbol)	Área basal (m <sup>2</sup> /árbol)
28	12.04±0.70 abcdefghi	5.43±0.24 abcdefg	0.03±0.002 ab	0.008±0.0005 abc
15	14.11±1.42 abc	5.58±0.22 abcdef	0.03±0.002 a	0.008±0.0006 a
2	12.97±0.76 abcdefgh	6.15±0.25 a	0.03±0.003 abc	0.007±0.0005 abcde
52A	14.65±0.83 a	5.94±0.26 abc	0.03±0.002 a	0.008±0.0006 ab
11	10.64±0.65 defghi	5.47±0.20 abcdefg	0.02±0.002 abcde	0.007±0.0006 abcdef
12	13.9±1.52 abcd	5.65±0.27 abcde	0.03±0.002 abc	0.008±0.0003 abcd
49	13.29±0.91 abcdefg	5.30±0.14 bcdefgh	0.02±0.002 abcde	0.007±0.0006 abcdef
7	11.54±1.17 abcdefghi	5.48±0.22 abcdefg	0.02±0.003 abcd	0.007±0.0008 abcde
17	10.88±1.03 bcdefghi	5.50±0.27 abcdefg	0.02±0.002 abcde	0.007±0.0004 abcdefg
16	13.65±0.62 abcde	5.96±0.21 ab	0.02±0.001 abcdef	0.006±0.0003 bcdefgh
29	10.01±0.97 fghi	5.77±0.22 abcd	0.03±0.003 abc	0.008±0.0006 abcd
1	12.92±1.26 abcdefgh	5.40±0.19 abcdefg	0.02±0.002 abcdef	0.007±0.0006 abcdefg
6	9.75±0.76 hi	5.46±0.22 abcdefg	0.02±0.002 abcdef	0.006±0.0006 bcdefgh
19	12.75±0.80 abcdefgh	5.16±0.17 bcdefgh	0.02±0.002 abcdef	0.007±0.0005 abcdefg
34	10.26±1.08 efghi	5.38±0.24 abcdefg	0.02±0.003 abcdef	0.006±0.0008 abcdefgh
T	13.01±0.87 abcdefgh	5.41±0.17 abcdefg	0.02±0.002 abcdef	0.006±0.0005 abcdefgh
36	10.89±0.83 bcdefghi	5.00±0.26 defgh	0.02±0.002 def	0.005±0.0006 defgh
24	10.54±0.75 defghi	5.46±0.16 abcdefg	0.02±0.002 bcdef	0.006±0.0005 defgh
21	10.47±0.88 defghi	5.18±0.19 bcdefgh	0.02±0.003 abcdef	0.007±0.0007 abcdefg
20	10.91±1.05b cdefghi	5.13±0.26 cdefgh	0.02±0.003 abcdef	0.007±0.0009 abcdef
9	9.22±0.88 i	4.73±0.22 gh	0.02±0.002 def	0.005±0.0005 efgh
41	11.09±0.79 bcdefghi	5.19±0.20 bcdefgh	0.02±0.002 cdef	0.006±0.0005 defgh
18	14.24±0.73 ab	5.45±0.20 abcdefg	0.02±0.002 abcdef	0.006±0.0004 bcdefgh
32	11.81±0.88 abcdefghi	5.36±0.14 abcdefg	0.02±0.002 abcdef	0.006±0.0006 bcdefgh
8	10.02±0.93 fghi	4.94±0.22 efgh	0.02±0.002 def	0.005±0.0004 efgh
10	11.97±1.31 abcdefghi	4.88±0.28 efgh	0.02±0.003 bcdef	0.006±0.0006 bcdefgh
42	11.03±0.79 bcdefghi	4.78±0.19 fgh	0.01±0.001 ef	0.005±0.0004 efgh
38	12.27±0.08 abcdefghi	5.03±0.26 cdefgh	0.02±0.001 def	0.005±0.0004 defgh
33	11.13±0.92 bcdefghi	5.04±0.28 cdefgh	0.02±0.002 bcdef	0.006±0.0005 bcdefgh
44	10.99±1.14 bcdefghi	4.50±0.31 h	0.02±0.003 def	0.005±0.0007 defgh

52	11.64±1.05 abcdefghi	4.79±0.17 fgh	0.02±0.002 cdef	0.006±0.0005 bcdefgh
35	11.87±1.07 abcdefghi	4.93±0.20 efgh	0.02±0.002 cdef	0.006±0.0005 cdefgh
48	9.23±0.79 i	4.77±0.26 fgh	0.02±0.002 def	0.005±0.0006 defgh
22	13.7±0.73 abcde	5.09±0.26 cdefgh	0.01±0.001 ef	0.005±0.0003 fgh
3	9.84±1.44 ghi	4.86±0.29 efgh	0.02±0.004 def	0.005±0.0009 efgh
23	11.22±1.46 bcdefghi	5.06±0.33 cdefgh	0.02±0.003 bcdef	0.006±0.0007 defgh
37	10.16±0.84 fghi	4.81±0.31 fgh	0.02±0.002 def	0.005±0.0006 defgh
5	13.39±1.62 abcdef	5.25±0.27 bcdefgh	0.02±0.004 abcdef	0.006±0.0009 bcdefgh
25	10.73±1.03 cdefghi	4.81±0.39 fgh	0.01±0.003 f	0.004±0.0007 h
13	8.99±1.13 i	4.71±0.29 gh	0.01±0.003 f	0.005±0.0008 gh

Dónde: F= familia. Letras distintas en la misma columna representan diferencias significativas (Tukey, 0.05). T = testigo. La media se incluye ± el error estándar.

Cuadro 5. Variables de incremento medio anual a 7 años de 40 familias de *P. pseudostrobus* Lindl.

F	IMA Área basal (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> /año)	IMA Diámetro normal (cm/año)	IMA Altura total (m/año)
28	2.66±0.26 abcd	1.47±0.04 ab	0.95±0.03 abcdefg
15	3.14±0.25 a	1.49±0.05 a	0.98±0.02 abcde
2	2.51±0.23 abcde	1.39±0.05 abcde	1.05±0.03 a
52A	2.79±0.25 ab	1.47±0.05 ab	1.01±0.03 abc
11	2.47±0.25 abcde	1.35±0.06 abcdef	0.96±0.03 abcdef
12	2.58±0.15 abcde	1.44±0.03 abc	0.99±0.03 abcd
49	2.36±0.25 bcdef	1.38±0.06 abcdef	0.93±0.02 abcdefgh
7	2.67±0.30 abc	1.37±0.08 abcdef	0.95±0.03 abcdefg
17	2.18±0.18 bcdefgh	1.37±0.04 abcdef	0.96±0.03 abcdef
16	2.15±0.14 bcdefgh	1.30±0.03 abcdefg	1.02±0.02 ab
29	2.78±0.23 ab	1.42±0.06 abcd	1±0.03 abc
1	2.17±0.18 bcdefgh	1.32±0.07 abcdef	0.94±0.02 abcdefg
6	2.23±0.22 bcdefgh	1.27±0.06 abcdefgh	0.95±0.03 abcdefg
19	2.59±0.17 abcde	1.35±0.04 abcdef	0.92±0.02 bcdefgh
34	2.18±0.32 bcdefgh	1.27±0.08 abcdefgh	0.93±0.03 abcdefgh
T	2.14±0.16 bcdefgh	1.31±0.04 abcdefg	0.94±0.02 abcdefg
36	1.88±0.26 cdefgh	1.19±0.07 defgh	0.87±0.04 efgh
24	2.08±0.19 bcdefgh	1.25±0.05 bcdefgh	0.94±0.02 abcdefg
21	2.29±0.22 bcdefgh	1.31±0.06 abcdefg	0.93±0.02 abcdefgh
20	2.32±0.29 bcdefg	1.31±0.09 abcdefg	0.91±0.03 bcdefgh
9	1.85±0.22 cdefgh	1.18±0.06 defgh	0.84±0.03 fgh
41	1.92±0.18 cdefgh	1.24±0.05 bcdefgh	0.90±0.03 bcdefgh
18	2.12±0.17 bcdefgh	1.27±0.05 abcdefgh	0.96±0.03 abcdef
32	2.18±0.24 bcdefgh	1.28±0.06 abcdefgh	0.94±0.02 abcdefg
8	1.84±0.16 cdefgh	1.2±0.04 defgh	0.87±0.03 efgh
10	1.99±0.26 bcdefgh	1.24±0.07 bcdefgh	0.87±0.04 defgh
42	1.86±0.20 cdefgh	1.20±0.04 defgh	0.84±0.02 fgh
38	2.02±0.17 bcdefgh	1.21±0.05 cdefgh	0.91±0.02 bcdefgh

33	2.26±0.23 bcdefgh	1.28±0.05 abcdefgh	0.88±0.04 defgh
44	1.83±0.28 defgh	1.18±0.10 defgh	0.81±0.04 h
52	2.04±0.17 bcdefgh	1.25±0.06 abcdefgh	0.86±0.02 fgh
35	1.95±0.23 cdefgh	1.24±0.06 bcdefgh	0.89±0.03 cdefgh
48	1.86±0.23 cdefgh	1.15±0.08 efgh	0.85±0.04 fgh
22	1.77±0.11 efgh	1.15±0.03 efgh	0.91±0.03 bcdefgh
3	1.56±0.24 fgh	1.14±0.10 fgh	0.86±0.04 fgh
23	2.02±0.31 bcdefgh	1.15±0.10 efgh	0.91±0.05 bcdefgh
37	1.88±0.26 cdefgh	1.17±0.08 efgh	0.86±0.04 fgh
5	2.25±0.35 bcdefgh	1.25±0.09 bcdefgh	0.91±0.04 bcdefgh
25	1.48±0.17 h	1.06±0.08 h	0.86±0.05 fgh
13	1.53±0.27 gh	1.08±0.10 gh	0.84±0.04 gh

Dónde: F= familia. Letras distintas en la misma columna representan diferencias significativas (Tukey, 0.05). T = testigo. La media se incluye ± el error estándar.

Entre las familias evaluadas se encontró para diámetro normal, árboles por arriba del Testigo presentando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ); seleccionando los 10 árboles con mayor diámetro normal, se observa que la familia 15 tiene el mayor diámetro (10.46 cm), es decir quien ha incrementado más en fuste, seguido del 52A, 28 y 12 con diámetros de 10.32, 10.30 y 10.1 cm, respectivamente en comparación con el Testigo quien presenta un diámetro de 9.23 cm (Figura 6); esto genera que la mejor familia (15) ha generado un incremento en DN que supera en 13.3 % al Testigo.

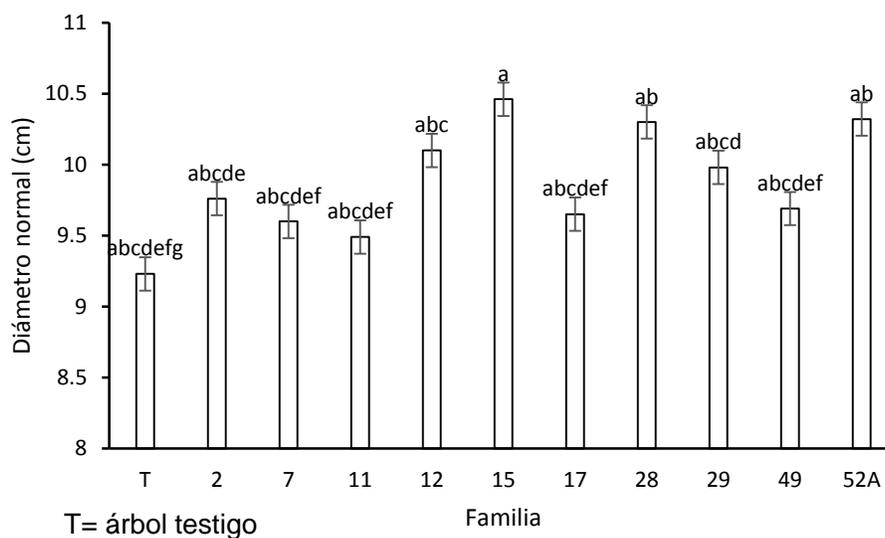


Figura 6. Crecimiento en diámetro normal de las mejores familia de *P. pseudostrobus* Lindl, con respecto al testigo (T). Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

La altura total mostró diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) para todas las 40 familias evaluadas. La familia 2 presentó mayor altura (7.36 m) teniendo relación cercana con la dominancia, es decir, la familia del árbol 2 presenta un incremento en altura del 11.7 % en comparación al Testigo (6.59 m) además de presentar un mayor número de individuos dominantes que el resto, teniendo en cuenta la competencia entre familias debido a la densidad que presenta el ensayo. Por otro lado, le continúan las familias 16, 52A y 29 con alturas de 7.15 m, 7.10 m y 7.05 m respectivamente en comparación al Testigo con una altura de 6.59 m (Figura 7).

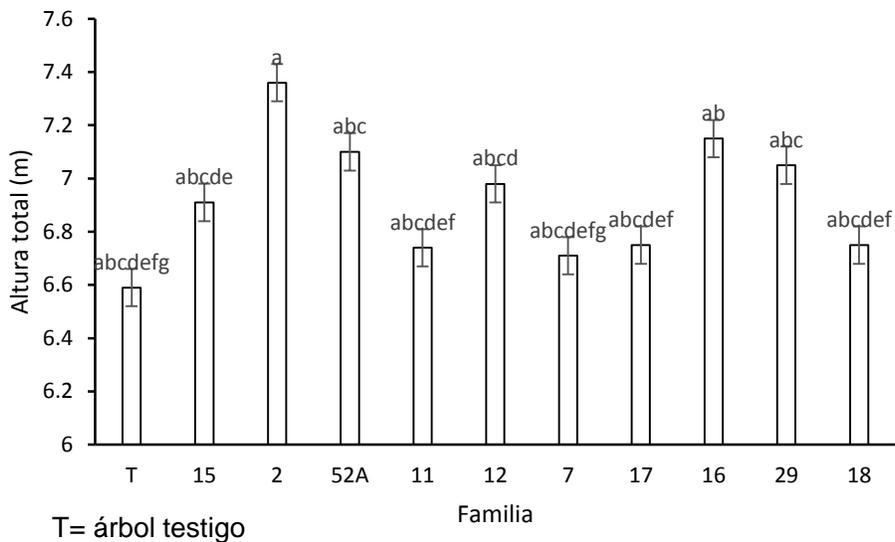


Figura 7. Altura total por familia de *P. pseudostrobus* Lindl. T = testigo. Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

Se observa para el incremento medio anual en volumen para todas las familias una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ); en la Figura 8 se muestran las familias que se encuentran por arriba del Testigo como es el árbol 15 con un incremento del  $12.41 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a los siete años de edad, seguido del 52A ( $11.46 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ), 29 ( $11.33 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ) y 2 ( $10.73 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ ) con relación al Testigo que presenta un incremento de  $8.15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}/\text{año}$ . La mejor familia (15) del ensayo, a siete años de

establecida ha crecido 52.3 % más que el Testigo. Por otro lado, el IMA en volumen presenta una estrecha relación con las variables diámetro normal y altura total, siendo la familia 52A quien se encuentra en los incrementos mayores de las tres variables evaluadas; es decir, es la familia que sobresale de las demás en cuanto a velocidad de crecimiento promedio. Por otro lado, la familia 15 tiene relación en su incremento con el diámetro normal y el IMA en volumen, sin embargo las familias 29 y 2 presentan mayores incrementos en altura total junto con IMA en volumen (Figura 8).

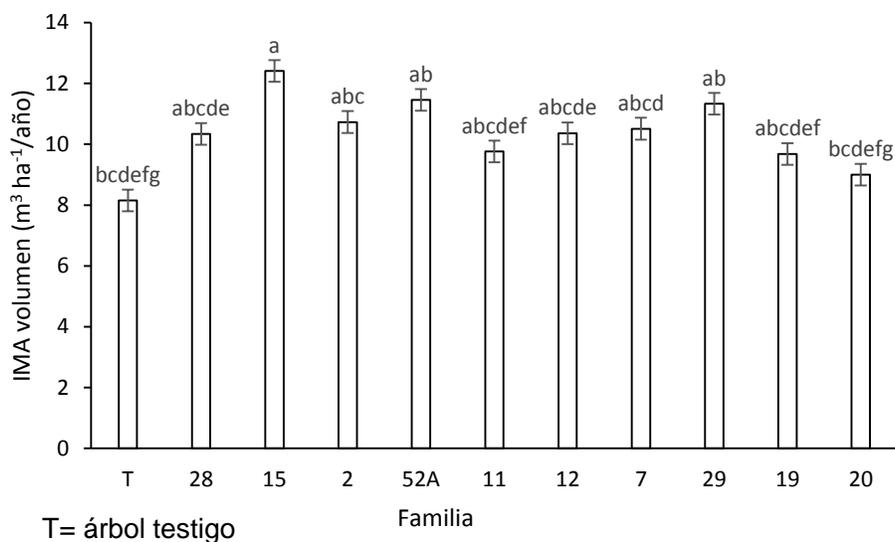


Figura 8. Incremento medio anual (IMA) por familia de *P. pseudostrobus* Lindl. T = Testigo. Líneas verticales sobre las barras indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (Duncan, 0.05).

## 4.2. Discusión

Las procedencias o familias seleccionadas de *Pinus pseudostrobus* provienen de la Sierra Norte de Oaxaca, específicamente de Ixtlán de Juárez, las cuales presentaron fenotipos considerados de mejor calidad para la comunidad. Se evaluó la progenie de estas familias, en las cuales se mostró una alta variabilidad en casi todos los caracteres dasométricos descriptivos (Viveros-Viveros *et al.*, 2005; Valencia *et al.*, 2006), excepto para el volumen, área basal e incremento medio anual para diámetro normal; además los resultados muestran que entre familias la altura de fuste limpio mostró un comportamiento uniforme como lo reportado por Iglesias-Andreu y Tivo-Fernández (2006) y Velasco-Velasco *et al.* (2012). Todas las familias evaluadas presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre sus variables; es decir, manifiestan respuesta distinta como resultado de las características particulares y ambientales presentes en el sitio en donde se realizó la plantación (Alba *et al.*, 2005),

Entre familias evaluadas se mostraron diferencias estadísticas significativas (Zitácuaro y Aparicio, 2004), concordando con Alba *et al.* (2003, 2005) que manifiestan respuesta distinta como resultado de las características particulares y ambientales presentes en el sitio. En cuanto al diámetro normal y altura total se encontró a los árboles 52A y 12 con los mayores valores, concordando con López *et al.* (2000) quienes presentaron valores superiores tanto en nivel familia como individual; de igual forma para el área de copa el árbol 52A obtuvo los resultados más altos.

En relación a los incrementos medios anuales (volumen, área basal, diámetro normal y altura total) la familia 15 presentó los resultados más altos con respecto al Testigo, teniendo valores de 12.41, 3.14, 1.49 y 0.98 respectivamente, seguido de la familia 52A; estos son resultados similares con Torres (2000) quien obtuvo una ganancia con respecto al Testigo para estas variables.

Farfán *et al.* (2002) mencionan que el diámetro normal es un carácter dasométrico maderable que tiene relación con el incremento; de esta forma, la familia 15 presentó mayor diámetro con 14.46 cm, seguido del 52A con un valor de 10.32 cm.

Por otro lado, para la altura total, concordando con Ruiz (2003) quien obtuvo mayor altura para familias procedentes de la Sierra Norte, la familia 2 presentó una altura mayor con 7.32 m, seguido del 16 y 52A siendo familias con mayor dominancia y que son resultados similares con Arias (2004); es decir, presentan árboles dominantes con respecto a las demás familias.

El incremento medio anual en volumen presentó diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) con respecto al Testigo, la familia 15 obtuvo el mayor incremento en volumen con  $12.41 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  a los siete años de edad, lo que significa una ganancia promedio total de 15.7 % de todas las familias con resultados mayores al Testigo; resultados similares con Murillo *et al.* (2003), quienes encontraron una ganancia menor pero estadísticamente alta para los cuatro años de edad; además, para volumen individual se encontró similitud con Wright *et al.* (1996), quienes obtuvieron de 0.015 a  $0.039 \text{ m}^3$  a los ocho años de edad, es decir el incremento en volumen presenta una relación con diámetro normal y altura total; de igual forma, con la posición sociología de las familias quienes presentaron mayor heterogeneidad entre ellas en este sentido, la familia 52A se encuentra presente entre los más altos en estas variables, es decir que tiende a tener un crecimiento e incremento superior con respecto al Testigo y a las demás familias, concordando con Reyes-Hernández *et al.* (2006) que gran parte de la diferenciación fenotípica está asociada con los sitios y los árboles de origen.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN

El crecimiento inicial a 7 años de establecido el ensayo de progenies superiores de *Pinus pseudostrobus* Lind permite una diferenciación entre familias con respecto al Testigo genético, donde los bloques establecidos permitieron una reducción del error experimental. La familia 15 presentó un incremento medio anual en volumen ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}/\text{año}$ ) 52.3 % mayor al Testigo genético, seguido del 52A, 29 y 2 con 40.6, 39 y 31.6 % respectivamente. De igual forma la rectitud del fuste presentó mayor homogeneidad (CV de 16.5) y mayor heterogeneidad en ángulo de las ramas (CV de 45.7), lo que significa fustes más rectos y ángulos de ramas, que benefician la poda natural con menor número de nudos y esto se traduce en madera de calidad.

## **CAPÍTULO VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda seguir evaluando el crecimiento del ensayo.

Realizar podas y aclareos con el fin de tener una continuidad de los árboles que obtuvieron mejores resultados; así mismo, utilizar el germoplasma de estos árboles para posteriores plantaciones.

## CAPÍTULO VII. LITERATURA CITADA

- Acosta, R., A., S. Sastre M. y F. Ramos M. 2010. Gestión forestal comunitaria en Ixtlán de Juárez Oaxaca, México. Universidad de la Sierra Juárez. Proyecto financiado por la CONAFOR. 1-18.
- Alba, L. J. 2007. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Doctorado en Recursos Genéticos Forestal, Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 97 p.
- Alba-Landa., J., A. Aparicio R., F. H. Zitácuaro C. y E. O. Ramírez G. 2005. Establecimiento de un ensayo de progenie de *Pinus oaxacana* Mirov en los Molinos, municipio de Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana*. 7(2): 33-36.
- Alba-Landa, J., L. C. Mendizábal-Hernández y A. Aparicio-Rentería. 2003. Estudio de germinación y plántulas de tres poblaciones de *Pinus oaxacana* Mirov de México. *Foresta Veracruzana* 5: 33-38.
- Alba-Landa, J., L. del C. Mendizábal-Hernández y J. Márquez R. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana* 10(1): 25-29.
- Alba-Landa, J., L. del C. Mendizábal-Hernández., E. O. Ramírez-García y M. de la P. Méndez-Guzmán. 2002. Establecimiento de tres ensayos de procedencia/progenie de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en el estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 4(2): 17-22.
- Arias, A., D. 2004. Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Revista Forestal KURÚ*. 1(2): 11p.
- Bernal, Q., C. 2018. Evaluación germinativa del *Pinus pseudostrobus* Lindl. bajo el efecto de tres sustratos y tratamientos pregerminativos en el Campus Universitario de Cota Cota. Tesis de Licenciatura. Costa Rica 112 p.

- Cambrón, V. H., H. Suzán, J. J. Vargas, N. M. Sánchez y C. Sáenz-Romero. 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1):71-79.
- Cambrón-Sandoval, V. H., H. Suzán-Azpiri., C. Sáenz C. y N. M. Sánchez-Vargas. 2014. Desarrollo de *Pinus pseudostrobus* bajo distintos ambientes de crecimiento en jardín común. *Madera y Bosques* 20(1):45-57.
- CAMCORE (Programa Internacional para el Mejoramiento Genético y Conservación de Especies Forestales). 2007. Boletín de noticias CAMCORE para México y Centroamérica. 1(2): 6 p.
- Castellanos-Acuña, D., C. Sáenz-Romero., R.A. Linding-Cisneros., N.M. Sánchez-Vargas., P. Lobbit y J.C. Montero-Castro. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo de vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3):399-411.
- Clausen, K. 1990. Diseños genéticos y pruebas de progenie. In: Memoria Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. 67-77.
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2012. Situación de los recursos Genéticos Forestales en México. Informe final del proyecto TCP/MEX/3301/MEX (4). México. 297 p.
- Delgado, P., R. Salas-Lizana., A. Vázquez-Lobo., A. Wegier., M. Anzidei., E.R. Álvarez-Buylla., G.G. Vendramin & D. Piñeiro. 2007. Introgressive hybridization in *Pinus montezumae* Lamb and *Pinus pseudostrobus* Lindl. (pinaceae): morphological and molecular (cpSSR) evidence. *International Journal of Plant Science* 168(6):861-876.

- Farfán, V., E. G., J. Jasso M., J. López U., J. J. Vargas H. y C. Ramírez H. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* EHREN. Var. ayacahuite. Revista fitotecnia mexicana. 25 (3): 239-246.
- Hernández-Martínez, J., J. López U., J. J. Vargas H. y J. Jasso M. 2007. Zonas semilleras de *Pinus greggii* var. australis en Hidalgo, México. Revista Fitotecnia Mexicana 30:241-249.
- Iglesias-Andreu, L. G. y Y. Tivo-Fernández. 2006. Caracterización morfométrica de la población de *Pinus hartwegii* Lindl. del cofre de Perote, Veracruz, México. Revista Ra Ximhai. 2(2): 449-468.
- López, U., J., A. J. Mendoza H., J. Jasso M., J. J. Vargas H. y A. Gómez G. 2000. Variación morfológica de plántulas e influencia del pH del agua de riego en doce poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. Madera y Bosques. 6(2): 81-94.
- López-Upton, J. 2002. *Pinus pseudostrobus* LINDL. In: Vozzo J. A. (ED). Tropical tree. Seed manual. United States Department of agricultura. Forest service. USA. Pp: 636-637.
- Manzanilla, Q., U. 2013. Establecimiento de áreas productoras de semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 85 p.
- Márquez, R. J. 2007. Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de *Pinus oaxacana* Mirov. Tesis Doctorado en Recursos Genéticos Forestales. Universidad Veracruzana. Xalapa. 99 p.
- Morales, G., E., J. López U., J. J. Vargas H., C. Ramírez H., y A. Gil M. 2013. Parámetros genéticos de *Pinus patula* en un ensayo de progenies establecido en dos altitudes. Revista Fitotecnia Mexicana. 36: 155-162.

- Morales, S., M. A. 2012. Establecimiento de un Área Semillera de *Pinus patula* var. *longipedunculata* Martínez y *Pinus pseudostrobus* Lindl en Miahuatlan, Oaxaca. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 93 p.
- Murillo, O., G. Obando., Y. Badilla y M. Azofeifa. 2003. Creación de GENFORES, una Cooperativa de Mejoramiento Genético Forestal en Costa Rica. En: V Congreso Forestal Nacional. San José, Costa Rica. Septiembre 2003.
- Muñoz, F., H. J., J. A. Prieto R., A. Flores G., T. Pineda. O y E. Morales G. 2013a. Selección de árboles superiores del genero *Pinus*. Inifap. Folleto técnico. 69: 59 p.
- Muñoz, F., H. J., J. A. Prieto R., A. Flores G., T. Pineda. O y E. Morales G. 2013b. Técnicas de Injertado “enchapado lateral” y “fisura terminal” en *Pinus pseudostrobus* Lindl. Inifap. Folleto técnico. 68. 56 p.
- Narave, F., H. y K. Taylor. 1997. Flora de Veracruz. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. Fascículo 98. 53 p.
- Naydenov, K.D., F.M. Tremblay, A. Alexandrov and N.J. Fento. 2005. Structure of *Pinus sylvestris* L. populations in Bulgaria revealed by chloroplast microsatellites and terpenes analysis: Provenance tests. *Biochemical Systematics and Ecology* 33:1226-1245.
- Ortega, D., M. A., V. A. González H., V. M. Cetina-Alcalá, Á. Villegas M. y J. Vargas H. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas y sequía en vivero. *Agrociencia*. 36: 233-241.
- Parra, S., G., H. Cruz-Jiménez., J. Márquez R., A. Aparicio R. y R. A. Pedraza P. 2016. Producción de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. en una prueba de progenie de nueve años en Tlacolulan, Veracruz. *Foresta Veracruzana*. 18(2): 11 p.
- Perry, J. P. 1992. The pines of México and Central América. Timber press. Portland, Oregon. USA. 231 p.

- Ramírez, G., E. O. 2000. Variación de semillas y plántulas de tres procedencias de *Pinus teocote* Schl. Cham. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. 78p.
- Ramírez, S.R., G. Angeles P., R. Clark T., V.M. Cetina A., O. Plascencia E. y P. Hernandez R. 2015. Efectos del manejo forestal en la repoblación de pinus spp. en la Sierra Norte de Oaxaca, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 32:49-62.
- Reyes-Hernández, V. J., J. J. Vargas-Hernández., J. López-Upton y H. Vaquera-Huerta. 2006. Similitud fenotípica de poblaciones mexicanas de *Pseudotsuga* Carr. *Agrociencia*. 40: 545-556.
- Ruiz, A., V. 2003. Ensayo de procedencias de Pinus oaxacana Mirov en dos localidades de la región Mixteca Alta, Oax. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Antonio Narro. 109 p.
- Sáenz, J., T., H.J. Muñoz y A. Rueda. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 10: 213 p.
- Sáenz-Romero, C., G. E. Rehfeldt., J.C. Soto-Correa., S. Aguilar-Aguilar., V. Zamarripa-Morales and J. López-Upton. 2012. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacan, Mexico, two location shadehouse test results. 21-32.
- Sánchez, M. V., J. G. Salazar G., J. J. Vargas H., J. López U. y J. Jasso M. 2003. Parámetros genéticos y respuesta a la selección en características del crecimiento de *Cedrela odorata* L. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 26: 19-27.
- SAS Institute Inc., 2012 SAS versión 9.4 for Windows .SAS Institute, Inc. Cary. NC, USA. Licensed to colegio de Posgraduados. Site 70070615.

- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca). 2000. Proyecto de Conservación y Manejo Sustentable de Recursos Forestales en México.
- Soto-Correa, J. C., C. Sáenz-Romero., R. Linding-Cisneros., N. Sánchez-Vargas y J. Cruz-de-León. 2012. Variación genética entre procedencias de *Lupinus elegans* Kunth, zonificación altitudinal y migración asistida. *Agrociencia*. 46: 593-608.
- TIASA (Técnica Informativa Aplicada S.A.). 2003. Programa de Manejo Forestal para la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oax. México. 231 p.
- Torres, J. 2000. Evaluación genética y económica de dos ensayos de progenie de *Pinus radiata* D. Don a base de un índice de selección multicriterio. Nota técnica. *Ciencias Forestales* 14:1-2.
- Trujillo, N., E. 2005. Semillas forestales mejoradas para reforestación en Colombia. *Revista MM*. 48:21-27.
- Valencia, M., S. y J. J. Vargas H. 2000. Correlaciones genéticas y correlación simultánea del crecimiento y densidad de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia*. 35: 109-120.
- Valencia, M., S., M.V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruiz M. y M. A. Capo A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. En dos localidades de la Mixteca Alta de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29(1): 27-32.
- Vargas, S., N. M., V. H. Cambrón S., C. Sáenz R. y J.J. Vargas. H. 2014. Parámetros genéticos del crecimiento temprano de familias de medios hermanos de *Pinus pseudostrobus* LINDL. En Michoacán, México. *Foresta Veracruzana*. 58: 65-76.
- Vargas-Hernández, J. J., and W. T. Adams. 2002. Age-age correlation and early selection for wood density in young coastal Douglas-fir. *For. Sci.* 38:467-478.

- Vargas-Larreta, B., J. J. Corral-Rivas., O. A. Aguirre-Calderón., J. O. López-Martínez., H. M. Santos-Posadas., F. J. Zamudio-Sánchez., E. J. Treviño-Garza., Martínez-Salvador y C. G. Aguirre-Calderón. 2017. SiBiFor: Forest Biometric System for forest management in Mexico. *Revista Chapingo*. 23 (3): 437-455.
- Velasco-Velasco, V. A., J. R. Enríquez-del Valle., G. Rodríguez-Ortiz., G. V. Campos-Ángeles., M. Gómez-Cárdenas y M. L. García-García. 2012. Evaluación de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. En plantaciones de la mixteca oaxaqueña. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 3 (9): 41-50.
- Villegas, J., D. E. 2014. Selección de progenitores de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en rodales naturales bajo manejo forestal. Tesis de maestría. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). 44 p.
- Villegas-Jiménez, D. E., G. Rodríguez-Ortiz., J. L. Chávez-Servia., J. R. Enríquez-Del-Valle y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana bot.* 73(1): 113-123.
- Viveros-Viveros, H., C. Sáenz-Romero, C., J. López-Upton y J.J. Vargas-Hernández. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39:575-587.
- Viveros-Viveros, H., C. Sáenz-Romero., J. J. Vargas-Hernández y J. López-Upton. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios de Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29:121-126.
- White, T. L., W. T. Adams and D. B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. London, UK. 682 p.
- Wright, J. A., A. Marín y W. S. Dvorak. 1996. Ex situ conservation of *Pinus ayacahuite*. *For. Genet. Resources*. 24: 48-51.

Zacarías-Eslava, Y. y R. F. Del Castillo. 2010. Comunidades vegetales templadas de la Sierra Juárez, Oaxaca: pisos altitudinales y sus posibles implicaciones ante el cambio climático. Boletín de la Sociedad Botánica Mexicana 87:13-28.

Zapata, V., J. y R. Hasbun Z. 2011. Mejoramiento genético forestal acelerado mediante selección genómica. Bosque 32: 209-213

Zitácuaro, C., F. H. y A. Aparicio R. 2004. Variación de altura y diámetro de plántulas de *Pinus Oaxacana* MIROV de tres poblaciones de México. Foresta Veracruzana. 6 (1): 21-26.