



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**EFICIENCIA REPRODUCTIVA Y CALIDAD DE PROGENIE DE *Pinus pseudostrobus*
Lindl. var. *oaxacana* EN OAXACA**

TESIS QUE PRESENTA:

Rey David Aragón Peralta

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz



Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2019.



Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

EFICIENCIA REPRODUCTIVA Y CALIDAD DE PROGENIE DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* EN OAXACA

TESIS QUE PRESENTA:

Rey David Aragón Peralta

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. Gerardo Rodríguez Ortiz




Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán, Oaxaca.
Agosto de 2019.

La presente Tesis titulada: **Eficiencia reproductiva y calidad de progenie de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* en Oaxaca**, se realizó bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCTIVIDAD EN AGROECOSISTEMAS

DIRECTOR:

Dr. GERARDO RODRÍGUEZ ORTIZ



ASESOR:

Dr. JOSÉ RAYMUNDO ENRÍQUEZ DEL VALLE



ASESORA:

Dra. GISELA VIRGINIA CAMPOS ANGELES



Ex-Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. Agosto de 2019.

El presente trabajo se llevó a cabo con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del número de becario (**632238**), con el tema de investigación “**EFICIENCIA REPRODUCTIVA Y CALIDAD DE PROGENIE DE *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* EN OAXACA**”

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
SUMMARY	viii
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Descripción de <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	3
2.1.1 Descripción botánica.....	4
2.1.2 Ecología y distribución	6
2.1.3 Importancia y usos.....	6
2.2 Satisfacción de las necesidades inmediatas, a corto y a largo plazo de semilla.....	7
2.2.1 Rodales naturales.....	7
2.2.2 Áreas semilleras	8
2.2.3 Huertos semilleros	8
2.3 Potencial de producción de semillas	9
2.4 Análisis de conos y semillas	10
2.5 Calidad de la progenie	11
2.6 Objetivos de las pruebas de progenie	11
CAPÍTULO III SELECCIÓN DE FENOTIPOS Y CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE CONOS Y SEMILLAS DE <i>Pinus pseudostrobus</i> LINDL. var. <i>oaxacana</i>	13
3.1 Resumen.....	14
3.2 Abstract.....	15
3.3 Introducción.....	16
3.4 Materiales y métodos	19
4.4.1 Áreas de selección y colecta de árboles fenotípicamente superiores	19
3.4.2 Análisis de conos y semillas	20
3.4.3 Variables climáticas	23
3.4.4 Manejo y análisis de datos.....	23
3.5 Resultados y discusión.....	24
3.5.1 Características reproductivas de conos y semillas.....	24
3.5.2 Indicadores reproductivos.....	27

3.5.3 Características de progenitores y reproductivas con variables climáticas.....	29
3.6 Conclusiones.....	33
3.7 Literatura citada	33
CAPÍTULO IV CALIDAD DE PLÁNTULA DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE <i>Pinus pseudostrobus</i> lindl. var. <i>oaxacana</i> EN OAXACA	41
4.1 Resumen.....	42
4.2 Summary.....	43
4.3 Introducción.....	44
4.4 Materiales y métodos	46
4.4.1 Obtención de plántulas.....	46
4.4.2 Indicadores de calidad de planta	46
4.4.3 Manejo y análisis de datos.....	49
4.5 Resultados y discusión.....	50
4.5.1 Variables morfológicas tomadas en el muestreo destructivo.....	50
4.5.2 Variables e índices de calidad de planta	54
4.6 Conclusión	61
4.7 Literatura citada	62
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.....	67
CAPÍTULO VI LITERATURA CITADA	69

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.5.1	Resumen del análisis de varianza para variables de conos y semillas de árboles selectos (A) de <i>Pinus pseudostrobus</i> de regiones (R) y localidades (procedencias, P) de Oaxaca.....	25
3.5.2	Componentes de varianza para las características de conos y semillas de árboles selectos de <i>Pinus pseudostrobus</i>	27
3.5.3	Coficiente de correlación de Pearson significativos ($\alpha = 0.05$) entre variables climáticas, dasométricas y características reproductivas.....	32
4.4.1	Intervalos de calidad de plántula de <i>Pinus</i> para atributos morfológicos.....	47
4.4.2	Resumen del análisis de varianza de las variables medidas a plántulas de <i>Pinus pseudostrobus</i>	52
4.4.3.	Características de las variables medidas a plántulas de <i>Pinus pseudostrobus</i>	53
4.4.4.	Resumen del análisis de varianza de los índices y variables derivadas de plántula de <i>Pinus pseudostrobus</i>	54
4.4.5.	Características de los índices y variables derivadas de plántula de <i>Pinus pseudostrobus</i>	55
4.4.6.	Variabes de calidad de planta de <i>Pinus pseudostrobus</i>	57
4.4.7	Coficientes de correlación de Pearson significativos ($\alpha = 0.05$) entre variables climáticas, dasométricas de y variables de calidad de plántula de <i>Pinus pseudostrobus</i>	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
3.5.1	Indicadores reproductivas de <i>Pinus pseudostrobus</i>	31
3.5.2	Clasificación de árboles selectos como superiores de <i>Pinus pseudostrobus</i> tomando en cuenta las variables de calidad de la planta.....	60

RESUMEN

Pinus pseudostrabus, especie de importancia en Oaxaca por la calidad de su madera es preferida para la reforestación y plantaciones, distribuida en un amplio gradiente altitudinal, de 1600 a 3250 m, lo que sugiere una varianza genética que puede ser aprovechada mediante la selección de árboles que provean semillas que generen plantas con altas tasas de crecimiento relativo. El objetivo fue evaluar la eficiencia reproductiva, la variación en características de conos y semillas, así como la calidad de la progenie de árboles de *P. pseudostrabus* selectos como semilleros de distintas poblaciones del estado de Oaxaca. Durante noviembre a diciembre del 2017, a 42 árboles seleccionados se colectaron 1058 conos en los que se midieron variables morfológicas, eficiencia reproductiva e índice de endogamia. Las semillas obtenidas se germinaron en vivero del INIFAP, y con las plantas obtenidas se realizaron muestreos destructivos para calificar la calidad de la planta. Se realizaron análisis de varianza, pruebas de medias y correlaciones. Los valores medios obtenidos por cono fueron: longitud 101.3 mm, diámetro 56 mm, peso seco 97.9 g, 133 escamas, 107 semillas desarrolladas por cono, las semillas desarrolladas por cono pesaron 2.35 g, peso promedio por semilla 0.021 g con contenido de humedad de ----%, eficiencia reproductiva 13.09 mg g⁻¹ de estróbilo. Las plantas originadas con semilla de árboles selectos como superiores en las comunidades de Ixtepeji y Jaltianguis se clasificaron como planta de alta calidad. Mientras que las de Chiapas, Yolox y Teococuilco se clasificaron de calidad media. Las plantas de Ixtepeji y Jaltianguis al recibir las mismas labores culturales es

probable que su calidad alta se deba a la calidad genética de sus progenitores, esto no se puede asegurar porque las plantas son muy jóvenes.

SUMMARY

Pinus pseudostrabus, an important species in Oaxaca for the wood quality, is preferred for reforestation and plantations, distributed in a wide altitudinal gradient, from 1600 to 3250 m, which suggests a genetic variance that can be used through trees selection that provide seeds that generate plants with high rates of relative growth. The objective was to evaluate the reproductive efficiency, the variation in cone and seed characteristics, as well as the quality of the progeny of selected *P. pseudostrabus* as seed tree of different populations of Oaxaca State. During November to December 2017, 1058 cones were collected from 42 selected trees in which morphological variables, reproductive efficiency and inbreeding index were measured. The seeds were germinated at INIFAP nursery and destructive samplings were made in order to qualify the plant quality. Analysis of variance, tests of means and correlations were performed. The average values obtained per cone were: length 101.3 mm, diameter 56 mm, dry weight 97.9 g, 133 scales, 107 seeds developed per cone, seeds developed per cone weighed 2.35 g, average weight per seed 0.021 g, reproductiv efficiency 13.09 mg g⁻¹ of strobilus. Seedlings originating from seed of selected trees in the communities of Ixtepeji and Jaltianguis were classified as high quality plants. While those of Chiapas, Yolox and Teococuilco were classified as medium quality. The plants of Ixtepeji and Jaltianguis to receive the same cultural work is likely that their high quality is due to the genetic quality of their parents, this can not be assured because the plants are very young.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En México y a nivel mundial la pérdida de recursos forestales es cada vez más acelerada y preocupante, los bosques y selvas no escapan a esta problemática, la (FAO, 2016) clasifico a Mexico en el periodo del año 2010 al 2015, con una pérdida de 50 mil a 250 mil hectáreas por año, de estos recursos por diversas causas como la tala inmoderada, incendios forestales, cambio de uso de suelo, etc.

Una estrategia de rescate, conservación, restauración y manejo forestal de los fragmentos de vegetación nativa de México son las fuentes semilleras o unidades productoras de germoplasma forestal (UPGF). Las UPGF son áreas que presentan conjuntos de árboles seleccionados con base en las características óptimas deseables para la producción de semillas (García *et al.*, 2011).

Conocer las características morfológicas de conos y semillas de las especies, así como su potencial y eficiencia de producción de semilla para estimar la cantidad y calidad de germoplasma, son aspectos valiosos en términos del desempeño de la planta y de su uso como germoplasma (Contreras y Zayas, 2009; Rodríguez *et al.*, 2012). La variación en la morfología de conos y semillas puede estar determinada principalmente por las características genotípicas y bajo la influencia de condiciones ambientales, debido a que algunos genotipos pueden alterar de forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes (Martíns *et al.*, 2008).

La evaluación de la progenie permite la estimación de parámetros genéticos como la heredabilidad de distintos caracteres de interés o la correlación genética entre éstos o entre edades, así como cuantificar la relevancia de la interacción genotipo \times ambiente (Zas y Merlo, 2008).

El estudio en vivero permite la evaluación del crecimiento de las plántulas y conoce la variación que presentan. La selección temprana facilitaría un proceso más eficiente, ya que al establecer en campo árboles de crecimiento más rápido se reducirían los ciclos de cosecha y logrando que el material valioso esté tempranamente disponible para la industria (Zapata-Valenzuela y Hasbun, 2011).

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción de *Pinus pseudostrobus* Lindl.

Esta especie fue descrita por Lindley en 1938 y de acuerdo a éste presenta una gran variación entre familias de un mismo sitio. Es originario de Michoacán, en tiempos del autor de la descripción presentó referencias vagas propias de esta época y se refería a esta especie como solo un pino de madera dura con hojas finas y conos de 10 cm de largo por 3.8 cm de diámetro (Márquez-García, 2007).

Martínez (1948) encontró en una nueva revisión que varios pinos concuerdan en su estructura general pero presentan diferencias en conos y en la estructura de las hojas, por lo cual a su parecer era necesario un nuevo arreglo sistemático, de tal manera que él considera para *Pinus pseudostrobus* una forma y cuatro variedades: *P. pseudostrobus* Lindl. con una forma: f. *protuberans*; *P. pseudostrobus* Lindl. var. *oaxacana* Martínez; *P. pseudostrobus* Lindl. var. *apulcensis* Martínez; *P. pseudostrobus* Lindl var. *coatepecensis* Martínez; y *P. pseudostrobus* Lindl var. *estevezi* Martínez.

2.1.1 Descripción botánica

Esta especie son árboles de 20 a 45 m de altura y un diámetro de hasta 1.5 m, fuste recto, entrenudos largos con ramas extendidas, corteza lisa en sus épocas juveniles además de gruesa y escamosa al envejecer; ramillas delgadas y frágiles con largos entrenudos color café rojizo. Los árboles son de rápido crecimiento en su etapa juvenil (Martínez, 1992; CATIE 1997).

Hojas en grupos de 5, de 17 a 24 cm de longitud, muy delgadas, triangulares y flexibles, de color verde intenso, a veces con tinte amarillento o glauco, finamente aserradas con los dienteillos uniforme. Las vainas son persistentes, anilladas de 12 a 15 mm (a veces hasta 20), de color castaño oscuro, algo brillantes; yemas oblongo cónicas de color anaranjado (Martínez, 1948).

Conos ovoides de 8 a 15 cm de largo por 5 a 7 cm de diámetro, de color café claro, amarillentos o negros, extendidos muy levemente encorvados en ocasiones, un poco asimétricos, poco caedizos y sobre pedúnculos de 10 a 15 mm a veces mayores, regularmente de 140 a 190 escamas que abren gradualmente, generalmente gruesas y lignificadas, apófisis de ligera a fuertemente levantada sobre todo en un lado del cono, su color es café opaco y con el tiempo se vuelve grisáceo (Martínez, 1992; Farjon *et al.*, 1997).

Las semillas son levemente triangulares, oscuras de 5 a 7 mm de largo por 3 a 4.5 mm de ancho, con ala articulada de 20 a 25 mm de largo por 6 a 9 mm de ancho, con 6 a 8 cotiledones (Martínez, 1992; Farjon *et al.*, 1997). Se calcula un promedio de 46,003 semillas kg^{-1} , cuando las semillas tienen ----% de humedad (Márquez-García, 2007).

Duramen en estado verde de color amarillo pajizo y difícil de distinguir de la albura casi del mismo color. Bajo exposición prolongada se torna de un color café rojizo o amarillento. Límites de anillos de crecimiento visibles a simple vista, marcadas por bandas de color castaño (madera tardía) alternando con bandas de color claro (madera temprana). Veteado pronunciado, textura de media a fina, hilo recto. Canales resiníferos presentes, visibles a simple vista. Madera seca con olor tenue resinoso (SEMARNAT- CONAFOR, 2007).

2.1.2 Ecología y distribución

Pinus pseudostrobus Lindl. tiene una amplia distribución en México, mayormente en el Eje Neovolcánico Transversal, aunque se extiende hasta Guatemala, Honduras y El Salvador (Cambrón *et al.*, 2013). En México se encuentra en los estados de Chiapas, Chihuahua, Distrito federal, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Tamaulipas, Tlaxcala, y Veracruz (Martínez, 1992).

Pinus pseudostrobus Lindl. es una especie que ocupa laderas montañosas en altitudes de 1600–2400 m, y en bosques de pino-encino su rango altitudinal es de 1000 a 3250 m. También es frecuente en bosques de otras coníferas, particularmente oyamel. Es común en sitios con suelos profundos y húmedos con influencia tropical, con mejor calidad de estación a los 2500 m en suelos volcánicos profundos (López-Upton, 2002; Márquez, 2007).

2.1.3 Importancia y usos

Bajo buenas condiciones de sitio, *P. pseudostrobus* es una especie de rápido crecimiento, aproximadamente 1 m de altura al año (López-Upton, 2002), por

ello, ha sido utilizada en plantaciones forestales y programas de mejoramiento genético, tanto en México como en otros países (Cambrón *et al.*, 2013). Esta especie es buena productora de resina, la cual es explotada en los estados del centro y sur de México. La madera es de buena calidad y sus largos fustes limpios permiten el uso en aserrío. Así mismo, es muy apreciada en artesanías, ebanistería y muebles finos o de producción seriada, como mesas, butacas, bancos, etc., en las zonas rurales tiene varios usos domésticos (Sáenz, 2011).

2.2 Satisfacción de las necesidades inmediatas, a corto y a largo plazo de semilla

2.2.1 Rodales naturales

Los bosques naturales constituyen la fuente principal para obtener semilla de la especie deseada, cuando no se cuenta con programas de mejoramiento genético. Desafortunadamente en la mayoría de las especies leñosas, la semilla obtenida de esta fuente ofrece una oportunidad limitada para el mejoramiento genético en características de baja heredabilidad como altura del árbol, diámetro y volumen; y una oportunidad modesta para el mejoramiento genético en características de alta heredabilidad como forma del tronco, tamaño, ángulo de las ramas y resistencia a plagas (Jaquish, 1997).

2.2.2 Áreas semilleras

Un área semillera es “un rodal delimitado dentro de un bosque natural o de una plantación, el cual tiene los mejores árboles”. En un sitio elegido como área semillera, aquellos individuos que posean características de baja calificación son eliminados para evitar su cruzamiento con los árboles seleccionados. Además, los árboles que quedan en pie tendrán más espacio y menor competencia, lo que permitirá una mayor producción de semillas por árbol (SEMARNAT- CONAFOR, 2013).

2.2.3 Huertos semilleros

Los huertos semilleros son el método principal de producción de semillas para abastecer los programas de plantación a gran escala y obtener las ganancias genéticas de los programas de mejoramiento genético. Estos huertos son colecciones de árboles que se han seleccionado para características específicas, establecidos en una localidad y manejados para producir cosechas de semillas frecuentes, abundantes y de fácil recolección. Los huertos semilleros se generan de la selección de 40 a 60 árboles superiores (Droppelmann, 2012).

Existen dos tipos de huertos semilleros (sexuales y clónales). Los huertos sexuales se establecen plantando individuos de diversas familias en un sitio. La semilla colectada de cada árbol del huerto corresponde a una familia. Entonces al germinar las semillas y cultivar las progenies en el vivero, y posteriormente su establecimiento en campo, se mantiene el registro de la familia a la que pertenece. Conforme se dispone de información cuantitativa sobre el desempeño en campo de las progenies de cada familia, las peores familias e individuos dentro de familias se eliminan del huerto, dejando únicamente las mejores para su reproducción. Los huertos semilleros clónales se establecen por medios vegetativos, propagando árboles selectos por medio de injertos, enraizado de estacas o cultivo de tejidos. Existen ventajas y desventajas en ambos tipos de huertos semilleros (Jaquish, 1995).

2.3 Potencial de producción de semillas

El potencial de producción de semillas define el límite biológico del número de semillas producidas por cada cono. Por lo tanto, cada especie tiene un potencial promedio de semillas y un rango de valores observado basado en el número de escamas fértiles por cono; esta información sienta las bases para el conocimiento del estado de producción real de semillas en cualquier rodal natural, lo que nos permite conocer lo que podemos esperar en cuanto al

número de semillas cosechables (Bramlett, 1977; Vázquez-Cuecuecha, 2004; Mendizábal *et al.*, 2012).

2.4 Análisis de conos y semillas

El análisis de conos proporciona información necesaria para evaluar la producción de semillas, esto expresa la productividad y puede ser expresada en términos de eficiencia de la semilla. Por lo tanto puede determinarse en qué fases del desarrollo de las semillas se producen pérdidas, los cuales pueden ser identificados y evaluados (Bramlett *et al.*, 1977).

El análisis de conos y semillas consiste en separar manualmente las escamas de manera sistemática de los conos, al terminar se realiza la evaluación de las siguientes características: óvulos abortados del primero y segundo año, número de semillas llenas y vanas y número de escamas fértiles e infértiles. El análisis de cono, la eficiencia de semilla y el potencial de semilla obtenido, se consideran buenos indicadores de la viabilidad reproductiva de una población y proporcionan información sobre las condiciones genéticas en que se encuentran las poblaciones. La proporción de óvulos abortados y la relación entre semillas llenas y vanas son indicadores de pérdida de semillas posiblemente debido a la autopolinización (Bramlett *et al.*, 1977).

2.5 Calidad de la progenie

El conocimiento biológico de la progenie se inicia con la evaluación en la fase de plántulas, lo cual tendrá un impacto en el proceso de selección forestal (Alba-Landa *et al.*, 2007).

La selección de árboles 'plus' para programas de mejoramiento genético se basa principalmente en la información generada a partir de la calidad de la progenie, que generalmente usan datos de crecimiento en altura para comparar patrones de desarrollo entre genotipos (Pastrana-Vargas *et al.*, 2012).

Un buen fenotipo no tiene que ser necesariamente un buen genotipo, o al contrario un buen genotipo puede presentarse en un mal fenotipo, es por ello que los estudios de descendencia son necesarios para estimar el valor genético de un individuo. Estas pruebas permiten escoger los mejores genotipos para el establecimiento de huertos semilleros (Flores-Flores *et al.*, 2014).

2.6 Objetivos de las pruebas de progenie

Las pruebas de progenie tienen el objetivo de valorar a los árboles progenitores que fueron seleccionados fenotípicamente en campo para usarse en un programa de mejoramiento genético vía selección y cruzamiento, a través de la respuesta de su progenie o familia. Estimar parámetros genéticos, como la heredabilidad, la varianza genética o las correlaciones genéticas, entre otras.

Establecer una población base para las siguientes generaciones de mejoramiento genético y demostración de ganancia genética (Flores-Flores *et al.*, 2014).

.

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE FENOTIPOS Y CARACTERÍSTICAS REPRODUCTIVAS DE CONOS Y SEMILLAS DE *Pinus pseudostrobus* LINDL. var. *oaxacana*

PHENOTYPES SELECTION AND REPRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF CONES AND SEEDS OF *Pinus pseudostrobus* LINDL. var. *oaxacana*

Rey David Aragón Peralta¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz¹, J. Jesús Vargas Hernández², José Raymundo Enríquez del Valle¹, Gisela Virginia Campos Angeles¹, Adán Hernández Hernández³

¹Posgrado del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). México. ²Postgrado Forestal, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo, Estado de México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Melchor Ocampo, Santo Domingo Barrio Bajo, 68200 Villa de Etla, Oaxaca.

3.1 Resumen

Los factores ambientales y la calidad genética de *Pinus pseudostrobus*, pueden generar diferencias en los caracteres morfológicos de conos y semillas, conociendo estas características se tiene bases para hacer uso del potencial de esta especie. El objetivo de esta investigación fue evaluar la variación morfológica y características reproductivas de conos y semillas, de árboles de *Pinus pseudostrobus* selectos como semilleros de distintas poblaciones del estado de Oaxaca. Durante noviembre a diciembre del 2017, a 42 árboles seleccionados se colectaron 1058 conos en los que se midieron variables morfológicas, eficiencia reproductiva e índice de endogamia; se realizaron análisis de varianza y pruebas de medias (Duncan, 0.05). Las características reproductivas se correlacionaron con variables ambientales (sitios de colecta) y dasométricas de los progenitores. Los árboles seleccionados tuvieron de 46 a 50 años de edad, y tamaños que varían 34 a 41 m de altura; 49 a 56 cm de diámetro normal. Los valores medios obtenidos por cono fueron: longitud 101.3 mm, diámetro 56 mm, peso seco 97.9 g, 133 escamas, 107 semillas desarrolladas por cono, las semillas desarrolladas por cono pesaron 2.35 g, peso promedio por semilla 0.021 g, eficiencia reproductiva 13.09 mg g⁻¹ de estróbilo, índice de endogamia (IE = 0.50), que indica un alto nivel de auto fecundación; el IE decrece con la altitud. De las características evaluadas, eficiencia reproductiva e IE no mostraron diferencias significativas entre poblaciones.

Palabras clave: árbol superior, características de conos, características reproductivas.

3.2 Abstract

The environmental factors and the genetic quality of *Pinus pseudostrabus*, can generate differences in the morphological characters of cones and seeds, knowing these characteristics we have bases to make use of the potential of this species. The objective of this investigation was to evaluate the morphological variation and reproductive characteristics of cones and seeds of selected *Pinus pseudostrabus* trees as seedbeds of different populations of the state of Oaxaca. During November to December 2017, 1058 cones were collected from 42 selected trees in which morphological variables, reproductive efficiency and inbreeding index were measured; Analysis of variance and tests of means were performed (Duncan = 0.05). The reproductive characteristics were correlated with environmental variables (collection sites) and dasometric of the parents. The selected trees were 46 to 50 years old, and sizes ranging from 34 to 41 m in height; 49 to 56 cm in normal diameter. The average values obtained per cone were: length 101.3 mm, diameter 56 mm, dry weight 97.9 g, 133 scales, 107 seeds developed per cone, seeds developed per cone weighed 2.35 g, average weight per seed 0.021 g, reproductive efficiency 13.09 mg g⁻¹ of strobilus, index of endogamy (IE = 0.50), which indicates a high level of self-fertilization; IE decreases with altitude and increases with collection length Of the evaluated

characteristics, reproductive efficiency and IE did not show significant differences between populations.

Key words: higher tree, cones characteristics, reproductive characteristics.

3.3 Introducción

En Oaxaca cada año se produce plántula para reforestar, que en los años, 2015 al 2019, se produjeron en promedio 3.3 millones de plantas por año (CONAFOR, 2016; CONAFOR, 2019) a; sin embargo, la colecta de las semillas se realiza de rodales naturales en años semilleros, y no se tiene registro de las características de los árboles progenitores. Por lo que en ocasiones no es posible asegurar la calidad de las plantas que se obtienen, e incertidumbre de su éxito para sobrevivir en el sitio de su establecimiento definitivo. Muchas veces también se ve afectada la calidad de las semillas que incluye sus características físicas, el porcentaje de semillas vanas, el porcentaje de viabilidad y por lo tanto, el porcentaje de germinación y la energía germinativa (UACH, 2010).

Pinus pseudostrobus de importancia económica en México por su uso maderable, tiene crecimiento relativamente rápido, buena forma de tronco y excelente calidad de la madera (López-Upton, 2002), por lo que es muy

apropiado en el establecimiento de plantaciones comerciales y reforestaciones (Viveros *et al.*, 2005); interesa conservar e incrementar las áreas con esta especie, por lo que se genera demanda de plántula de calidad fenotípica y genética para la reforestación (SEMARNAT, 2016). Es necesario 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 ecosistémicos y otros productos. Para lograr lo anterior, se está llevando a cabo el establecimiento de un huerto semillero asexual en el estado de Oaxaca a cargo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y financiado por el fondo sectorial CONACYT-CONAFOR, el cual se inicia con la selección de individuos que presenten características fenotípicas deseables.

La selección de árboles en rodales distribuidos a través de un gradiente altitudinal puede mostrar patrones de variación genética, pero también debido a los diversos ambientes, sin embargo en Oaxaca no se conoce lo suficiente sobre esto en *P. pseudostrobus*, lo cual limita la creación de lineamientos para el movimiento de semillas y plántulas para reforestación y su adaptación al cambio climático (Castellanos *et al.*, 2013). Los escenarios del cambio climático indican que en México, para el año 2030, habrá un aumento en la temperatura promedio anual (comparado con el promedio del periodo 1961-1990) de 1.5 °C y una disminución de precipitación de 7 % (Sáenz-Romero *et al.*, 2010). Un incremento de la temperatura propiciará la expansión de los bosques en

latitudes altas, mientras que en latitudes medias se espera un decremento o migración de poblaciones hacia zonas con climas más adecuados a su desarrollo (Sims *et al.*, 2007). El cambio climático representa un reto adicional para acoplar los genotipos a los ambientes.

Árboles seleccionados en diferentes poblaciones pueden mostrar variación en el grado de expresión de diversas características debido a la calidad del sitio; es la respuesta en el desarrollo de una determinada especie arbórea, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar (Alba-Landa *et al.*, 2008). La variación en la morfología de conos y semillas puede estar determinada principalmente por las características genotípicas y ambientales, debido a que algunos genotipos pueden alterar de forma significativa su expresión en respuesta a determinados factores ambientales, produciendo una serie de fenotipos diferentes (Martíns *et al.*, 2008). A pesar que se desconoce la proporción relativa de estos dos factores, en su contribución a la variación fenotípica a nivel de población, especie e incluso entre individuos (Ramírez *et al.*, 2011). En *Pinus devoniana* se encontró un patrón de variación clinal altitudinal en caracteres morfológicos como acículas, conos y semillas (Sáenz-Romero *et al.*, 2012).

Para hacer uso del germoplasma forestal es necesario conocer las características morfológicas de conos y semillas de los árboles seleccionados.

También se requiere conocer el potencial y eficiencia de producción de semilla para estimar la cantidad y calidad de germoplasma. Sin embargo, en Oaxaca aún no se conoce la capacidad de producción de semilla de los bosques naturales de *Pinus pseudostrobus*.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la variación morfológica y características reproductivas de conos y semillas, cosechados de árboles de *Pinus pseudostrobus* selectos como semilleros de distintas poblaciones del estado de Oaxaca, así como correlacionar estas características con variables climáticas de los sitios de colecta. Y se propuso la hipótesis de que factores como altitud, temperatura media anual, precipitación pluvial y procedencia se asocian con la productividad y calidad de conos y semillas.

3.4 Materiales y métodos

4.4.1 Áreas de selección y colecta de árboles fenotípicamente superiores

Durante noviembre y diciembre de 2017, en rodales de *Pinus pseudostrobus* de Santa Catarina Ixtepeji, Teococuilco de Marcos Pérez, Santa María Jalteanguis y San Pedro Yolox, de la Sierra Norte del estado de Oaxaca, se seleccionaron 42 árboles fenotípicamente superiores mediante la metodología de árboles por comparación o testigos; donde se comparan dentro de una población, las características de un candidato a árbol superior o plus, con los cinco mejores

árboles vecinos con una distancia mínima de 25 m y máxima de 50 m. Los árboles candidato y testigos fueron del estrato dominante, con fuste recto, no bifurcado ni torcido, copa redonda, inserción de ramas a 90° al fuste, tamaño de copa de 1/3 de la longitud total del árbol, diámetro y altura de fuste limpio mayor al promedio de los árboles testigo y árboles sanos, libres de plagas y enfermedades (INIFAP, 2013). El volumen total árbol (m^3) se calculó con la fórmula obtenida del sistema biométrico de Oaxaca (CONACYT-CONAFOR, 2013); el índice de dominancia de copa como una medida de disponibilidad de polen por parte del vecindario para el árbol seleccionado como superior que surgió de restar la altura del candidato menos altura promedio de los testigos; el índice de calidad de sitio se obtuvo del cociente entre la altura promedio y la edad promedio del árbol seleccionado como superior y sus testigos; y el índice de productividad de sitio fue el cociente entre volumen promedio y la edad promedio del árbol seleccionado como superior y sus testigos.

De los árboles seleccionados se colectaron un total de 1058 conos, que se colocaron en costales debidamente identificados y se trasladaron a las instalaciones del INIFAP, Oaxaca, en donde se analizaron durante 2018.

3.4.2 Análisis de conos y semillas

El análisis de los conos se basó en la metodología de Bramlett *et al.* (1977) y Mosseler *et al.* (2000) con modificaciones de acuerdo al estudio. El peso verde

(PVC, g) de cada cono se determinó con balanza analítica marca Shimadzu modelo ATY224, con precisión de $\pm 0,1$ mg; la longitud (LC, mm) y diámetro del cono (DC, mm) se midieron con un vernier digital $\pm 0,2$ mm. Posteriormente todos los conos separados por árbol se expusieron directamente a radiación solar para el secado, apertura de escamas y extracción de semillas. El peso seco de cada cono (PSC, g) se registró después de que abrieran a temperatura ambiente, de igual manera se pesaron en la balanza analítica marca Shimadzu modelo ATY224, con precisión de $\pm 0,1$ mg. Se contabilizó el número total de escamas por cono (NE), el número de semillas desarrolladas por cono (NSDC) correspondió a semillas maduras (incluyendo vanas y llenas); de la misma manera, con una balanza analítica Shimadzu modelo ATY224, con precisión de $\pm 0,1$ mg. se determinó el peso de semillas desarrolladas por cono (PSDC). Se calculó:

$$CH = \frac{[PVC - PSC]}{PVC} \times 100, \quad CF = \frac{DC}{LC}, \quad EPSD = \frac{PSDC}{PSC}$$

$$PPS = \frac{PSDC}{NSDC}, \quad PEE = \left[\frac{NSDC}{(2NE)} \right] \times 100$$

Donde: CH = contenido de humedad (%), PVC = peso verde del cono (g), PSC = peso seco del cono (g), CF = coeficiente de forma del cono, diámetro del cono (mm), LC = longitud del cono (mm), EPSD = eficiencia de producción de semillas desarrolladas, PSDC = peso de semilla desarrollada por cono, PSC = peso seco del cono, PPS = peso promedio por semilla, PSDC = peso de semillas desarrollada por cono, NSDC = número de semillas desarrolladas por

cono, PEE = porcentaje de eficiencia de escamas, NE = número total de escamas por cono (como una medida de escamas efectivas para producir semillas).

Las variables morfológicas y reproductivas de los conos fueron obtenidas a partir de una muestra para determinar la cantidad de semilla llena y vana y así obtener la eficiencia reproductiva y el índice de endogamia. Entonces, al contar la cantidad total de conos que se observaron en cada árbol, los datos se extrapolaron al total de conos y semillas en el árbol.

Posteriormente se calculó (Mosseler *et al.*, 2000): 1) Peso del total de conos en el árbol (PCA, g), sumatoria del peso seco de conos; 2) número de semillas desarrolladas por árbol NSDA = suma de las semillas desarrolladas por el total de conos; 3) peso de semillas desarrolladas por árbol (g), PSDA = suma de los pesos de semillas desarrolladas en el total de conos; 4) eficiencia reproductiva, $ER = ((PSDA / PCA) \times 1000)$, como una medida de eficiencia reproductiva que refleja la proporción de la energía utilizada en el esfuerzo reproductivo almacenado en la semilla; 5) índice de endogamia, $IE = \text{no. de semillas vanas} / \text{no. de semillas desarrolladas}$: Cuando ocurre autofecundación o cruzamientos muy emparentados se incrementa el porcentaje de genes deletéreos en condición homocigótica, que al expresarse impiden el desarrollo del embrión, lo cual genera semilla vana.

3.4.3 Variables climáticas

Las coordenadas de ubicación geográfica de los árboles seleccionados como superiores se ingresaron a la página de internet: Investigación sobre el cambio climático en los bosques: efectos potenciales del calentamiento global en los bosques y las relaciones entre el clima vegetal en el oeste de América del Norte y México; se obtuvieron variables fisiográficas y climáticas.

3.4.4 Manejo y análisis de datos

Utilizando el modelo general linealizado se diferenciaron árboles, procedencias y regiones, las procedencias fueron establecidas de acuerdo a la ubicación geográfica de los árboles dentro de las regiones que son las localidades de donde provienen los árboles. Se realizaron transformaciones $\ln(x)$ y raíz cuadrada a variables reproductivas de árboles selectos como superiores.

. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + S_j + A_k + (S_j)P_i + A_k(S_j) + \varepsilon_{ijk}$$

Donde: Y_{ijk} = valor de la variable dependiente; μ = media poblacional; P_i = efecto de la i-ésima procedencia; S_j = efecto de la j-esima subprocedencia; F_k =efecto del k-ésimo árbol; $(SP)_{ij}$ = es la interacción del j-ésima subprocedencia con el efecto de la i-ésima procedencia; $(AS)_{jk}$ = efecto del k-ésimo árbol con el efecto de la j-ésima subprocedencia ε_{ijk} = error experimental.

Se estimaron los componentes de varianza asociados a cada fuente de variación y su contribución a la varianza total, mediante el procedimiento VARCOMP, opción REML y para las asociaciones entre las variables morfológicas y características reproductivas con variables climáticas, se hizo un análisis de correlación con el procedimiento PROC CORR del paquete SAS.

3.5 Resultados y discusión

3.5.1 Características reproductivas de conos y semillas

Los análisis de varianza (Cuadro 3.5.1) muestran que las cuatro regiones, tuvieron diferencias de efecto altamente significativas ($p \leq 0.01$), así como las interacciones, procedencia x región y la interacción árbol x procedencia tuvieron efectos significativos ($p \leq 0.01$) en las características reproductivas de conos y semillas. En otras especies de *Pinus* como *P. leiophylla* (Gómez *et al.*, 2010), *P. engelmanni* (Bustamante *et al.*, 2012), *P. greggii* (Rodríguez *et al.*, 2012) y *P. patula* (Méndez *et al.*, 2017) se han encontrado diferencias entre sitios y entre árboles para las características de conos y semillas, lo que indica que están influenciadas por el ambiente y que probablemente también exista diferenciación genética entre poblaciones, sin que sea posible separar el efecto ambiental del genético (Viveros *et al.*, 2013).

Cuadro 3.5.1. Resumen del análisis de varianza para variables de conos y semillas de árboles selectos (A) de *Pinus pseudostrobus* de regiones (R) y localidades (procedencias, P) de Oaxaca.

FV		R	P(R)	A(P)	Error	Total
GL		3	5	33	1016	1057
	LC (mm)	1312.4**	5007.1**	3428.7**		
	AC (mm)	1465.1**	726.4**	562**		
	CF	0.04**	0.07**	0.06**		
	PV (g)	50608.6**	52094.5**	46249.7**		
	PS (g)	71635.4**	25594.3**	19807.2**		
	CH	4.7**	0.3**	0.7**		
	NE	3240.4**	785.7**	4133.9**		
Cuadrados	NSD	33028.5**	30508.7**	36361**		
medios y	PSD (g)	31.7**	24.5**	29.1**		
significancia	PPS (g)	28.1**	120.9**	69**		
	PEE	2**	1.5**	1.6**		

LC = longitud del cono; AC = diámetro del cono; CF = coeficiente de forma del cono; PV = peso verde del cono; PS = peso seco del cono; CH = contenido de humedad; NE = número de escamas; NSD = número de semillas desarrolladas; PSD = peso de semillas desarrolladas; PPS = peso promedio por semilla; PEE = porcentaje de efectividad de escamas.

Los conos colectados en la procedencia de Yolox fueron de mayor longitud (105.6 mm), diámetro (59.2 mm), peso seco (140.9 g), número de escamas (138), número de semillas desarrolladas (132), peso de semillas desarrolladas (3.2 g), peso promedio por semilla (0.024 g) y porcentaje en efectividad de escamas (48%). En cuanto a contenido de humedad resultó el menor promedio (19%), quizá esto se deba que al momento de la colecta presentaban un grado mayor de madurez en comparación con los provenientes de las otras tres comunidades. Los conos originarios de Jaltianguis tuvieron los promedios más altos en coeficiente de forma (0.57) y peso verde (169.3 g), menor promedio en el número de semillas desarrolladas (97) y porcentaje de efectividad de escamas (34%).

Los conos colectados de árboles de Ixtepeji presentaron los promedios inferiores en 8 de 11 características evaluadas, longitud (99.05 mm), diámetro (53.5 mm), peso seco (85.2 g), peso verde (140.2 g), número de escamas (130), coeficiente de forma (0.54), peso de semilla desarrollada (2.1 g) y peso promedio por semilla (0.020 g), excepto en contenido de humedad (.66%). Probablemente los conos provenientes de Yolox presentan el promedio más alto en la mayoría de las variables debido a que la localidad en que desarrollaron su calidad de sitio fue superior a las demás procedencias y por lo contrario, los de Ixtepeji se deba a que es su calidad de sitio resultó menor (Cuadro 3.5.2.). La longitud y el diámetro del cono para las cuatro procedencias se encuentran en el rango reportado por Márquez (2007), Espinoza *et al* (2009), Saenz *et al* (2011), Domínguez *et al* (2016) y por encima de los valores promedio, 79.8 mm para longitud y 38 mm para diámetro que encontró Espinoza *et al* (2009). El número de semillas desarrolladas se encuentra por encima de la media (32) reportada por Delgado (1994), y por debajo del rango indicado por Domínguez *et al* (2016); por lo contrario, el peso de las semillas desarrolladas por cono es superior. En un estudio sobre variación de semillas de *P. pseudostrobus*, se reporta un peso por semilla de 0.011 g como mínimo y 0.022 como máximo (Hernández *et al.*, 2003).

Cuadro 3.5.2. Componentes de varianza para las características de conos y semillas de árboles selectos de *Pinus pseudostrabus*.

Variables	Media	Varianza	Región	Procedencia	Árbol	Error
			%	%	%	%
LC (mm)	101.3	224.6	0**	0**	61**	39
AC (mm)	56	46.3	10**	0.9**	57.1**	32
CF	.55	0.003	0**	0**	66**	34
PV (g)	155	3034.9	3**	0**	70**	27
PS (g)	97.9	1953.8	30**	0**	50**	20
CH	0.62	0.094	33**	0**	33**	34
NE	133.7	471	1.6**	0**	34.2**	64.2
NSD	107	2420.6	0**	0**	67**	33
PSD (g)	2.3	1.94	0**	0**	70**	30
PPS (g)	0.02	0.000029	0**	0**	69**	31
PEE	.40	0.03	1.3**	0**	56**	42.7

LC= longitud del cono; DC = diámetro del cono; CF = coeficiente de forma del cono; PV = peso verde del cono; PS; peso seco del cono; CH = contenido de humedad; Ne = número de escamas; NSD = número de semillas desarrolladas; PSD = Peso de semillas desarrolladas; PPS = peso promedio por semilla; PEE = porcentaje de efectividad de escamas.

3.5.2 Indicadores reproductivos

Los árboles de la localidad de Ixtepeji produjeron en promedio 35 conos, cantidad que fue significativamente ($p \leq 0.05$) superior a los 20 y 22 conos que tuvieron los árboles de las localidades de Teococuilco y Jaltianguis. El total de conos en cada árbol pesaron de 1990 a 3428 g, en los que se obtuvieron de 2174 a 3627 semillas, que en conjunto pesaron de 49.29 a 78.09 g; el total de semillas llenas fue de 899 a 1712, magnitudes que en cada caso no fueron significativamente diferentes (Tukey, 0.05) (Figura 3.5.1). Sin embargo a partir de estos valores se obtiene la información siguiente: que en promedio un cono colectado de un árbol en Yolox, pesó en 144.83 g, que fue 66% mayor al de un cono colectado de un árbol en Ixtepeji; que de cada cono colectado de un árbol

en Teococuilco se obtuvieron 71.75 semillas, que fue 75% superior a la cantidad de semillas llenas que se obtuvieron de cada cono de los árboles de Jaltianguis; las semillas llenas obtenidas de conos de árboles de la localidad de Yolox, pesaron 24.27 mg, magnitud 17% superior al peso de semilla individual obtenida de árboles en la localidad de Ixtepeji.

En *P. cembroides* (Gonzales *et al.*, 2006) y *P. pinceana* (Quiroz *et al.*, 2017) encontraron diferencias significativas en la producción de conos entre años evaluados, sin embargo, no entre poblaciones. Se identificaron en promedio 2841.75 semillas desarrolladas (llenas y vanas), con una media de 1419.5 (49.97 %) de semillas llenas con una mínima 898 y máxima de 1712. Para la misma especie (Domínguez *et al.*, 2016) encontró el (44 %), mientras que (Bello, 1988) reporta el (40 %) de semilla llena, estos resultados son superiores a 7.5 % que Morales *et al.* (2010) obtuvieron en *P. leiophylla*, pero inferiores 75.5 % a los que encontró en *P. pinacea* (Quiroz *et al.*, 2017). De las semillas desarrolladas se encontró (50.03 %) de semillas vanas valor inferior a lo reportado en otra conífera como *Picea mexicana* (78.3 %) (Flores *et al.*, 2005), *Picea martinezii* (80.8 %) (Flores *et al.*, 2012).

La relación de semillas vanas sobre desarrolladas (índice de endogamia) varió de 0.39 a 0.64 (Cuadro 6), se halló en *P. caribea* (.26) y *P. tropicalis* (.03) este comportamiento favorable puede deberse a que es una fuente originalmente

diseñada para la producción de semilla (Márquez, 2016) para *P. leiophylla* en encontró un valor muy alto de índice de endogamia (0.92); esto se puede atribuir al tamaño reducido de poblaciones lo que genera la autopolinización (Morales *et al.*, 2010). Generalmente, el índice de endogamia se asocia a una baja abundancia y calidad de polen e incremento de la autofecundación, en sitios con densidades arbóreas bajas aumenta la probabilidad de que alelos deletéreos formen genotipos homocigóticos y provoquen el aborto de embriones aumentando la cantidad de semilla vana (Todhunter y Polk, 1981; Arista y Talavera, 19961). El valor promedio para la eficiencia reproductiva es 13 mg de semilla por gramo de cono seco, son más eficientes los árboles de Teococuilco 16.2 mg que los árboles de Jaltianguis (8 mg). El valor fue superior en comparación con *P. leiophylla* 2.49 mg de semilla g⁻¹ de cono seco (Morales *et al.*, 2010), en contraste, los valores son menores a los reportados en otras coníferas, como *P. rigida*, *Picea mexicana*, *Pseudotsuga menziesii*, *P. patula*, *P. pinacea*, 55.3, 23.7, 29.6, 16.35 mg g⁻¹ y 80 mg de semilla g⁻¹ de cono seco, respectivamente (Mosseler *et al.*, 2004; Flores *et al.*, 2005; Mápula-Larreta *et al.*, 2007; Mendez, 2017; Quiroz *et al.*, 2017). La eficiencia reproductiva es un indicador relativo de la energía que un árbol dedica a la producción de semilla y es influenciada por el peso y número de semillas llenas por cono (Mosseler *et al.*, 2000).

3.5.3 Características de progenitores y reproductivas con variables climáticas

La mayoría de las variables no tuvieron una asociación significativa, los árboles proveniente de los sitios más altos, con menor temperatura y mayor

precipitación favorece, que los conos produzcan más semillas, de mejor calidad y aumente la eficiencia reproductiva; por otra parte, valores mayores de diámetro normal, edad, volumen y productividad del sitio, se asocian con mayor cantidad y calidad de conos por árbol; árboles viejos originan conos ligeros con pocas semillas y livianas y el índice de endogamia se ve favorecido en los sitios de menor elevación (Cuadro 3.5.3). En un estudio de *Pinus pinceana* (Quiroz-Vázquez *et al.*, 2017) encontró correlación positiva de la longitud del cono con el tamaño (largo y ancho), pero no con la cantidad de semilla llena y el peso seco del cono con el peso total de la semilla. Mientras que en un estudio de *Picea mexicana*, el tamaño del cono (longitud y peso seco) se relacionó en forma positiva con la proporción de semillas llenas y el tamaño de semillas en dos años de recolecta, La correlación entre tamaño de cono y peso de semilla indica que los árboles con mayor tamaño de cono producen semillas más grandes. El tamaño de las semillas es importante, ya que existen evidencias en otras coníferas de que las semillas de mayor tamaño producen plántulas más robustas (Flores-López *et al.*, 2005).

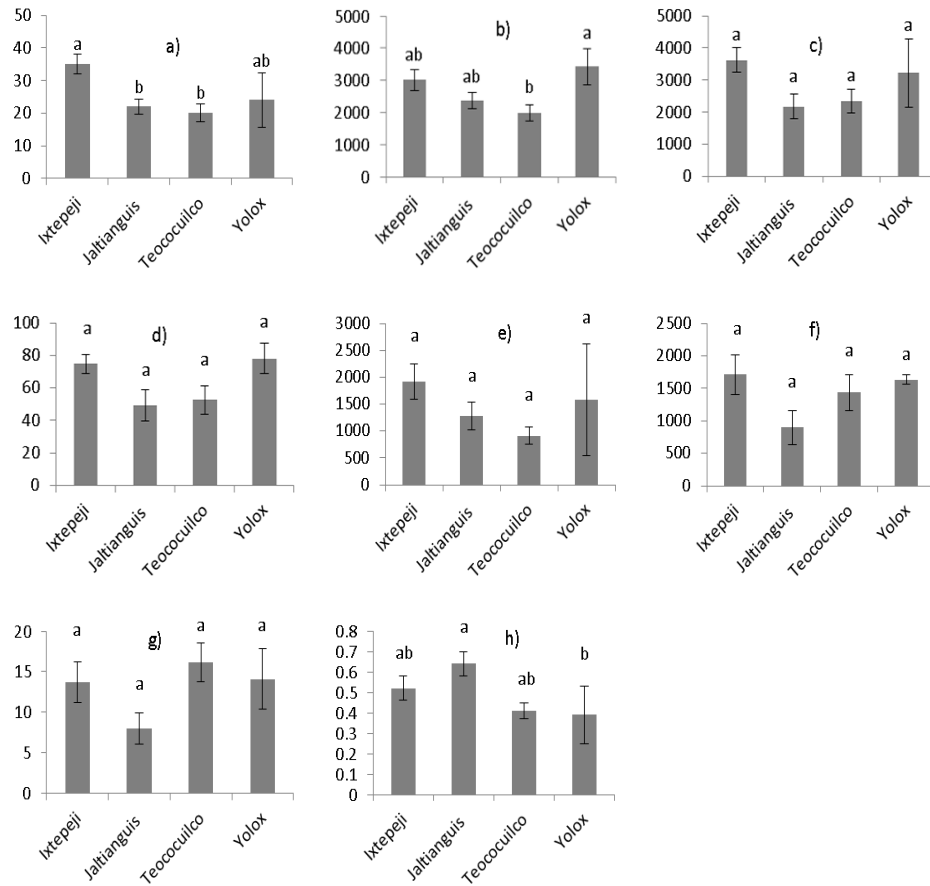


Figura 3.5.1. Indicadores reproductivas de *Pinus pseudostrobus*. a) número de conos por árbol; b) peso de conos por árbol; c) número de semilla desarrollada por árbol; d) peso de semilla desarrollada por árbol; e) semilla vana por árbol; f) semilla llena por árbol; g) eficiencia reproductiva e h) índice de endogamia. Letras distintas en las barras representan diferencias significativas (Duncan, 0.05) y las líneas verticales sobre las barras indican la desviación estándar.

Cuadro 3.5.3 Coeficientes de correlación de Pearson significativos ($\alpha = 0.05$) entre variables climáticas, dasométricas y características reproductivas.

Variable	NTC	PCA	NSDA	PSDA	SLLA	PPC	NSC	PSDC	ER	IE
Longitud										0.39
Latitud	-0.35					0.48				
Altitud					0.27		0.43	0.35	0.38	-0.38
TMA						-0.39	-0.42	-0.43		
PMA						0.33	0.35	0.35		
PTCAS						0.31	0.36	0.36		
TMGFM						-0.38	-0.42	-0.42		
TMMGMM	0.28					-0.42	-0.38	-0.41		
TMMCG						-0.38	-0.44	-0.45		
TMMMCG						-0.33	-0.45	-0.44		
Pendiente				-0.28	-0.37					-0.36
DN	0.44	0.33	0.33	0.26	0.26					
Edad	0.31					-0.43	-0.40	-0.48		
Volumen	0.39	0.28	0.31							
ICS						0.46				
IPS	0.32	0.28								

NTC = número de conos por árbol; PCA= peso de conos por árbol; NSDA= número de semillas desarrolladas por árbol; PSDA= peso de semilla desarrollo de árbol; SVA= semilla vana por árbol; SLLA= semilla llena por árbol; PPC= peso promedio por cono; NSC= número de semillas por cono; PSDC= peso de semilla desarrollada por cono; ER= eficiencia reproductiva; IE= índice de endogamia; TMA= temperatura media anual; PMA= precipitación media anual; PTCAS= precipitación en la temporada de crecimiento de abril a septiembre; TMGFM= temperatura media en los grados más fríos del mes; TMMGMM= temperatura mínima media en los grados más fríos del mes; TMMCG= temperatura media en los meses más cálidos grados; TMMMCG= temperatura máxima media en los meses más cálidos grados; DN= diámetro normal; ICS= índice de calidad de sitio; IPS= índice de productividad del sitio.

3.6 Conclusiones

Los árboles de las diversas localidades tuvieron edades de 46 a 50 años ($p \leq 0.05$), y presentaron características dasométricas que variaron en rango de 34.5 y 41.1 m de altura total, en relación positiva al índice de calidad del sitio. En los diversos árboles en localidades desarrollaron de 20 a 35 conos, con peso promedio de 85.9 a 142 g/cono, y en los que se obtuvieron de 40.8 a 71.75 ($p \leq 0.01$) semillas llenas por cono. Una semilla colectada de árbol en Yolox pesó 24.27 mg que fue 17% más pesada que una semilla colectada de árbol en la localidad de Ixtepeji. Al evaluar las semillas en 11 características, mostraron variación respecto a la procedencia y en árboles dentro de las procedencias. Los árboles seleccionados en San Pedro Yolox presentan los mejores indicadores reproductivos, con buena eficiencia reproductiva en comparación con los árboles de las otras localidades, y con un bajo índice de endogamia lo que favorece en la producción de semilla llena.

3.7 Literatura citada

- Alba-Landa, J., Mendizábal-Hernández, L. del C. y Márquez R. J. 2008. El mejoramiento forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. *Foresta Veracruzana* 1: 25-29.
- Arista, M. y Talavera, S. 1996. Density effect on the fruit-set, seed crop viability and seedling vigour of *Abies pinsapo*. *Annals of Botany*. 77: 187-192.

- Bello, G. M. A. 1988. Potencial, eficiencia y producción de semillas en conos de *Pinus pseudostrobus* Lind. en Quinceo, municipio de Paracho Michoacán. Revista Ciencias Forestales 64(13): 4-29.
- Bramlett, D. L., Belcher, E. W., DeBarr, G. L., Hertel, Ware, J. L., Karrfalt R. P., Lantz, C. W., Miller, T., K. D. y III Y. H. O. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA For. Ser. Ashville, NC. 28 p.
- Bustamante, G. V., Prieto, R. J. A., Merlín, B. E., Álvarez, Z. R., Carrillo, P. A. y Hernández, D. J. C. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques 18(3): 7-21.
- Castellanos, A. D., Sáenz, R. C., Lindi, C. R. A., Sánchez, V. N. M., Lobbit, P. y Montero, C. J. C. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo de vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 19(3): 399-411.doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.01.002
- CONACYT-CONAFOR. 2013. Sistema biométrico para la planeación del manejo forestal sustentable de los ecosistemas con potencial maderable en México. 75 p.
- CONAFOR. 2011. Programa de Inversión Forestal de México. Banco Mundial. Financiera Nacional, BID y CONAFOR. México. 52 p.

- CONAFOR. 2016. Producen 4.6 millones de plantas para reforestación y restauración en Oaxaca. Comunicación social. Boletín informativo. 1 p.
- CONAFOR. 2019. Entrega de 2.5 millones de plantas para reforestar Oaxaca. Comunicado de gobierno. 1p.
- Domínguez, C. P. A., Navar, C. J. J., Pompa, G. M. y Treviño, G. E. J. 2016. Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. Foresta Veracruzana 18(2): 29-36.
- Espinoza, H. M., Márquez, R. J., Alejandre, R. J. y Cruz J. H. 2009. Estudio de conos de *Pinus pseudostrobus* lindl. en un relicto de la localidad el paso, municipio de la Perla, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 11(1):33-38.
- Flores, L. C., Geada L. G., López, U. J. y López R. E. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. Revista Forestal Baracoa 31(2):49-58.
- Flores-López, C., Lopéz-Upton, J. y Vargas-Hernández, J. J. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Agrociencia 39(1): 117-126.
- Gómez, J. D. M., Ramírez H. C., Jasso M, J. y López, U. J. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. & Cham. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4): 297-304.

- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. y Townshend, J. R. G. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342(6160): 850–53.
- Hernández, C. O., Ramírez, G. E. O. y Mendizábal, H. L. 2003. Variación en semillas de cinco procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Foresta Veracruzana* 5(2):23-28.
- INIFAP. 2013. Selección de árboles superiores del género *Pinus*. México. 59 p.
- Krannitz, P. G. and Duralia. T. E. 2004. Cone and seed production in *Pinus ponderosa*: a review. *Western North American Naturalist* 64(2): 208-218.
- López, U. J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo A., J. A. (ed.). *Tropical Tree Seed Manual*. USDA Forest Service. Washington, DC, USA. pp. 636-638.
- Mápula, L. M., López, U. J., Vargas, H. J. J. y Hernández L. A. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation* 16(3):727-742.
- Márquez, B. C. 2017. Indicadores reproductivos de dos áreas productoras de semillas en *Pinus caribaea* var. *caribea* y *Pinus tropicalis*. *Revista Científico Estudiantil Ciencias Forestales y Ambientales* 2(1): 21-29.

- Méndez, N. M. 2017. Diversidad genética y sistema de cruzamiento en poblaciones de *Pinus patula* con diferentes densidades. Tesis de maestría. Ciencias Forestales. Colegio de postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 75 p.
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y. S., Johnsen, K. H. y Rajora, O. P. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. Reproductive traits and fecundity. *Can. J. Bot.* 78(7): 928-940.
- Mosseler, A., Rajora, O. P., Major, J. E. y Kim, K. H. 2004. Reproductive and genetic characteristics of rare, disjunct pitch pine populations at the northern limits of its range in Canada. *Conservation Genetics* 5(5): 571-583.
- Quiroz-Vázquez, R. I., López-Upton, J., Cetina-Alcalá, V. M. y Ángeles-Pérez, G. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pinceana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia* 51(1): 91-104.
- Ramírez, S. S. E., López, U. J., Gabino, G. S., Vargas, H. J. J., Hernández, L. A. y Ayala G. O. J. 2011. Variación morfológica de semillas de *Taxus globosa* Schlt. provenientes de dos regiones geográficas de México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 34(2): 93–99.
- Ramírez-García, E. O., Alba-Landa, J. y Mendizábal-Hernández, L. C. 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl. & Cham. *Foresta Veracruzana* 3(1): 27-34.

- Rodríguez, L. R., Razo, Z. R., Juárez, M. J., Capulín, G. J. y Soto, G. R. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(4): 289-298.
- Sáenz, R. C., Aguilar, A. S., Silva, F. M. A., Madrigal, S. X., Lara, C. S. y López, U. J. 2012. Variación morfológica altitudinal entre poblaciones de *Pinus devoniana* Lindl. y la variedad *putativa cornuta* en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 3(13): 17-28.
- Sáenz, R. C., Rehfeldt, G. E., Crookston, N. L., Duval, P., St, A. R., Beaulieu, J. y Richardson, B. A. 2010. Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates of Mexico and their use in understanding climate-change impacts on the vegetation. *Climatic Change* 102: 595–623. doi: 10.1007/s10584-009-9753-5
- Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J. y Rueda, S. A. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. INIFAP- Campo Experimental Uruapan. Michoacán, México. 213 p.
- SEMARNAT. 2016. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015. México. pp. 143-145.
- Sims, R., E. H., Schock, R. N., Adegbulugbe, A., Fenhann, J., Konstantinaviciute, I., Moomaw, W., Nimir, H.B., Schlamadinger, B., Torres, M. J., Turner, C., Uchiyama, Y., Vuori, S. J. V., Wamukonya, N. y Zhang, X. 2007. Energy supply. In: Metz, B., O. R. Davidson, P. R.

- Bosch, R. Dave and L. A. Meyer (eds.). Climate change: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, U K /New York, NY, USA. pp. 251-322.
- Todhunter, M. N., and Polk, R. B. 1981. Seed and cone production in a clonal orchard of jack pine (*Pinus banksiana*). Canadian Journal Forest of Research 11(3): 512-516.
- UACH. 2010. Evaluación del Programa Nacional de Reforestación estado de Oaxaca. México. 47 p.
- Villegas-Jiménez, D., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. J., Enríquez-Del-Valle, J. R. y Cruz-Carrillo, J. J. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Gayana Bot. 73(1): 113-123.
- Viveros, V. H., Camarrillo, L. A. R., Saenz, R. C. y Aparicio, R. A. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. Bosque 34(2): 173- 179.
- Viveros, V. H., Sáenz, R., C. López, U. J. y Vargas, H. J. J. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl en campo. Agrociencia 39(5): 575–587.

CAPÍTULO IV

CALIDAD DE PLÁNTULA DE UN ENSAYO DE PROGENIES DE *Pinus pseudostrobus* lindl. var. *oaxacana* EN OAXACA

PLANT QUALITY OF A PROGENY TEST OF *Pinus pseudostrobus* lindl. var. *oaxacana* IN OAXACA

Rey David Aragón Peralta¹, Gerardo Rodríguez-Ortiz¹, José Raymundo Enríquez del Valle¹, Gisela Virginia Campos Angeles¹, Adán Hernández Hernández².

¹Posgrado del Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). México. ²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Melchor Ocampo, Santo Domingo Barrio Bajo, 68200 Villa de Etla, Oaxaca.

4.1 Resumen

La calidad de la planta producida en vivero influye en la supervivencia de las plantaciones forestales. La evaluación de progenies permite conocer los progenitores que generan las plantas de mejor calidad. El objetivo fue evaluar la calidad de la progenie de 43 árboles de *Pinus pseudostrobus* selectos como superiores en cuatro poblaciones del estado de Oaxaca y una de Chiapas. En 2018 se realizó muestreo destructivo a cinco plantas de ocho meses de edad por árbol, en las que se cuantificó la altura, diámetro, longitud de la raíz, peso verde y seco del tallo, acículas, raíz y área foliar, a partir de estas variables se generaron índices para evaluar la calidad de la planta. Se aplicaron análisis de varianza y pruebas de medias (Tukey, 0.05). Las progenies resultaron, para la mayoría de las variables, estadísticamente distintas ($p \leq 0.05$). Las plantas originadas con semilla de árboles selectos como superiores en las comunidades de Ixtepeji y Jaltianguis se clasificaron como planta de alta calidad, mientras que las de Chiapas, Yolox y Teococuilco se clasificaron de calidad media. Las plantas de Ixtepeji y Jaltianguis al recibir las mismas labores culturales es probable que su calidad alta se deba a la calidad genética que heredaron de sus progenitores, sería factible dar seguimiento a los ensayos de progenie que se establecieron y determinar si esta ganancia genética se obtiene en edades posteriores

Palabras clave: Calidad de plántula, características morfológicas, *Pinus pseudostrobus*, progenie.

4.2 Summary

The quality of the plant influences the survival of the forest plantations during the establishment, this evaluation allows to know the parents that generate the plants of better quality. The objective was to evaluate the quality of the progeny of selected *Pinus pseudostrabus* trees as superior in different populations of the state of Oaxaca. In 2018, destructive sampling was carried out on 5 plants of 8 months of age per tree where variables such as height, diameter, root length, green weight and dry weight of the stem, needles, root and leaf area were obtained, based on these variables. They generated indexes to evaluate the quality of the plant. Analysis of variance and tests of means were applied (Tukey, 0.05). The progenies were, for most of the variables, statistically different ($p \leq 0.05$). Plants originating from seed of selected trees as superior in the communities of Ixtepeji and Jaltianguis were classified as high quality plants. While those of Chiapas, Yolox and Teococuilco were classified as medium quality. The Ixtepeji and Jaltianguis plants, upon receiving the same cultural work, are likely to have high quality due to the genetic quality they inherited from their parents, it would be feasible to follow up on the progeny tests that were established and determine if this genetic gain is obtained in later ages.

Key words: progeny, seedling quality, morphological characteristics and *Pinus pseudostrabus*.

4.3 Introducción

En Oaxaca el mejoramiento genético de *Pinus* es un tema en el cual se está trabajando actualmente. Se inicia con la selección de árboles superiores en los bosques naturales, de los que se colectan semillas, para propagar en vivero. Las plantas descendientes de cada árbol seleccionado constituyen una familia, y las plantas de las diversas familias se establecen en un ensayo de progenies, en varios sitios (ambientes), para evaluar su crecimiento (White *et al.*, 2007; Espitia *et al.*, 2010). Debido a la longevidad y tasa de crecimiento de los árboles se requieren muchos años para la evaluación, y para acelerar el proceso se usa la selección temprana (Farfán *et al.* 2002, Salaya-Domínguez *et al.*, 2012). Determinar la calidad genética de los progenitores, mediante la evaluación morfológica de sus progenies en vivero, podría ser muy apresurado, pero se podrían correlacionar estas características con patrones de desarrollo tardío y de esta manera hacer selección temprana, lo cual no reduciría tiempo y costos (Ramírez-García *et al.*, 2001).

Evaluar la calidad de planta permite conocer la capacidad que tienen para adaptarse y desarrollar en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación, y depende de las características genéticas del germoplasma y de las técnicas utilizadas para su reproducción en vivero (Prieto *et al.*, 2009).

Emplear planta de calidad, asegura en mayor medida el éxito de las plantaciones o reforestaciones, la calidad viene definida por una serie de

parámetros morfológicos y fisiológicos; para lograr plantas de mejores características es necesario desarrollar labores culturales adecuadas desde la calidad genética de la semilla, y en el vivero, el tipo de sustrato, el contenedor a utilizar, y la correcta nutrición de las plantas (Gomes *et al.*, 2002; Rodríguez, 2008).

Pinus pseudostrobus Lindl. especie endémica de México con alta variación genética altitudinal, con potencial para reforestación, agroforestería y plantaciones comerciales maderables por la calidad de su madera y rápido crecimiento, aunado a la alta diversidad genética y amplia distribución altitudinal de 1600 a 3250 m; prospera en climas templados a templados cálidos con temperaturas que oscilan de -9.0 a 40 °C (Viveros-Viveros *et al.*, 2005; Delgado *et al.*, 2007; Sáenz *et al.*, 2011; Sáenz-Romero *et al.*, 2012; Cambrón *et al.*, 2013; Castellanos-Acuña *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* a largo plazo, pero se requiere incrementar el conocimiento sobre biología de la especie, dinámicas poblacionales y caracteres heredables con fines de explotación maderable (Villegas-Jiménez *et al.*, 2016). Por lo cual el objetivo fue evaluar la calidad de la progenie de árboles de *Pinus pseudostrobus* selectos como superiores en distintas poblaciones del estado de Oaxaca.

4.4 Materiales y métodos

4.4.1 Obtención de plántulas

El estudio se realizó con plantas originadas de semillas de árboles selectos como superiores en cuatro localidades del estado de Oaxaca y una de Chiapas. La reproducción de la plántula se realizó en marzo del 2018 en el vivero forestal del campo experimental Valles Centrales de Oaxaca del INIFAP; las semillas se germinaron en charolas con 53 cavidades de 143 cm³, con sustrato de peat moss: 50%, agrolita: 25% y vermiculita: 25% más 7 kg de osmocote. , para su trasplante posterior a campo. En la siembra, la semilla proveniente de los árboles superiores se identificaron estrictamente con número de semilla, de árbol, procedencia y fecha de la siembra. Se sembraron un total de 90 semillas de cada familia. Durante el periodo de la producción todas las plántulas recibieron las mismas labores culturales.

4.4.2 Indicadores de calidad de planta

El muestreo destructivo y la toma de datos se realizaron a finales del ciclo de producción, cuando las plantas tenían 8 meses de edad, previo a la salida de las plantas a campo entre octubre y noviembre del 2018. Se utilizaron 5 plantas por árbol, seleccionadas al azar, esta intensidad se definió de acuerdo a las plantas excedentes de las que se utilizarían para el ensayo de progenies. La información registrada fue: clorofila en hojas (unidades SPAD) que se determinó

con SPAD marca Konica Minolta 502; altura de planta (cm) y longitud de la raíz (cm) obtenidas con regla graduada; diámetro del cuello de la raíz o basal (mm), se obtuvo con un vernier digital con precisión ± 0.1 mm; volumen de raíz, tallo y acículas (mm^3), se obtuvo sumergiendo las secciones de la planta en un volumen conocido de agua en una probeta graduada en (mm); con balanza analítica marca Shimadzu modelo ATY224, con precisión de $\pm 0,1$ mg, se obtuvo la biomasa (g) en húmedo y en seco de la parte aérea y de la raíz, para lo cual, se deshidrataron las plantas a 70°C hasta obtener peso constante en una estufa de secado marca Memmert modelo 100 – 800. Las acículas de 30 plantas se escanearon en una impresora EPSON L380, las imágenes de escáner se procesaron en el programa ImageJ en donde se obtuvo el área foliar, y con el peso seco de las acículas se generó un modelo, para estimar el área foliar de las plantas restantes.

Con las variables anteriores se determinaron los siguientes índices de calidad de planta: Índice de robustez (IR): relaciona altura de la planta (cm)/ diámetro cuello de la raíz (mm); relación altura/longitud de la raíz (RA/LR): predice el éxito de la plantación y debe existir equilibrio y proporción entre la parte aérea y el sistema radical de las plantas se calculó con la fórmula: $\text{RA/LR} = \text{altura de la planta (cm)} / \text{longitud de raíz de la planta (cm)}$; relación biomasa seca aérea/biomasa seca raíz (RBSA/BSR): refleja el desarrollo de la planta en vivero, se calculó con la fórmula: $\text{RBSA/BSR} = \text{biomasa seca área (g)} / \text{biomasa seca raíz (g)}$.

Índice de calidad de Dickson (ICD): Reúne varios atributos morfológicos en un sólo valor que es usado como índice de calidad; a mayor valor de índice resultará una mejor calidad de planta y se calculó con la fórmula: $ICD = \frac{\text{peso seco total de la planta}}{((\text{altura} / \text{diámetro del cuello de la raíz}) + (\text{peso seco parte área} / \text{peso seco raíz}))}$; índice de lignificación (IL): Relaciona el peso seco total entre el peso húmedo total de la planta, el cual determina el porcentaje (%) de lignificación; se calculó con la fórmula: $IL = (\text{peso seco de la planta} / \text{peso húmedo total}) \times 100$.

Con las características evaluadas, se calificó la calidad de planta al comparar los resultados con valores de diversos estudios realizados en coníferas (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR 2009; Sáenz *et al.*, 2010; Rueda-Sánchez *et al.*, 2013) (Cuadro 4.4.1).

Cuadro 4.4.1. Intervalos de calidad de plántula de *Pinus* para atributos morfológicos.

Variable	Calidad		
	Baja	Media	Alta
Altura	< 12	12-15	15-25
Diámetro	< 2.5	2.5-4	> 4
RALR	> 2.5	2-2.5	< 2
RBS	> 2.5	2-2.5	1.5-2
ICD	< 0.2	0.2-0.5	> 0.5
IR	≥ 8.0	7.9 – 6.0	< 6.0

RALR = relación altura, longitud de la raíz; RBS = relación biomasa seca aérea, biomasa seca raíz; ICD = índice de calidad de Dickson; IR = índice de robustez.

Calidad alta: Se refiere a plantas con mínima presencia de características indeseables, es decir, que las variables evaluadas se calificaron como de calidad alta (A), aunque se puede aceptar hasta dos valores con calidad media (M), pero en ningún caso valores con calidad baja (B). Calidad media: Se aceptan hasta tres valores de calidad media (M) y una variable con calificación de calidad baja (B). Calidad baja: Son aquellas plantas que presentan dos o más valores de calidad baja (B), es decir, son plantas que tendrán una baja supervivencia y reducido desarrollo en los sitios de plantación (Sáenz *et al.*, 2014).

4.4.3 Manejo y análisis de datos

El experimento se estableció en un diseño completamente al azar para diferenciar las progenies. Los tratamientos fueron las localidades donde se seleccionaron los árboles superiores, y de los cuales se obtuvo semilla para su posterior germinación. La unidad experimental fue una plántula con 5 repeticiones. Todos los análisis se procesaron en el paquete computacional *Statistical Analysis System* (SAS 9.0). Para saber si los datos cumplían con los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se les realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Bartlett respectivamente, las variables que no cumplieron los supuestos se les aplicó la transformación $\ln(x)$ y raíz cuadrada, dependiendo del comportamiento de la variable. Se realizaron análisis de varianza con el procedimiento PROC GLM y pruebas de comparación de

medias de Duncan ($\alpha=0.05$). Se llevó a cabo un análisis de correlación entre en variables climáticas, dasométricas y variables de calidad de plántula. Además un procedimiento Cluster para agrupar las relaciones entre calidad de la plántula por árbol.

Con el área foliar y peso seco de las acículas de una muestra de 30 plántulas, se generó un modelo mediante regresión en el programa (SAS 9.0) el cual quedó de la siguiente manera: $AF = 618.2e^{-0.9343(1/PSA)}$ donde: AF = área foliar (cm^2); PSA = peso seco de las acículas (g), con una bondad de ajuste de $R_{adj}^2 = 0.91$, $\beta_0 = 70.6$, $\beta_1 = 0.24$ y $F_c = 301.82^{**}$.

4.5 Resultados y discusión

4.5.1 Variables morfológicas tomadas en el muestreo destructivo

De acuerdo a los componentes de varianza el error fue la principal fuente de variación en todas las variables que se obtuvieron de las plántulas. (Cuadro 4.4.2).

La altura de las plantas de las diversas procedencias fluctuó entre 22.1 cm las provenientes de Chipas y 25.8 cm las, de Ixtepeji, aunque parece poca la diferencia en altura, los componentes de varianza muestran diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en la procedencia y en arboles dentro de procedencias.

A la edad de 3 meses (Castellano-Acuña *et al.*, 2013) reportó una altura de 8.8 cm. Las plantas al encontrarse en condiciones de homogeneidad en el vivero las diferencias pueden atribuirse a las variaciones entre procedencias, que puede tener un componente genético (Ramírez *et al.*, 2001). El diámetro al cuello de la raíz no presentó diferencias significativas, las plántulas de tres procedencias presentaron el mismo promedio de 4.4 mm y por debajo de ellas las que proceden de Ixtepeji y Jaltianguis con 4.3 mm y 4.2 mm respectivamente. Para la misma especie y la misma edad (8 meses), (Rueda *et al.*, 2012) reportaron promedios 13.7 cm de altura y 2.4 mm de diámetro, Sáenz *et al.* (2010) hallaron un promedio de 22.3 cm en altura y 4.3 mm en diámetro, en estudio realizado en viveros de clima templado en Michoacán, mientras que (Villegas *et al.*, 2016) a los 166 días después de la siembra encontraron un altura de 16.6 cm y un diámetro de 2.49 mm. No todas las progenies presentaron ramas al momento del muestro destructivo, es por ello que en todas las procedencias presentan valores menores a 1 (Cuadro 4.4.3). Villegas *et al.* (2016) hallaron entre los 82 y 166 días después de la siembra la emisión de braquiblastos sobre las ramillas primarias y secundarias. La longitud del fuste limpio corresponde solo a las plántulas con ramas, la altura de fuste limpio, han sido utilizadas exitosamente durante décadas para evaluar el incremento de árboles (Vargas, 2010), se obtuvieron valores que van de 6.7 cm en los árboles de Yolox y 3.5 cm en los árboles de Chiapas. La clorofila, responsable de la captación de la radiación solar en el proceso de fotosíntesis, y esta energía lumínica es transformada en energía química por plantas (Zarco-Tejada *et al.*, 2004), los valores del SPAD variaron en un intervalo de 13.5 a 15.2 unidades

SPAD que corresponden a los árboles de las procedencias de Yolox e Ixtepeji, respectivamente.

Una característica importante para el éxito en el establecimiento y supervivencia de las plantas es el crecimiento y desarrollo de la raíz, pues de ésta depende en gran medida la absorción de agua y nutrimentos esenciales para diversos procesos fisiológicos (Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011), la longitud de la raíz fluctuó de 12.5 cm en los árboles procedentes de Yolox y 13.8 cm en los árboles procedentes de Jaltianguis. Las plántulas de las familias que proceden de Jaltianguis presentaron los mejores promedios en las variables de peso verde de acículas, peso verde raíz lignificada, peso verde raíz no lignificada, volumen de acículas, volumen de raíz lignificada y volumen raíz no lignificada y por lo contrario en peso verde del tallo, peso seco del tallo, peso seco de acículas (Cuadro 4.4.3). Las progenies de familias procedentes de Chiapas se obtuvieron promedios menores en peso verde y volumen de raíz lignificada, peso verde de raíz no lignificada. Para las procedentes de Yolox se tienen mayores promedios en peso verde del tallo, volumen del tallo y promedios menores en peso verde y volumen de las acículas y peso seco de raíz no lignificada.

Cuadro 4.4.2 Componentes de varianza las variables medidas a plántulas de *Pinus pseudostrabus*.

Variables	Varianza	Procedencia	Árbol	Error
		%	%	%
Clorofila [¶]	0.16	0.7	6.2	93.1
Número de ramas	0.61	3.3 *	0	96.7
Altura (cm)	28.5	3.9 *	10.2 *	85.9
LFL [§]	0.015	13.4 **	53.3 **	33.3
Diámetro (mm) [¶]	0.049	0	18 **	82
LR (cm)	1.86	7 **	17.8 **	75.2
PVT (g) [¶]	0.1	0	10 *	90
PVA (g)	8.39	0	7.6 *	92.4
PVRL (g) [¶]	0.049	2 *	16.3 **	81.7
PVRNL (g) [¶]	0.12	2.5 **	25 **	72.5
VT (mm ³) [¶]	0.126	0	6.3	93.7
VA (mm ³) [¶]	0.36	2.5 *	8.4 *	89.1
VRL (mm ³) [¶]	0.065	15.4 **	7.6	77
VRNL (mm ³) [¶]	0.12	8.3 **	8.3 **	83.4
PST (g) [¶]	0.049	2 *	16.3 **	81.4
PSA (g) [¶]	0.068	0	11.7 *	88.3
PSRL (g) [¶]	0.0096	0	6.3	93.7
PSRNL (g) [¶]	0.012	8.3 **	8.3	83.4
Area foliar (cm ²)	7938.1	0	10 *	90

LFL = longitud de fuste limpio; LR = longitud de raíz; PVT = peso verde del tallo; PVA = peso verde de acículas; PVRL = peso verde raíz lignificada; PVRNL = peso verde de raíz no lignificada; VT = volumen del tallo; VA = volumen de acículas; VRL = volumen raíz lignificada; VRNL = volumen de raíz no lignificada, PST = peso seco del tallo; PSA = peso seco de acículas; PSRL = peso seco raíz lignificada; PSRNL = peso seco de raíz no lignificada; [¶] transformación con raíz cuadrada; [§] transformación con logaritmo; * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01.

Cuadro 4.4.3. Características de las variables medidas a plántulas de *Pinus pseudostrabus*.

Variables	Localidades				
	Chiapas	Ixtepeji	Jaltianguis	Teococuilco	Yolox
Clorofila	13.6 ± 0.3 ab	15.2 ± 0.6 a	14.2 ± 0.4 ab	13.9 ± 0.3 ab	13.5 ± 0.7 b
NR	0.5 ± 0.1 a	0.5 ± 0.1 ab	0.2 ± 0.08 ab	0.1 ± 0.05 b	0.1 ± 0.09 b
Altura (cm)	22.1 ± 0.7 b	25.8 ± 0.9 a	24.7 ± 0.7 ab	24 ± 0.6 ab	25.2 ± 1.2 a
LFL (cm)	3.5 ± 0.2 b	4.7 ± 0.5 b	3.9 ± 0.1b	4.5 ± 0.4 b	6.7 ± 2.3 a
D (mm)	4.4 ± 0.1 a	4.3 ± 0.1 a	4.2 ± 0.1 a	4.4 ± 0.1 a	4.4 ± 0.2 a
LR (cm)	13 ± 0.1b	13 ± 0.1 b	13.8 ± 0.2 a	12.7 ± 0.1 b	12.5 ± 0.3 b
PVT (g)	3.16 ± 0.2 a	3.13 ± 0.1 a	3.01 ± 0.1 a	3.07 ± 0.1 a	3.37 ± 0.4 a
PVA (g)	6.5 ± 0.4 a	6.6 ± 0.3 a	7 ± 0.4 a	6.2 ± 0.3 a	5.9 ± 0.7 a
PVRL (g)	1.4 ± 0.1 b	1.6 ± 0.1 ab	1.9 ± 0.1 a	1.6 ± 0.08 ab	1.5 ± 0.1 b
PVRNL (g)	2.1 ± 0.2 b	2.4 ± 0.1ab	3 ± 0.2 a	2.3 ± 0.1 ab	2.2 ± 0.4 b
VT (mm ³)	3.2 ± 0.2 a	3.1 ± 0.2 a	3.2 ± 0.2 a	3.4 ± 0.1a	3.8 ± 0.4 a
VA (mm ³)	6.6 ± 0.3 b	8.4 ± 0.4 ab	8.7 ± 0.5 a	7.9 ± 0.4 ab	6.6 ± 0.6 b
VRL (mm ³)	1.5 ± 0.1 c	1.9 ± 0.1 bc	2.5 ± 0.1 a	2.2 ± 0.1 ab	1.8 ± 0.1 c
VRNL (mm ³)	2.1 ± 0.2 b	3.3 ± 0.2 a	3.4 ± 0.2 b	2.7 ± 0.1 ab	2.3 ± 0.3 b
PST (g)	1.01 ± 0.06 a	0.94 ± 0.06 a	0.8 ± 0.04 a	0.93 ± 0.05 a	0.97 ± 0.09 a
PSA (g)	2.5 ± 0.1 a	2.3 ± 0.1 a	2.1 ± 0.1 a	2.2 ± 0.1 a	2.3 ± 0.2a
PSRL (g)	0.5 ± 0.03 a	0.6 ± 0.04 a	0.6 ± 0.03 a	0.58 ± 0.03 a	0.54 ± 0.05 a
PSRNL (g)	0.7 ± 0.04 ab	0.89 ± 0.07 a	0.6 ± 0.03 bc	0.6 ± 0.03 bc	0.5 ± 0.08 c
AF (cm ²)	403 ± 12 a	384 ± 14 a	368 ± 12 a	371 ± 11 a	385 ± 19.9 a

NR = número de ramas; LFL = Longitud de fuste limpio; D = diámetro; LR = longitud de raíz; PVT = peso verde del tallo; PVA = peso verde de acículas; PVRL = peso verde raíz lignificada; PVRNL = peso verde de raíz no lignificada; VT = volumen del tallo; VA = volumen de acículas; VRL = volumen raíz lignificada; VRNL = volumen de raíz no lignificadas, PST = peso seco del tallo; PSA = peso seco de acículas; PSRL = peso seco raíz lignificada; PSRNL = peso seco de raíz no lignificada. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan, 0.05). La media se incluye ± el error estándar.

4.5.2 Variables e índices de calidad de planta

Las variables peso seco de la parte aérea, índice de calidad de Dickson, contenido de humedad del tallo y el peso verde y seco de toda la planta mostraron promedios similares en cada una de las procedencias por lo que resultaron con diferencias estadísticamente no significativas. Aguilera *et al.*, (2016) produjeron planta de *P. pseudostrobus* de 10 meses de edad con 1.3 g de peso seco de la raíz y 4.2 g de peso seco de la parte aérea. Muñoz *et al* (2014) describen que árboles de *P. michoacana* y *P. ayacahuite* producidos en

vivero tuvieron a los 10 meses de edad 10.4 g y 7.4 g, de biomasa área y 3.6 g y 3.04 g en raíz, respectivamente. En un estudio en *Pinus cooperi* (Gonzales et al., 2018) encontraron que el tipo de sustrato en que se establecen las plantas influye en la producción de biomasa área y biomasa total.. En el presente trabajo, el análisis de varianza arrojó diferencias significativas para el peso seco de la raíz y la relación altura / longitud de la raíz, obteniendo el promedio más alto en las dos variables, las plantas que proceden de Ixtepeji: con 1.5 g y 1.9 respectivamente. El resto de las variables mostraron diferencias altamente significativas como lo muestra el (Cuadro 4.4.4). Al determinar los contenidos de humedad de cada sección de la planta las provenientes de Jaltianguis tiene los mejores promedios y por lo contrario las provenientes de Chiapas, excepto contenido de humedad de las acículas que provienen de Yolox (Cuadro 4.4.5).

Cuadro 4.4.4. Componentes de varianza de los índices y variables derivadas de plántula de *Pinus pseudostrobus*.

Variables	Varianza	Procedencia	Árbol	Error
		%	%	%
PSAR (g) ¶	0.10	0	14 **	86
PSR (g) ¶	0.023	4 *	8.7	87.3
PVT (g)	23.9	0	10.9 *	89.1
PST (g) ¶	0.13	0	11.7 *	88.3
IR §	0.0092	5 **	7.6	87.4
RALR ¶	0.012	4.7 **	16.6 **	78.7
RBS §	0.013	7.7 **	15.3 **	77
ICD §	0.045	0	11.1*	88.9
IL % §	0.01	10 **	10 **	20
CHT	0.52	2 *	11.5 *	86.5
CHA	0.56	9 **	7.1	83.9
CHRL	0.57	5.2 **	7	87.8
CHRNL §	0.11	18.1 **	18.1 **	63.8

PSAR = peso seco aéreo; PSR = peso seco de raíz; PVT = peso verde total; PST = peso seco total; IR = índice de robustez; RALR = relación altura, longitud de la raíz; RBS = relación biomasa seca aérea, biomasa seca raíz; ICD = índice

de calidad de Dickson; IL = índice de lignificación; CHT = contenido de humedad del tallo; CHA = contenido de humedad de acículas; CHRL = contenido de humedad de raíz lignificada; CHRNL = contenido de humedad de raíz no lignificada; [¶]transformación con raíz cuadrada, [§]transformación con logaritmo; * P ≤ 0.05; ** P ≤ 0.01.

Cuadro 4.4.5. Características e índices y variables derivadas de los árboles de *Pinus pseudostrobus* de diversas procedencias a los siete meses de crecimiento en vivero.

Variables	Localidades				
	Chiapas	Ixtepeji	Jaltianguis	Teococuilco	Yolox
PSAR (g)	3.5 ± 0.1 a	3.2 ± 0.2 a	2.9 ± 0.01 a	3.2 ± 0.1 a	3.2 ± 0.3 a
PSR (g)	1.3 ± 0.07 ab	1.5 ± 0.1 a	1.3 ± 0.06 ab	1.2 ± 0.06 b	1.1 ± 0.1 b
PVT (g)	13.3 ± 0.6 a	13.8 ± 0.7 a	15 ± 0.6 a	13.3 ± 0.6 a	13.1 ± 1.3 a
PST (g)	4.9 ± 0.2 a	4.8 ± 0.3 a	4.2 ± 0.2 a	4.4 ± 0.2 a	4.3 ± 0.3 a
IR	5.2 ± 0.2 b	6 ± 0.2 a	5.9 ± 0.2 a	5.4 ± 0.1 ab	5.7 ± 0.2 ab
RALR	1.7 ± 0.05 b	1.9 ± 0.07 a	1.8 ± 0.06 ab	1.8 ± 0.05 ab	2 ± 0.1 a
RBS	2.7 ± 0.1 ab	2.2 ± 0.08 b	2.3 ± 0.1 b	2.8 ± 0.1 a	3.12 ± 0.04 a
ICD	0.6 ± 0.03 a	0.6 ± 0.04 ab	0.5 ± 0.03 ab	0.5 ± 0.03 ab	0.5 ± 1.3 b
IL %	40.2 ± 3.6 a	35 ± 1.5 a	28.7 ± 0.8 b	33.4 ± 0.8 a	34.2 ± a
CHT	2.1 ± 0.1 b	2.4 ± 0.1 ab	2.6 ± 0.09 a	2.3 ± 0.07 ab	2.3 ± 0.2 ab
CHA	1.7 ± 0.09 b	1.9 ± 0.1 ab	2.3 ± 0.1 a	1.7 ± 0.06 b	1.6 ± 0.1 b
CHRL	1.5 ± 0.08 b	1.8 ± 0.1 ab	2.1 ± 0.1 a	2 ± 0.09 ab	1.9 ± 0.1 ab
CHRNL	1.7 ± 0.2 b	2 ± 0.2 b	3.8 ± 0.2 a	3.1 ± 0.2 a	3.4 ± 1 a

PSAR = peso seco de aéreo; PSR = peso seco de raíz; PHT = peso verde total; PST = peso seco total; IR = índice de robustez; RALR = relación altura longitud de la raíz; ICD = índice de calidad de Dickson; IL = índice de lignificación; AF = área foliar; CHT = contenido de humedad del tallo; CHA= contenido de humedad de acículas; CHRL = contenido de humedad de raíz lignificada; CHRNL = contenido de humedad de raíz no lignificada. Letras distintas en la misma fila representan diferencias significativas (Duncan, 0.05). La media se incluye ± el error estándar.

En altura y diámetro en las cuatro procedencias corresponde a planta de alta calidad, en la misma especie en altura (Sáenz *et al.*, 2010; Sáenz *et al.*, 2014) reportaron calidad alta, la altura de la planta es un buen predictor de la altura futura en campo, aunque no lo es para la supervivencia, influye en la competencia de la planta con la vegetación herbácea y arbustiva que la rodea

(Prieto *et al.*, 2009; Sáenz *et al.*, 2010). El diámetro define la robustez del tallo y se asocia con el vigor y sobrevivencia de la planta (Prieto *et al.*, 2009).

El índice de calidad de Dickson y robustez las plantas de árboles de 5 procedencias, cuatro son de alta calidad y una de calidad media (Cuadro 4.4.6). El índice de calidad de Dickson relaciona la información altura/diámetro y la relación parte aérea/raíz; en este caso un aumento en el índice representa plantas de mejor calidad; son individuos más equilibrados con relación a la parte aérea y radical (Oliet, 2000). El índice de robustez es un indicador de la resistencia de la planta a la desecación por viento, de su sobrevivencia y crecimiento en sitios secos. Valores más altos indican que la planta es delgada del tallo en relación a la altura que tiene (Prieto *et al.*, 2009).

La relación altura / longitud de la raíz para Chiapas, Ixtepeji, Jaltianguis y Teococuilco se clasifica de alta calidad, mientras para Yolox de calidad media.

La relación biomasa seca aérea y biomasa seca raíz, se cataloga para Ixtepeji y Jaltianguis de calidad media y de calidad baja para Chiapas, Teococuilco y Yolox. Esto indica que existe una desproporción entre la parte aérea y la raíz. La biomasa ha sido correlacionada con la supervivencia y crecimiento posterior de muchas especies (Rodríguez, 2008). En la misma especie Sáenz *et al.* (2014) encontraron en esta variable plantas de baja calidad.

De acuerdo con los intervalos de calidad de plántula de *Pinus* para atributos morfológicos (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR 2009; Sáenz *et al.*, 2010;

Rueda-Sánchez *et al.*, 2013; Sáenz *et al.*, 2014). Las plantas de Jaltianguis e Ixtepeji son de alta calidad, Sáenz *et al.* (2014) mencionan que es permisible dos valores con calidad media pero ningún valor con calidad baja. Las que proceden de Teococuilco, Yolox y Chiapas son de calidad media, Se aceptan hasta tres valores de calidad media (M) y una variable con calificación de calidad baja (B). La calidad alta de las plantas de Ixtepeji y Jaltianguis al recibir las mismas labores culturales, se deba a la calidad genética que heredaron de sus progenitores, esto no se puede asegurar por que las plantas al momento de la investigación estaban muy jóvenes, sería conveniente seguir con el monitoreo de los ensayos de progenie establecidos en campo para corroborar esta información cuando las plantas tengan mayor edad y mediante esto tener caracteres genéticos de alta heredabilidad para hacer selección temprana de progenitores.

Cuadro 4.4.6. Variables de calidad de planta de *Pinus pseudostrobus*.

Variable	Chiapas		Ixtepeji		Jaltianguis		Teococuilco		Yolox	
	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
Altura	22.1 ± 0.7	A	25.8±0.9	A	24.7±0.7	A	24±0.6	A	25.2±1.2	A
Diámetro	4.4 ± 0.1	A	4.3±0.1	A	4.2±0.1	A	4.4±0.1	A	4.4 ±0.2	A
RALR	1.7±0.05	A	1.9±0.07	A	1.8±0.06	A	1.8±0.05	A	2±0.1	M
RBS	2.7±0.1	B	2.2±0.08	M	2.3±0.1	M	2.8±0.1	B	3.1±0.2	B
ICD	0.6±0.03	A	0.6±0.04	A	0.5±0.03	A	0.5±0.03	A	0.5±0.04	M
IR	5.2±0.2	A	6±0.2	M	5.9±0.2	A	5.4±0.1	A	5.7±0.2	A

P= promedio ± error estandar C= calidad; RALR= relación altura / longitud de la raíz; RBS= relación biomasa seca aérea / biomasa seca raíz; ICD= índice de calidad de Dickson; IR= índice de robustez; A = calidad alta; M = calidad media; B = calidad baja (Santiago *et al.*, 2007; CONAFOR 2009; Sáenz *et al.*, 2010; Rueda-Sánchez *et al.*, 2013; Sáenz *et al.*, 2014). La media se incluye ± el error estándar.

Análisis de correlación y clasificación

La variable, altura de fuste limpio de los progenitores estuvo mayormente asociada con las variables de las progenies teniendo correlación negativa, con el volumen de acículas, raíz lignificada, no lignificada, peso verde total y contenido de humedad del tallo; esto significa que a mayor altura de fuste limpio menor será la unidad que se obtenga en las variables antes mencionadas de las progenies y tiene relación positiva con el índice de lignificación. La altura total se relaciona de forma negativa con el número de ramas y positiva con el índice de robustez, esto muestra que seleccionar árboles con mayor altura generaran progenies resistentes al desecación por el viento con mayor supervivencia y crecimiento potencial en sitios secos (Sáenz *et al.*, 2010); en ensayos de progenies de *Pinus* (Farfan *et al.*, 2002) se ha encontrado correlación positiva entre altura total y el diámetro normal lo que permite utilizarla como un criterio de selección. La edad de los progenitores se asocia de forma negativa con el peso verde de la raíz no lignificada, contenido de humedad de raíz lignificada y raíz no lignificada, se obtienen progenies más lignificadas de árboles de mayor edad. En cuanto a las variables climáticas de los sitios donde se seleccionaron los árboles superiores, la temperatura media anual se asoció positivamente con el peso seco de la raíz no lignificada y de forma negativa con el contenido de humedad de la raíz no lignificada, esta misma variable se asoció de forma positiva con la precipitación media anual(Cuadro 4.4.7). En *Pinus pinceana* (Baquedano y Castillo, 2007; Córdoba-Rodríguez *et al.*, 2011) encontraron que las plantas procedentes donde existe una menor precipitación y un mayor índice de aridez produjeron, un mayor número de raíces principales; esta característica puede ser un mecanismo

adaptativo importante asociado a las condiciones de aridez, porque las raíces principales pueden llegar a horizontes más profundos y confieren a las plantas una mayor capacidad de exploración de la humedad del suelo.

Cuadro 4.4.7. Coeficientes de correlación de Pearson significativos ($\alpha = 0.05$) entre variables climáticas, dasométricas de y variables de calidad de plántula de *Pinus pseudostrobus*.

	NR	PVRNL	VA	VRL	VRNL	PSRNL	PVT	IR	IL	CHT	CHRL	CHRNL
AT	-0.32							0.38				
AFL			-0.34	-0.44	-0.43		-0.33		0.39	-0.42		
EDAD		-0.37							0.42		-0.41	-0.41
ALTITUD								-0.29				
TMA						0.36						-0.41
PMA												0.36
PTCAS												0.34
TMGFM						0.35						
TMMGMM						0.39						
TMMCG						0.35						-0.41
TMMMCG												-0.35

AT: altura total; AFL: altura de fuste limpio; TMA: temperatura media anual; PMA: precipitación media anual; PTCAS: precipitación en la temporada de crecimiento de abril a septiembre; TMGFM: temperatura media en los grados más fríos del mes; TMMGMM: temperatura mínima media en los grados más fríos del mes; TMMCG: temperatura media en los meses más cálidos grados; TMMMCG: temperatura máxima media en los meses más cálidos grados; PVRNL= peso verde de raíz no lignificada; VA= volumen de acículas; VRL= volumen raíz lignificada; VRNL= volumen de raíz no lignificadas; PSRNL= peso seco de raíz no lignificada; PVT= peso verde total; IR= índice de robustez; IL= índice de lignificación; CHT= contenido de humedad del tallo; CHA= contenido de humedad de acículas; CHRL= contenido de humedad de raíz lignificada; CHRNL= contenido de humedad de raíz no lignificada.

La clasificación de los progenitores selectos como superiores en el análisis clúster resultan dos grandes grupos A y B, los cuales se determinaron por la calidad de la planta, observando similitud entre los grupos formados, el grupo A1 con una distancia promedio de 27.27 con 20 árboles, el grupo A2 con 13

árboles con distancia de 34.41; estos grupos se diferencian en las características de clorofila, índice de calidad de Dickson, índice de lignificación y área foliar. El grupo B1 con 9 árboles con distancia 39.92 tienen similitud en clorofila, altura de la plántula, índice de calidad de Dickson, índice de lignificación y área foliar. El grupo B2 con un árbol se separa del grupo B1 por que existe una gran diferencia en la variable índice de lignificación.

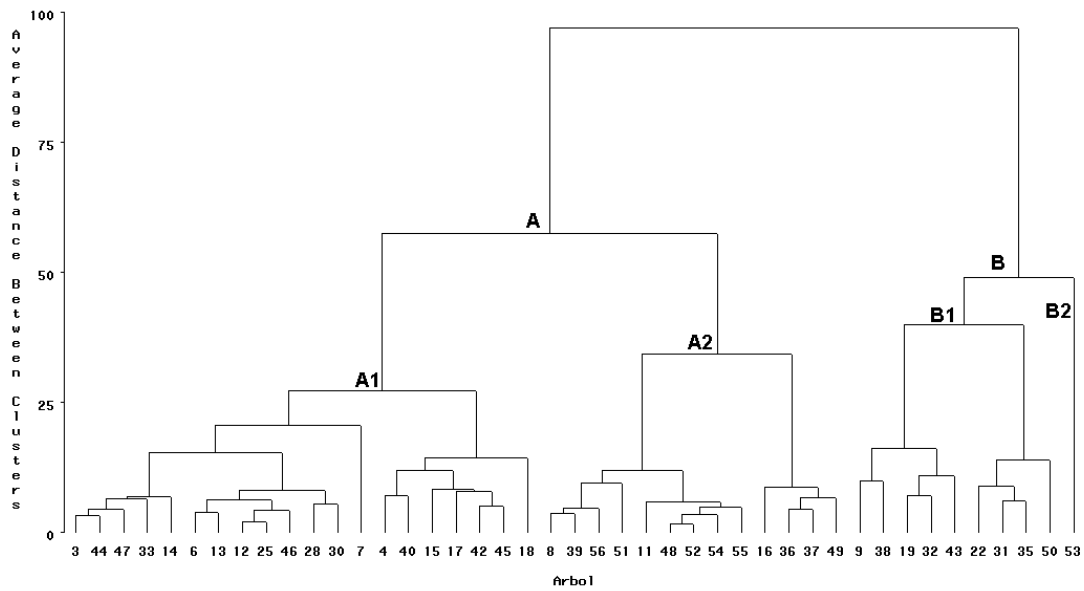


Figura 3.5.2. Clasificación de árboles selectos como superiores de *Pinus pseudostrobus* tomando en cuenta las variables de calidad de la planta.

4.6 Conclusión

Las plantas originadas con semilla de árboles selectos como superiores en las comunidades de Ixtepeji y Jaltianguis se clasificaron como planta de alta calidad, lo que permite que tengan mayor éxito de sobrevivir en el sitio de la plantación. Mientras que las de Chiapas, Yolox y Teococuilco se clasificaron de

calidad media. Las variables de altura de fuste limpio y edad de los progenitores tuvieron mayor correlación con las variables de calidad de planta de las progenies.

4.7 Literatura citada

- Aguilera, R. M., Aldrete, A., Martínez, T. T. y Ordáz, C. V. M. 2016. Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(34): 7-19.
- Baquedano, F. J., and F. J. Castillo. 2007. Drought tolerance in the Mediterranean species *Quercus coccifera*, *Quercus ilex*, *Pinus halepensis* and *Juniperus phoenicea*. *Photosynthetica* 45: 229-238.
- Cambrón, V. H., Suzán, H., Vargas, J. J., Sánchez, N. M. y Sáenz-Romero, C. 2013. Estrategias de crecimiento y distribución de biomasa en *Pinus pseudostrobus* bajo diferentes condiciones de competencia. *Revista Fitotecnia Mexicana* 36(1): 71-79.
- Castellanos-Acuña, D., Sáenz-Romero, C., Linding-Cisneros, R. A., Sánchez-Vargas, N. M., Lobbit, P. y Montero-Castro, J. C. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla* ensayo de vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19(3): 399-411.

- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración. CONAFOR. Guadalajara, Jalisco. México. 9 p.
- Córdoba-Rodríguez, D., Vargas-Hernández, J. J., López-Upton, J. y Muñoz-Orozco, A. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45: 493-506.
- Delgado, P., Salas-Lizana, R., Vázquez-Lobo, A., Wegier, A., Anzidei, M., Alvares-Buylla, E. R., Vendramin, G. G. y Piñeiro, D. 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.
- Espitia, M., Murillo, O., Castillo, C., Arizmendi, H. y Paternina, N. 2010. Ganancia genética esperada en la selección de acacia (*Acacia mangium* Willd.) en Córdoba (Colombia). *Revista U.D.C.A, Actividad y Divulgación Científica* 13(2): 99 - 107.
- Farfán, E. G., Jasso, J., López, U. J., Vargas, H. J. J. y Ramírez, C. 2002. Parámetros genéticos y eficiencia de la selección temprana en *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite* Ehren.. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25(3): 239-246.
- Muñoz, F. H. J., Sáenz, R. J. T., Coria, A. V. M., García, M. J. J., Hernández, R. J. y Manzanilla, Q. G. E. 2014. Calidad de planta en el vivero forestal La Dieta, Municipio Zitácuro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6(27): 72-89.

- Oliet, J. 2000. La calidad de la postura forestal en vivero. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de Córdoba. Córdoba, España. 93 p.
- Prieto, R. J. A., García, R. J. L., Mejía, B. J. M., Huchin, A. S. y Aguilar, V. J. L. 2009. Producción de plántula del genero *Pinus* en vivero del clima templado frio. Publicación Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana, INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.
- Ramírez-García, E. O., Alba-Landa, J. y Mendizábal-Hernández, L. C. 2001. Evaluación en vivero de un ensayo de procedencias/progenie de *Pinus teocote* Schl. & Cham. Foresta Veracruzana 3(1): 27-34.
- Rodríguez, T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. México. Mundi Prensa. 156 p.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides, S. J. D., Prieto-Ruiz, J., Sáenz, R. J. T., Orozco-Gutiérrez, G. y Molina, C. A. 2012. Calidad de la planta producida en los viveros forestales de Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 3(14): 70-82.
- Rueda-Sánchez, A., Benavides-Solorio, J. D., Sáenz Reyes, J. T., Muñoz, F. H. J., Prieto-Ruiz, J. A. y Orozco-Gutierrez. G. 2013. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 5(22): 58-73.
- Sáenz, J. T., Muñoz, H. J. y Rueda, A. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán. 213 p.

- Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J., Ángel, P. C. M. , Rueda, A. S. y Hernández, R. J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero Morelia, estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26): 98-111.
- Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J., Villaseñor, R. F., Prieto, R. J. A. y Rueda, S. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich. México. 50 p.
- Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Soto-Correa, J. C., Aguilar-Aguilar, S., Zamarripa-Morales, V. y López-Upton, J. 2012. Altitudinal genetic variation among *Pinus pseudostrobus* populations from Michoacán, Mexico, two locations shadehouse test results. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35(2): 111-120.
- Salaya-Domínguez, J. M., López-Upton J. y Vargas-Hernández, J. J. 2012. Variación genética y ambiental en dos ensayos de progenies de *Pinus patula*. *Agrociencia* 46(5): 519-534.
- Santiago, O. T., Sánchez, V. M., Monroy, R. C. y García, G. S. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INFAPCIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Tezonapa, Veracruz. México. Folleto Técnico Núm. 44. 73 p.
- Vargas-Larreta, B., Corral-Rivas, J., Aguirre-Calderón, O. y Nagel, J. 2010. Modelos de crecimiento de árbol individual: Aplicación del Simulador BWINPro7. *Madera y Bosques* 16(4): 81- 104.

- Villegas-Jiménez, D., Rodríguez-Ortiz, G., Chávez-Servia, J. J., Enríquez-Del-Valle, J. R. y Cruz-Carrillo, J. J. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Gayana Bot.* 73(1): 113-123.
- Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., López-Upton, J. y Vargas-Hernández, J. J. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento de plantas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en campo. *Agrociencia* 39: 575-587.
- White, T. L., Adams, W. T. y Neale, D. B. 2007. *Forest Genetics*. CABI. Oxfordshire. 682 p.
- Zarco-Tejada, P., Miller, J., Harron, J., Hu, B., Noland, T., Goel, N., Mohammed, G. y Sampson, P. 2004. Needle chlorophyll content estimation through model inversion using hyperspectral data from boreal conifer forest canopies. *Remote Sensing of Environment.* 89(2): 189-199.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

Los árboles seleccionados en San Pedro YoloX presentan los mejores indicadores y eficiencia reproductiva, en comparación con los árboles de las otras localidades, y con un bajo índice de endogamia evaluados mediante la cantidad de semillas llenas en cada cono. Al evaluar la calidad de la planta, las originadas con semilla de árboles selectos como superiores en las comunidades de Ixtepeji y Jaltianguis se clasificaron como planta de alta calidad, mientras que las de Chiapas, Teococuilco y YoloX se clasificaron de calidad media, lo que indica que no depende de que los árboles seleccionados tengan los mejores indicadores reproductivos ni calidad de la semilla para obtener plantas de calidad alta.

El mostrar buenos indicadores reproductivos y existir variación, *Pinus pseudostrobus* es apta para continuar con el programa de mejoramiento genético. Es necesario realizar un análisis de suelo en cada sitio donde se seleccionaron los árboles y correlacionarlo con los indicadores reproductivos.

Para realizar el movimiento de la semilla de esta especie por cuestiones del cambio climático, es necesario realizar un estudio seleccionando árboles en

función de un gradiente altitudinal mejor definido. Para obtener mejores resultados en la calidad de la progenie es necesario realizar la medición de características fisiológicas.

CAPÍTULO VI

LITERATURA CITADA

- Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. O. y Aparicio-Rentería, A. 2007. Correlación de semilla y plántulas de *Pinus teocote* Schl. Et Cham. de tres procedencias del estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 9(1) 23-27.
- Bramlett, D. L., Belcher, E. W., DeBarr, G. L., Hertel, J. L., Karrfalt, R. P., Lantz, C. W., Miller, T., Ware, K. D. y Yates, H. O. III. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA For. Ser. Ashville, NC. 28 p.
- Cambrón, S. V. H., Sánchez, V. N. M., Sáenz, R. C., Vargas, H. J. J., España, B. M. L. y Herrerías, D.Y. 2013. Genetic parameters for seedling growth in *Pinuspseudostrobus* families under different competitive environments. *New Forest* 44(2): 219-232.

- Castellanos-Acuña, D., Sáenz-Romero, C., Linding-Cisneros, R. A., Sánchez-Vargas, N. M., Lobbit, P. y Montero-Castro, J. C. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. Ensayo de vivero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 19(3): 399-411.
- CATIE. 1997. Nota técnica sobre manejo de semillas forestales. *Pinus pseudostrobus* Lindl. No. 13. Turrialba, Costa Rica. pp. 25-26.
- Clausen, K. 1990. Diseños genéticos y pruebas de progenie. In: Memoria Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. pp: 67-77.
- Contreras, Z. J. L. (2009). Análisis de conos de *Pinus oaxacana* Mirov, de una población natural ubicada en Los Molinos, Perote, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana 74 p.
- Droppelmann, F. 2012. Inicio de un programa de mejoramiento genético forestal. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 20 p.
- FAO. 2016. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2015. Segunda edición. Roma, Italia. pp. 15-22.
- Farjon, A. Pérez, R. J. A. y Styles, B. T. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew-Instituto Forestal de Oxford, Universidad de Oxford. 151 p.
- Flores-Flores, C., López-Upton, J. y Valencia-Manzano, S. 2014. Manual técnico para el establecimiento de ensayos de procedencias y progenies. CONAFOR, México. 154 p.

- García, C. Y., Ramos, P. J. M. y Becerra, Z. J. 2011. Semillas forestales nativas para la restauración ecológica. CONABIO. Biodiversitas 94: 12-15.
- Gardner, J., Simons, J., y Snustad, D. 1991. Principles of genetics (8 Edit.). JohnWiley & Sons, Minnesota. 649 p.
- Gomes, J. M., Couto, L., Leite, H. G., Xavier, A. y García, S. L. R. 2002. Parámetros morfológicas en la evaluación de semilla de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore 26(6): 655-664.
- Gonzales, O. M. M., Prieto, R. J. A., Aldrete, A., Hernández, D. J. C., Chávez, S. J. A. y Rodríguez, L. R. 2018. Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* blanco en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 9(48): 203-225.
- INIFAP. 2013. Selección de árboles superiores del género *Pinus*. Primera edición. México. 59 p.
- Jaquish, B.C. 1997. Abasto y manejo de semillas a partir de la recolección en rodales naturales. En: Vargas, H. J. J., Bermejo, V. B . y Ledig, F. T. Manejo de recursos genéticos forestales. USDA Forest Service-FAO-SEMARNAP. México, D.F. pp. 89-106
- López-Upton, J. 2002. *Pinus pseudostrobus* Lindl. In: Vozzo, J. A. (ed). Tropical Tree. Seed Manual. United States Department of Agriculture. Forest Service. USA. pp: 636-637.
- Márquez-García, A. V. 2007. Variación de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. del Esquilón, Coacoatzintla, Veracruz, México. Tesis de maestría en ciencias, Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 48 p.

- Márquez-Ramírez, J. 2007. Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de *Pinus oaxacana* Mirov. Tesis de Doctorado, Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 99 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. ed. Ed. Botas. México. pp. 175-209.
- Martínez, M. 1992. Los pinos de México. Ediciones Botas, tercera edición. México D.F. 361 p.
- Martíns, G. P., Zas, A. R. y Sampedro, P. L. 2008. Plasticidad fenotípica de *Pinus pinaster* frente a la disponibilidad de nutrientes. Sociedad Española de Ciencias Forestales 24: 67-73.
- Mendizábal-Hernández, L. C., Márquez-Ramírez, J., Alba-Landa, J., Ramírez-García, E. y Cruz-Jiménez, H. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. Revista Foresta Veracruz 14: 31-36.
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y. S., Johnsen, K. H. y Rajora. O. P. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I Reproductive traits and fecundity. Can. J. Bot. 78: 928-940.
- Pastrana-Vargas, I. J., Espitia-Camacho, M. y Murillo-Gamboa, O. 2012. Evaluación del potencial de mejoramiento genético en el crecimiento en altura de *Acacia mangium* Willd. Acta Agronómica 61(2): 143-150.
- Rodríguez-Laguna, R., Razo-Zarate, R., Juárez-Muñoz, J., Capulín-Grande, J. y Soto-Gutiérrez, R. 2012. Tamaño de cono y semilla en procedencia de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. Revista Fitotecnia Mexicana 35: 289-298.

- Sáenz R, J. T., Muñoz, F. H. J., Villaseñor, R. F., Prieto, R. J. A. y Rueda, S. A. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich. México. 50 p
- Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J. y Rueda, S. A. 2011. Especies promisorias de clima templado para plantaciones forestales comerciales en Michoacán. Libro Técnico Núm. 10. SAGARPA INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. pp. 1-64.
- SEMARNAT-CONAFOR, 2007. Fichas técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Tomo II. CONAFOR. México. 132P.
- Vázquez–Cuecuecha, O. G. 2004. Potencial de producción de semillas y variación en conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov. en una población del estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría en Ciencias, Universidad Veracruzana. Veracruz, México. 42 p.
- Zapata-Valenzuela, J. y Hasbun, Z. R. 2011. Mejoramiento genético forestal acelerado mediante selección genómica. *Bosque* 32(3): 209-213
- Zas, R. y Merlo, E. 2008. El programa de mejora genética de *Pinus pinaster* en Galicia. *Centro de Investigación y Documentación del Eucalipto* 6(7): 5-24.