



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

VARIACIÓN EN INDICADORES REPRODUCTIVOS, GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE PLÁNTULAS DE POBLACIONES DE *Pinus chiapensis*

ELISEA CAPILLA DINORIN

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe, **Elisea Capilla Dinorin** Alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Javier López Upton**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**Variación en indicadores reproductivos, germinación y crecimiento inicial de plántulas de poblaciones de *Pinus chiapensis***" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Texcoco, Estado de México, a 22 de agosto de 2018

ELISEA CAPILLA DINORIN

Firma y nombre del Alumno (a)

DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

Vo. Bo. del Nombre Consejero

La presente tesis titulada: **“Variación en indicadores reproductivos, germinación y crecimiento inicial de plántulas de poblaciones de *Pinus chiapensis*”** realizada por el (la) alumno (a): **Elisea Capilla Dinorin** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



DR. JAVIER LÓPEZ UPTON

ASESOR (A)



DR. MARCOS JIMÉNEZ CASAS

ASESOR (A)



DRA. VIRGINIA REBOLLEDO CAMACHO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, agosto de 2018

VARIACIÓN EN INDICADORES REPRODUCTIVOS, GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL DE PLÁNTULAS DE POBLACIONES DE *Pinus chiapensis*

Elisea Capilla Dinorin, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen es uno de los recursos forestales más importantes del bosque mesófilo de montaña y áreas subtropicales de México que presenta problemas severos debido a la fragmentación de sus poblaciones. El objetivo fue identificar diferencias en características morfológicas, reproductivas, germinativas y calidad de planta de siete poblaciones de los estados de Puebla y Veracruz. Se evaluaron características de cono, producción de semilla y calidad de la planta, se determinaron diferencias ($p < 0.01$) entre poblaciones en la mayoría de las variables. El número potencial de semillas por estróbilo fue de 89, de las cuales 59.0, 17.5, 22.6 y 0.9% fueron óvulos abortados, semillas llenas, vanas y plagadas, respectivamente. El alto porcentaje de óvulos abortados sugiere polinización reducida asociada al tamaño de las poblaciones. La eficiencia de producción de semillas fue baja lo que indica una pérdida excesiva de semillas en las poblaciones evaluadas. Se encontró una eficiencia reproductiva de 25.5 mg de semilla por gramo de estróbilo. Las características morfológicas de cono se correlacionaron con la altitud de origen de las poblaciones, las características de producción de semilla se asociaron al tamaño poblacional de los rodales. La población con mejores resultados de indicadores reproductivos fue Aire Libre (Teziutlán) Puebla. La calidad germinativa de la semilla se evaluó usando lotes de 400 semillas de las diferentes procedencias. Las procedencias difirieron ($p < 0.01$) en las características germinativas evaluadas. La semilla mostró calidad alta en capacidad germinativa (75.7 %), un valor pico de 3.74 y valor germinativo de 9.74, se requiere 15.2 días para alcanzar el 50% de germinación. La semilla de Aire Libre presentó el mayor porcentaje, 87 % y la de menor vigor la Atotocoyan con 50.5 % de germinación. En plantas de 15 meses producidas en vivero se determinaron diferencias morfológicas entre las procedencias. El número de cotiledones fue de 6 a 10, mayormente de 7 y 8. La altura del hipocótilo varió de 2.74 a 4.16 cm, la longitud de hojas cotiledonares de 2.21 a 2.84 cm. La altura y el diámetro promedio de la planta a quince meses de edad fue de 39.3 cm y 3.2 mm. Las poblaciones de menor y mayor altitud presentaron un mayor crecimiento y su comportamiento fue similar. La supervivencia promedio fue 92.9%. Los resultados obtenidos muestran valores aceptables, sin embargo se requiere dar continuidad con evaluaciones posteriores e iniciar con un esquema de conservación de la especie.

Palabras Clave: *Pinus chiapensis*, especie en riesgo, poblaciones fragmentadas, indicadores reproductivos, caracteres morfológicos, germinación, plántulas, crecimiento inicial

VARIATION IN REPRODUCTIVE INDICATORS, GERMINATION AND INITIAL GROWTH OF PLANTS OF POPULATIONS OF *Pinus chiapensis*.

Elisea Capilla Dinorin, M. en C.
Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen is one of the most important forest resources of the mesophilic mountain forest and subtropical areas of Mexico that presents severe problems due to the fragmentation of its populations. The objective was to identify differences in morphological, reproductive, germination and seedling characteristics of seven populations of the states of Puebla and Veracruz. Cone characteristics and seed production were evaluated, differences were determined ($p < 0.01$) between populations in most of the variables. The potential number of seeds per strobilus was 89, of which 59.0, 17.5, 22.6 and 0.9% were aborted ovule, full, empty and plagued seeds, respectively. The high percentage of aborted ovules suggests reduced pollination associated with the size of the populations. The efficiency of seed production was low, which indicates an excessive loss of seeds in the evaluated populations. A reproductive efficiency of 25.5 mg of seed per gram of strobilus was found. The cone morphological characteristics were correlated with the altitude of origin of the populations, the characteristics of seed production were associated with the population size of the stands. Aire Libre (Teziutlán) Puebla was the population with the best results of reproductive indicators. The germination capacity of the seed was evaluated using lots of 400 seeds from different provenances. The provenances differed ($p < 0.01$) in the characteristics of germination evaluated. The seed showed high quality in germination capacity (75.7%), a peak value of 3.74 and a germinative value of 9.74; 15.2 days were needed to reach 50% of germination. The seed from Aire Libre presented the highest percentage, 87%, and Atotocoyan was the one with the lowest vigor, with 50.5% of germination. Morphological differences between the provenances were determined in plants of 15 months produced in the nursery. The number of cotyledons was from 6 to 10, mostly 7 and 8. The height of the hypocotyl varied from 2.74 to 4.16, the length of leaves from 2.16 to 2.87 cm. The height and average diameter of the plant at fifteen months of age was 39.3 cm and 3.2 mm. The populations of lower and higher altitude showed higher growth and their behavior was similar. The average survival was 92.9%.

Key words: *Pinus chiapensis*, fragmented populations, germination, initial growth, morphological characters, reproductive indicators, seedlings, species at risk.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico otorgado durante mis estudios de Maestría.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Javier López Upton, por su disposición en la revisión y corrección de este trabajo de investigación, por sus consejos y enseñanzas.

Al Dr. Marcos Jiménez Casas, por la asesoría y los consejos brindados durante la realización de la investigación.

A la Dra. Virginia Rebolledo Camacho, por su asesoría para la realización de la investigación.

A la Gerencia Estatal de CONAFOR Veracruz por las facilidades otorgadas para la realización de los análisis de semilla en sus instalaciones.

A mis padres, por la paciencia en mis ausencias en momentos difíciles, y el gran apoyo que siempre me han brindado, son el mejor ejemplo a seguir, los quiero mucho.

A mis hermanos que día a día estaban al pendiente de mí, un gran apoyo y grandes momentos que me han permitido vivir a su lado, los mejores amigos de toda mi vida.

Al Ing. Isidoro Herrera Ávila, por su amistad y el apoyo brindado durante el trabajo de campo.

A los Ingenieros Lauro Tonacatl y René Hernández por su amistad y el valioso apoyo durante el trabajo de campo.

A los trabajadores del vivero forestal, por su apoyo durante la realización de mis pruebas y análisis y la amistad que me han brindado.

Mis compañeros y amigos Noemí, Filiberto, Luz María, Sergio, Rafael, Carmen e Irene, por las asesorías, la convivencia y las pláticas que me daban la energía suficiente para continuar, aprecio mucho haberlos conocido y la amistad que me han brindado.

DEDICATORIA

A dios,

A mis padres Antonio y Clemencia,

A mis hermanos Margarito, Cristina, Mauricio y Antonio,

A mis sobrinas Valentina y Victoria, la nueva alegría de la familia,

A mis tíos Adolfo y María,

A mi abuelito Miguel †, no estaba preparada para tu partida, es muy triste ya no platicar contigo, pero siempre te recordare.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS	3
General	3
Específicos	3
Hipótesis	3
CAPITULO I. VARIACIÓN EN INDICADORES REPRODUCTIVOS Y GERMINACIÓN DE <i>Pinus chiapensis</i> (MARTÍNEZ) ANDRESEN	4
1.1 RESUMEN	4
1.2 ABSTRACT	5
1.3 INTRODUCCIÓN	6
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS	9
Área de estudio	9
Selección de árboles y recolecta de conos	11
Análisis de conos	11
Disección de conos y estimación de variables	11
Prueba de germinación	12
Análisis estadístico.....	13
Análisis de correlación	14
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Características morfológicas de cono e indicadores reproductivos	15
Capacidad germinativa	20
Análisis de correlación	22
Indicadores reproductivos y producción de semilla	22
Capacidad germinativa	28
1.6 CONCLUSIONES	31

CAPITULO II. VARIACIÓN EN EL CRECIMIENTO INICIAL Y MORFOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE <i>Pinus chiapensis</i>	32
2.1 RESUMEN	32
2.2 ABSTRACT	33
2.3 INTRODUCCIÓN	34
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS	36
Producción de planta	36
Variables evaluadas	37
Análisis estadístico	38
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
Características morfológicas de plántula	39
Análisis de correlación	46
2.6 CONCLUSIONES	50
CONCLUSIONES GENERALES	51
LITERATURA CITADA	53

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1. Datos geográficos y dasométricos de las poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen y número de árboles muestreados (N).	10
Cuadro 1.2. Componentes de varianza estimados entre y dentro de poblaciones para las características evaluadas en el análisis morfológico y de producción de semillas en <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	15
Cuadro 1.3. Medias (\pm error estándar) de características reproductivas de conos y semillas de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	19
Cuadro 1.4. Comparación de medias capacidad germinativa, días para alcanzar el 50 % de la germinación (R50), valor pico y vigor germinativo de poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	21
Cuadro 1.5. Coeficientes de correlación de Pearson para las características largo, ancho, peso seco y apertura de cono con las variables reproductivas (n=7) de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	23
Cuadro 1.6 Coeficientes de correlación de Pearson para las características morfológicas de cono con la temperatura y precipitación media anual y la densidad de las poblaciones (n=7) de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	25
Cuadro 1.7. Coeficientes de correlación de Pearson para las características de germinación con variables ambientales, variables morfológicas de cono y eficiencia reproductiva de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz (n=7).....	29
Cuadro 2.1. Datos geográficos de las poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen. ..	36
Cuadro 2.2. Componentes de varianza estimados entre y dentro de poblaciones para las características evaluadas en el análisis morfológico y crecimiento de plántulas en <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	39
Cuadro 2.3. Medias (\pm error estándar) de características morfológicas de plántulas de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	41
Cuadro 2.4. Valores promedios y error estándar del diámetro al cuello de la raíz y altura en plántulas de <i>Pinus chiapensis</i> a 15 meses de edad.	44
Cuadro 2.5. Porcentaje y mes de formación de yemas en plantas de <i>Pinus chiapensis</i>	46

Cuadro 2.6. Coeficientes de correlación de Pearson para las características morfológicas de plántulas de <i>Pinus chiapensis</i> con variables ambientales, densidad poblacional y peso de semilla (n=7).	47
Cuadro 2.7. Coeficientes de correlación de Pearson para altura y diámetro a 15 meses edad de planta de <i>Pinus chiapensis</i> con variables ambientales, densidad poblacional, peso de semilla y características morfológicas de plántulas (n=7).	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización de las poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> en los estados de Puebla y Veracruz.	9
Figura 1.2. Curva de germinación acumulada de lotes de semillas de siete poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz.	22
Figura 1.3. Relación entre las variables morfológicas de cono: A) longitud, B) ancho, C) peso seco de cono, y D) apertura con la altitud de origen de siete poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen de Puebla y Veracruz, n=1,.....,7 número de población que se asignó en el Cuadro 1.1).	24
Figura 1.4. Relación entre las características de producción de semilla y la densidad de las poblaciones de <i>Pinus chiapensis</i> de Puebla y Veracruz. A) Potencial de producción de semilla, B) Proporción de semilla desarrollada, C) Eficiencia de producción de semilla (proporción de semilla llena), D) Eficiencia reproductiva, E) Proporción de semilla vana, F) Proporción de óvulos abortados, n=1,.....,7 número de población que se asignó en el (Cuadro 1.1).	27
Figura 2.1. Frecuencia del número de hojas cotiledonares en plántulas de <i>Pinus chiapensis</i> . N= 385.	40
Figura 2.2. Crecimiento acumulado en altura de plantas de <i>Pinus chiapensis</i> a 15 meses de edad.	42
Figura 2.3. Crecimiento acumulado en diámetro de plantas de <i>Pinus chiapensis</i> a 15 meses de edad.	42
Figura 2.4. Formación de yemas en plantas de <i>Pinus chiapensis</i> , a) triple formación de yemas, b) yema en latencia.	45

INTRODUCCIÓN GENERAL

Una especie con un amplio rango de distribución se le encuentra en diferentes altitudes, exposiciones, tipos de suelo u otros factores ambientales y por ende sus poblaciones tienden a poseer una variación genética amplia y estar más diferenciadas. La variación morfológica puede indicar además plasticidad fenotípica, como un mecanismo de adaptación de los organismos ante la heterogeneidad del medio, que se expresa en caracteres relacionados con la adecuación a ambientales particulares (Franiel y Wieski, 2005; Chevin *et al.*, 2010).

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen es uno de los recursos forestales más importantes de la montaña húmeda y subtropical del sur de México y el norte de Guatemala (Del Castillo y Acosta, 2002), apreciada por su relativa alta tasa de crecimiento, la calidad de su madera y el potencial de los productos con valor agregado (Dvorak *et al.*, 2000). Sin embargo, el estado de conservación de *P. chiapensis* es cada vez más preocupante debido a la pérdida de hábitat y a la fragmentación de sus poblaciones asociada a prácticas agropecuarias que despejan los bosques para cultivos, la expansión de los asentamientos humanos y el aprovechamiento excesivo de este árbol como recurso maderero (Donahue *et al.*, 1991; Del Castillo y Acosta, 2002)

Actualmente se encuentran relictos de este pino, con poblaciones aisladas y en su mayoría con árboles solitarios o en pequeños grupos diseminados a lo largo de toda la franja de su distribución natural, particularmente en las poblaciones del norte, en los límites estatales de Veracruz y Puebla (Rodríguez y Arteaga, 2005). A tal grado es la afectación que este pino está considerado por el gobierno Mexicano en la categoría de protección especial (SEMARNAT, 2010). El alto grado de fragmentación observado en la mayoría de las poblaciones de *P. chiapensis* puede explicar su baja diversidad genética (Del Castillo *et al.*, 2009). El aislamiento geográfico puede reducir la variabilidad genética dentro de las poblaciones al reducirse el flujo genético y propiciar un proceso de diferenciación morfológica entre ellas (Juárez *et al.*, 2006).

Más aún, usualmente las poblaciones que habitan en los márgenes de la distribución natural de una especie están fragmentadas y aisladas de otras (Mosseler *et al.*, 2000), con baja capacidad reproductiva debido a la producción de semilla poco viable (Mápula-Larreta *et al.*, 2007). Las poblaciones marginales, como son las septentrionales de *P. chiapensis*, son importantes para la futura evolución y adaptación de cualquier especie y puede servir de base para la especiación (Aitken *et al.*, 2007). Para conocer el estado reproductivo de las coníferas se ha utilizado el análisis

de la producción de semillas por cono (López y Donahue, 1995; Flores-López *et al.*, 2005; Owens *et al.*, 2005, Sivacioglu y Ayan, 2008; Morales *et al.*, 2010). Con esto se determina el potencial de producción de semillas, la proporción de óvulos abortados, semillas llenas, vanas y plagadas, o el peso de las semillas con relación al peso del cono (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000). Determinar dichas variables es indispensable para diagnosticar la viabilidad de poblaciones naturales y de unidades productoras de semillas (Mosseler *et al.*, 2000).

La capacidad de germinación y vigor germinativo son variables que definen la calidad de un lote de semillas para producción de planta (Bonner *et al.*, 1994). La primera es el porcentaje de semillas que germina durante un periodo de tiempo dado y es útil para definir la cantidad de semillas que se requieren para producir plántulas (Kolotelo, 2001), la segunda variable se refiere a la velocidad y uniformidad de germinación; cuanto más rápida y uniforme se dé la germinación, mayor será el vigor de la semilla y la uniformidad de la producción de la planta (Kolotelo *et al.*, 2001; Bonner *et al.*, 1994).

Las características que definen la calidad de la planta se dividen en atributos materiales que pueden medirse directamente, y que pueden ser morfológicos, fisiológicos, y en atributos respuesta que tratan de predecir su respuesta en el terreno. Las características morfológicas que se evalúan con mayor frecuencia para determinar la calidad de las plántulas son la altura, el diámetro, la arquitectura del tallo e indicadores como la relación tallo/raíz, llamado índice de esbeltez, que es una medida de vigor (Duryea, 1984; Thompson, 1985).

La diversidad de ambientes en donde se distribuye *Pinus chiapensis* y el diferente tamaño poblacional de cada relicto supone una alta variación en la producción de semilla con valores bajos en características reproductivas, germinación de la semilla y el crecimiento inicial de plántulas entre las poblaciones. El objetivo del presente trabajo es determinar la variación existente en indicadores reproductivo, germinación y el crecimiento inicial de la progenie de árboles de siete poblaciones de *Pinus chiapensis* de los estados de Puebla y Veracruz, localidades de los extremos norte de la distribución natural de esta especie.

OBJETIVOS

General

- Determinar la capacidad reproductiva de *Pinus chiapensis* en poblaciones de Puebla y Veracruz.

Específicos

- Determinar diferencias entre poblaciones en características morfológicas de cono y asociarlas a la densidad y la distribución altitudinal de *Pinus chiapensis*.
- Determinar diferencias entre poblaciones en la producción de semilla e indicadores reproductivos de *Pinus chiapensis*.
- Evaluar la capacidad y energía germinativa de semilla de siete poblaciones de *Pinus chiapensis*.
- Evaluar la supervivencia y crecimiento inicial de plántula de *Pinus chiapensis*.

Hipótesis

- Las características morfológicas de cono presentaran una influencia del ambiente dada por el gradiente altitudinal donde se distribuye la especie.
- Poblaciones con menor densidad poblacional presentaran una menor producción de semilla y una baja capacidad germinativa.
- La calidad de la semilla estará influenciada por la densidad poblacional y será una factor de influencia en el crecimiento inicial de la planta de *Pinus chiapensis*.

CAPITULO I. VARIACIÓN EN INDICADORES REPRODUCTIVOS Y GERMINACIÓN DE *Pinus chiapensis* (MARTÍNEZ) ANDRESEN

1.1 RESUMEN

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen es un árbol de rápido crecimiento, apreciado por su madera, cuyas poblaciones septentrionales en los límites estatales de Puebla y Veracruz son pequeñas, están fragmentadas y con repoblación reducida. El objetivo fue determinar la variación existente en características morfológicas, reproductivas y germinativas entre poblaciones. Se muestrearon 125 árboles de siete poblaciones naturales localizadas en los estados señalados, 15 a 22 árboles por población y se evaluaron 10 conos maduros por árbol en su tamaño, no. de escamas fértiles y producción de semillas llenas, vanas y plagadas. Se encontraron diferencias significativas entre poblaciones en todas variables evaluadas. El largo y ancho de cono promedio fue de 95.9 y 28.7 mm, respectivamente; ambas se correlacionaron positivamente con la altitud de origen de la población. El número potencial promedio de semillas por estróbilo fue de 89, de las cuales 59.0 % óvulos abortados, 17.5 % llenas, 22.6 % vanas y 0.9 % plagadas. El alto porcentaje de óvulos abortados indica problemas de polinización asociados al tamaño de las poblaciones. La eficiencia de producción de semillas fue baja, implicando una pérdida excesiva de semillas. Se encontró una eficiencia reproductiva de 25.6 mg de semilla por gramos de estróbilo. La semilla mostró una alta capacidad germinativa (75.7 %), un valor pico de 3.74 y valor germinativo de 9.74. A pesar de la baja producción de semilla llena y el alto porcentaje de semillas vanas, las poblaciones evaluadas produjeron semilla llena de calidad, de acuerdo con los resultados de germinación.

Palabras clave: Acalocote, especies en riesgo, variación morfológica, capacidad reproductiva.

VARIATION IN REPRODUCTIVE INDICATORS AND GERMINATION OF *Pinus chiapensis* (MARTÍNEZ) ANDRESEN

1.2 ABSTRACT

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen is a fast growing tree, appreciated for its wood, whose northern populations, in the state limits of Puebla and Veracruz, are small, fragmented and with reduced repopulation. In the present study, 125 trees were sampled from seven natural populations of those states (from 15 to 22 trees per population). Ten mature cones per tree were used to determine the existing variation in morphological, reproductive and germination characteristics. Significant differences were found between populations in all variables evaluated. The average cone length and width was 95.9 and 28.7 mm, which correlated positively with the altitude of origin of the populations. The average potential number of seeds per strobilus was 89, of which 58.8, 16.8, 22.6 and 1.8 % were aborted ovules, full, empty and plagued seeds, respectively. The high percentage of aborted ovules indicates pollination problems associated with the size of the populations. Seed production efficiency was low indicating excessive seed loss. The average weight of a seed was 17.5 mg. A reproductive efficiency of 25.6 mg of seed per grams of strobilus was found. The seed showed high quality, with a germination capacity of 75.7 %, a peak value of 3.74 and a germination value of 9.74. In spite of the low production of full seed and the high percentage of vain seeds, the populations evaluated produce full seed of high quality, according to the results of germination.

Key words: Acalocote, species at risks, reproductive capacity, morphological variation.

1.3 INTRODUCCIÓN

Pinus chiapensis (Martínez) Andresen es uno de los recursos forestales más importantes de la montaña húmeda y subtropical del sur de México y el norte de Guatemala (Del Castillo y Acosta, 2002). Es una de las coníferas de rápido crecimiento y apreciadas por su relativa alta tasa de crecimiento, la calidad de su madera y el potencial de los productos con valor agregado (Dvorak *et al.*, 2000). Sin embargo, el estado de conservación de *P. chiapensis* es cada vez más preocupante debido a la pérdida de hábitat y la fragmentación de sus poblaciones asociada a prácticas agropecuarias que despejan los bosques para cultivos, la expansión de los asentamientos humanos, y la explotación de este árbol como recurso maderero (Donahue *et al.*, 1991; Del Castillo y Acosta, 2002).

Actualmente se encuentran relictos de este pino, con poblaciones aisladas y en su mayoría de árboles solitarios o en pequeños grupos diseminados a lo largo de toda la franja de su distribución natural, particularmente en las poblaciones del norte, en los límites estatales de Veracruz y Puebla (Rodríguez y Arteaga, 2005). A tal grado es la afectación que este pino está considerado por el gobierno Mexicano en la categoría de protección especial (SEMARNAT, 2010).

La fragmentación en poblaciones pequeñas y la baja densidad de arbolado adulto generan problemas de polinización, una escasa dispersión y flujo de genes entre poblaciones y un alto grado de auto fecundación (Frankham, 1998; Rajora y Mosseler, 2001; Flores-López *et al.*, 2005). El aislamiento geográfico puede reducir la variabilidad genética dentro de las poblaciones al reducirse el flujo genético y propiciar un proceso de diferenciación morfológica entre ellas (Juárez *et al.*, 2006). El alto grado de fragmentación observado en la mayoría de las poblaciones de *P. chiapensis* puede contribuir a explicar su baja diversidad genética (Del Castillo *et al.*, 2009).

Usualmente las poblaciones que habitan en los márgenes de la distribución natural de una especie están fragmentadas y aisladas de otras (Mosseler *et al.*, 2000), con baja capacidad reproductiva debido a la producción de semilla poco viable (Mápula-Larreta *et al.*, 2007). Las poblaciones marginales, como son las septentrionales de *P. chiapensis*, son importantes para la futura evolución y adaptación de cualquier especie y puede servir de base para la especiación (Aitken *et al.*, 2007). Para conocer el estado reproductivo de las coníferas se ha utilizado el análisis de la producción de semillas por cono (López y Donahue, 1995; Flores-López *et al.*, 2005; Owens

et al., 2005; Sivacioglu y Ayan, 2008; Morales *et al.*, 2010). Con este estudio se determina el potencial de producción de semillas, la proporción de óvulos abortados, semillas llenas, vanas y plagadas, o el peso de las semillas en relación con el peso del cono (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000). Determinar dichas variables es indispensable para diagnosticar la viabilidad de poblaciones naturales y de unidades productoras de semillas (Mosseler *et al.*, 2000).

Wang *et al.* (1982) mencionan que las semillas de los pinos al igual que las de muchas otras especies forestales presentan una respuesta germinativa sumamente variable. Esta variación se presenta entre las especies, entre procedencias y entre árboles, lo cual está controlado por factores genéticos y ambientales (Niembro y Fierros, 1990; Juárez *et al.*, 2006).

La calidad fisiológica en lotes de semillas generalmente es determinada por la germinación. Copeland y McDonald (2001) argumentan que la estimación del porcentaje de germinación resulta deficiente para discriminar los lotes de semilla en relación con la rapidez y uniformidad de la germinación, por ello autores como Czabator (1962) y Perry (1984) mencionan que además del porcentaje de germinación se deben considerar otros parámetros como la velocidad de germinación (VG), germinación media diaria (GMD), valor pico de la germinación (VP), valor de germinación (VG), vigor y energía germinativa, para la cuantificación de la calidad fisiológica de las semillas.

La capacidad germinativa representa el porcentaje de semillas que germina durante un periodo de tiempo dado y es útil para definir la cantidad de semillas que se requieren para producir plántulas (Kolotelo *et al.*, 2001). La velocidad y uniformidad de germinación, se define como el número de días necesarios para alcanzar cierto nivel de germinación o al determinar el valor pico, cuando la germinación acumulada dividida entre el número de día de la prueba alcanza el valor máximo (Kolotelo *et al.*, 2001). Cuanto más rápida y uniforme se dé la germinación, mayor será el vigor de la semilla y la uniformidad de la producción de la planta (Bonner *et al.*, 1994), lo que puede asociarse a una producción sana de una especie en particular para perpetuarse.

De esta forma se realizan pruebas de germinación que consisten en evaluar la capacidad germinativa de las semillas, ya que la irregularidad de la germinación ocasiona plantas con tamaños distintos, afecta el éxito del trasplante e incrementa los costos de producción (Arriaga *et al.*, 1994). Por otro lado, poblaciones de coníferas que se encuentran fragmentadas y son de tamaño reducido presentan problemas en su germinación, por lo que el comportamiento de la capacidad

germinativa de las semillas permite diagnosticar las posibles amenazas y el peligro de estas poblaciones (Mápula-Larreta *et al.*, 2008; Flores-López *et al.*, 2012; López-Toledo *et al.*, 2017).

La diversidad de ambientes en donde se distribuye *Pinus chiapensis* y el diferente tamaño poblacional de cada relictos supone una alta variación en la producción de semilla, pero valores bajos en características reproductivas y la germinación de la semilla entre poblaciones. El objetivo del presente trabajo es determinar la variación existente en indicadores reproductivos y germinación de semillas de varios árboles de siete poblaciones de *Pinus chiapensis* de los estados de Puebla y Veracruz, localidades de los extremos norte de la distribución natural de esta especie.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Durante agosto y septiembre de 2016 se realizó la selección de árboles en siete rodales naturales de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, localizados en la parte norte de su área de distribución natural, correspondiente a los estados de Puebla y Veracruz (Figura 1.1).

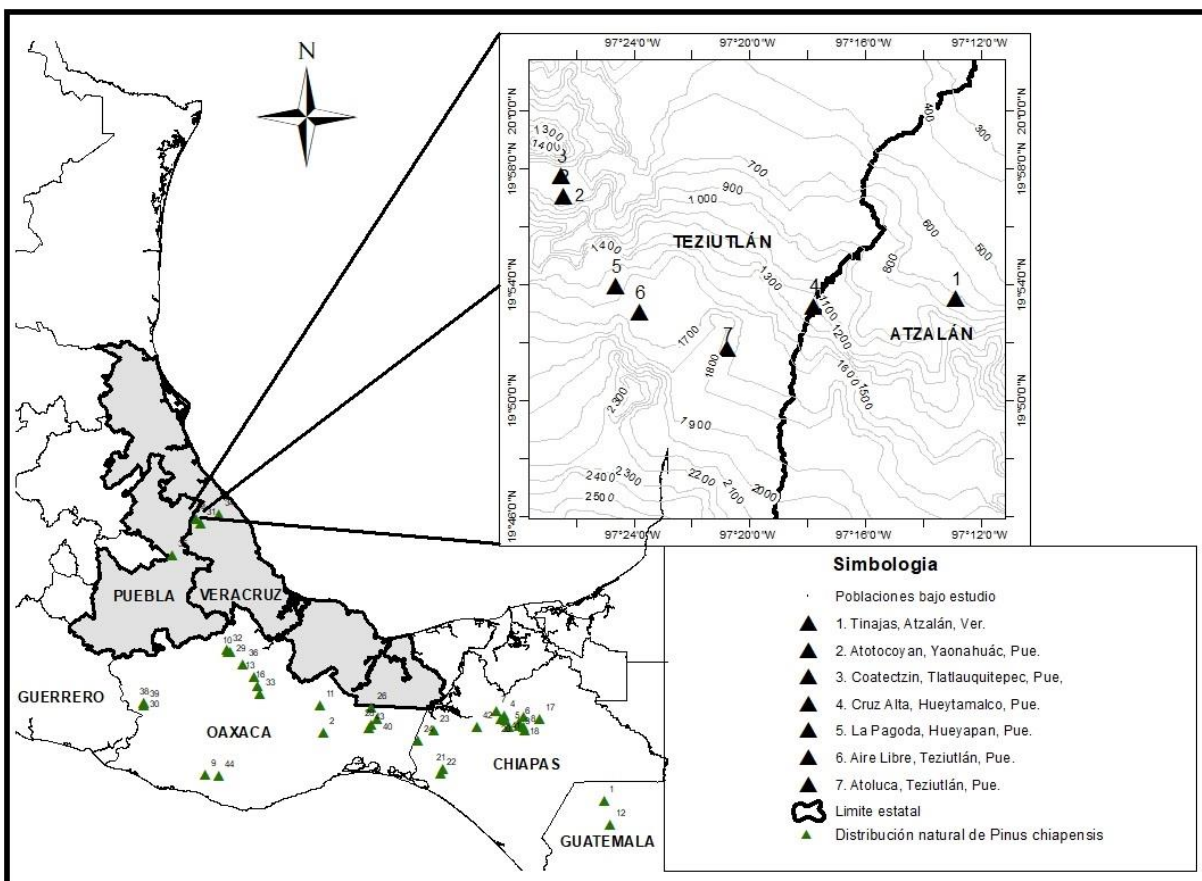


Figura 1.1. Localización de las poblaciones de *Pinus chiapensis* en los estados de Puebla y Veracruz.

Las poblaciones muestreadas se ubican en un amplio intervalo de distribución altitudinal (664-1703 m), y las condiciones ambientales en las que crece *Pinus chiapensis* presentan variación en temperaturas y precipitación (Cuadro 1.1). Las poblaciones pertenecen a los relictos del bosque mesófilo de montaña, ecosistema reducido en extensión por el cambio de uso de suelo para actividades agrícolas y ganaderas. A menor elevación las temperaturas son cálidas y con mayor precipitación, conforme aumenta la elevación los valores de ambos van disminuyendo.

Cuadro 1.1. Datos geográficos y dasométricos de las poblaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen y número de árboles muestreados (N).

Localidad-Municipio [†]	Lat. N [‡]	Long. O	Altitud (m)	Temp [¶] °C	Prec mm	N	Diámetro (cm)	Altura (m)	Edad (años)	Densidad [†] (árboles*ha)
1. Tinajas, Atzalan	19°53'30.71"	97°12'53.15"	664	21.2	2676	17	60	27	45	139
2. Atotocoyan, Yaonahuac	19°57'02.63"	97°26'24.92"	773	20.4	3427	17	50	24	40	96
3. Coatectzin, Tlatlauquitepec	19°57'45.24"	97°26'31.19"	778	20.4	3446	19	51	24	45	100
4. Cruz Alta, Hueytamalco	19°53'16.23"	97°17'46.73"	1262	17.7	2657	15	49	26	38	123
5. La Pagoda, Hueyapan	19°53'56.66"	97°24'38.87"	1568	15.9	2287	22	54	25	47	136
6. Aire Libre, Teziutlán	19°53'02.77"	97°23'48.49"	1600	15.8	2170	19	57	26	45	143
7. Atoluca, Teziutlán	19°51'47.28"	97°20'47.33"	1703	15.4	1881	16	48	25	40	44

[†] Población 1 de Veracruz, las demás del estado de Puebla, [‡] Las coordenadas geográficas y la elevación se tomaron con un posicionador geográfico marca Garmin xtreme 10 Datum WGS84, porción central de cada localidad. [¶] Temperatura media anual y precipitación media anual a través de Worldclim, [†] Densidad de árboles maduros de *Pinus chiapensis*.

Selección de árboles y recolecta de conos

Se seleccionaron los árboles adultos con buena conformación de copa y con presencia de conos. Los individuos se seleccionaron separados entre sí por una distancia mayor a 50 metros entre cada uno para reducir la probabilidad de parentesco. Se evaluaron un total de 125 árboles distribuidos entre las siete poblaciones, el número de árboles seleccionados por población varió de 15 a 22 (Cuadro 2.1), de los cuales se tomó una muestra de 10 conos por árbol. Adicionalmente se tomaron datos de diámetro y altura, diámetro de copa, vegetación asociada de cada individuo. Se midió el ancho del cono abierto (apertura).

Análisis de conos

El análisis de conos y de la producción de semillas se llevó a cabo en el laboratorio del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados. Los conos de cada árbol se separaron en bolsas individuales debidamente identificadas. Se determinó la longitud y el diámetro de cono cerrado (aproximación a 0.1 mm), posteriormente se secaron en el invernadero durante 15 días a una temperatura entre 20 y 30 °C, para facilitar la apertura y extracción de toda la semilla.

Una vez obtenida la semilla se procedió a su limpieza de forma manual, posteriormente se clasificó preliminarmente como llena, vana, plagada y óvulos abortados de primer y segundo año (Bramlett *et al.*, 1977). Para tener una mejor clasificación de la semilla se obtuvo radiografías con un Faxitron X-Ray V.30, con una exposición de 26 kv por 3 seg. La semilla llena por cono se colocó en sobres etiquetados por separado y se tomó el peso total de ésta. Se calculó el peso unitario de la semilla por cada cono.

Diseción de conos y estimación de variables

Los conos vacíos se disectaron para facilitar la remoción de las escamas, iniciando con las escamas de la base y continuando en orden ascendente hasta desarmar completamente el cono. Se registraron el número de las escamas fértiles, que se localizan en la parte central y apical del cono, presentan la marca de la semilla desarrollada o de óvulos abortados (Bramlett *et al.*, 1977). Se contaron las escamas infértiles que se localizan en la base del cono y en el ápice.

Los conos se secaron en una estufa de secado a una temperatura de 70°C por 72 h; una vez obtenido un peso constante se procedió a la toma de datos de peso de cada una de las con ayuda de una balanza analítica.

De cada cono se calculó: a) Potencial de semilla = no. de escamas fértiles *2 (dos óvulos por escama) que define el límite biológico del número de semillas producidas por cada cono, b) Semillas desarrolladas (aquellas que completaron su desarrollo estructural = llenas + vanas + plagadas), c) eficiencia de semillas (no. de semillas llenas / potencial de semilla) * 100, también conocido como porcentaje de semillas llenas, d) Porcentaje de semilla vana = (no. de semillas vanas / potencial de semilla) * 100, e) porcentaje de semilla plagada = (no. de semillas plagadas / potencial de semilla) * 100, f) porcentaje de óvulos abortados = (no. de óvulos abortados / potencial de semilla) * 100, g) Eficiencia reproductiva = peso de las semillas llenas por cono / peso seco del cono, como una medida de la eficiencia reproductiva que refleja la proporción de la energía utilizada en el esfuerzo reproductivo almacenado en la semilla (Mosseler *et al.*, 2000).

Prueba de germinación

Para cada población se utilizaron un total de 400 semillas (ISTA, 1999), en total una muestra de 2800 semillas de siete poblaciones de *Pinus chiapensis* de los estados de Puebla y Veracruz (Cuadro 2.1), Las semillas se distribuyeron en un diseño con 4 repeticiones (100 semillas por repetición).

Previo a la prueba de germinación, la semilla se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio (5 %), utilizando cloro comercial Cloralex®. El tiempo de inmersión fue 5 minutos, seguido de un lavado abundante con agua, posteriormente, la semilla se dejó en remojo en agua destilada por 24 h previo a la siembra. Como sustrato se utilizó tepezil esterilizado y humedecido con agua destilada. El sustrato y las semillas se colocaron en cajas de plástico de 33 x 23 cm con tapa de cierre hermético, cada caja conformó una repetición, con 700 semillas en total. Se utilizó una solución fungicida de Captán en proporción de 3 g por litro al momento de la siembra y posteriormente de 2.5 g en el riego cada semana. Las cajas se colocaron en una cámara de germinación a una temperatura de $26 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Diariamente se contaron las semillas germinadas durante 30 días. Una semilla se consideró germinada cuando el tamaño de la radícula fue similar a la longitud de la semilla.

Se evaluó el porcentaje de germinación (capacidad germinativa= (semillas germinadas/semillas totales) *100) con base en la cantidad de plántulas que germinaron al día 26 después de la siembra. La velocidad de germinación (energía germinativa, GERM50) se determinó

con el número de días en que germinó el 50% de las plántulas (Bonner, 1993), el valor pico de la germinación que es el punto donde la germinación acumulada dividida entre el número de días que lleva la prueba es máxima. Por último, se determinó el valor germinativo como el valor pico multiplicado por la germinación promedio (Kolotelo *et al.*, 2001).

Análisis estadístico

Los datos para las características de estróbilos y semillas fueron analizados utilizando un arreglo anidado para detectar diferencias entre poblaciones y árboles dentro de poblaciones utilizando el modelo siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + A_{i(j)} + e_{ijk}$$

Dónde: Y_{ijk} es la observación del k-ésimo cono del j-ésimo árbol de la i-ésima población, μ es la media poblacional, P_i es el efecto de la i-ésima población, $A_{i(j)}$ es el efecto del k-ésimo árbol dentro de población, e_{ijk} es el error experimental de muestreo por el cono analizado.

El análisis se realizó con apoyo del paquete estadístico SAS[®]. Se utilizó el procedimiento PROC MIXED considerando como efecto fijo a poblaciones y efectos aleatorios a los árboles (Littell *et al.*, 1998). Se obtuvieron los componentes de varianza considerado a todos los efectos aleatorios. Con la opción LSMEANS se obtuvieron las medias ajustadas debido al desbalance en el número de árboles muestreados en cada población (SAS Institute, 2003).

Los datos de capacidad germinativa se transformaron con la función arcoseno de la raíz cuadrada de $p(\theta = \text{arcoseno } \sqrt{n})$, donde θ es el dato transformado y p es la capacidad germinativa sin transformar) para así mejorar su distribución normal (Sokal y Rohlf, 1981). Las variables que se consideraron fueron vigor de semilla, capacidad germinativa y valor pico. Para el análisis de los datos se utilizó el procedimiento GLM del paquete SAS, el modelo empleado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + P_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} es el valor de la característica de la j-ésima población en el i-ésimo bloque, μ es el efecto de la media general, R_i es el efecto aleatorio de la i-ésima repetición, P_j es el efecto del j-ésima población y ε_{ij} es el error experimental.

Análisis de correlación

Para determinar la existencia de un patrón de variación, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson entre los valores promedio de las características evaluadas con la altitud de origen de cada población, las variables climáticas y la densidad de los rodales estudiados.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas de cono e indicadores reproductivos

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) entre poblaciones y dentro de cada población, para las variables de conos y de semillas de *P. chiapensis*. La varianza entre árboles resulto ser la mayor fuente de variación para la mayoría de las características. En el promedio de todas las características, la contribución de la población y de los árboles a la varianza total fue de 27.1 y 31.6%, respectivamente; mientras que la aportación mayor al porcentaje de la varianza total (41.3 %) corresponde al error de muestreo que está dado por los conos evaluados (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Componentes de varianza estimados entre y dentro de poblaciones para las características evaluadas en el análisis morfológico y de producción de semillas en *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Características	Componentes de varianza (%)			Varianza total
	Población	Árbol (población)	Error	
Longitud de cono	46.0**	36.9**	17.1	400.05
Ancho de cono	17.5**	24.6**	57.9	21.65
Apertura de cono	58.2**	20.6**	21.1	63.76
Peso del cono	51.9**	33.1**	15.0	16.05
Semilla desarrollada	45.3**	26.7**	28.0	666.96
Potencial de semillas	30.5**	35.1**	34.4	385.41
Eficiencia de semillas	4.1**	40.9**	55.0	218.86
Peso total de semillas llenas	36.7**	30.9**	32.4	0.0704
Peso unitario de semillas	9.1**	15.7**	75.2	4.52E-05
Eficiencia reproductiva	18.4**	41.8**	39.8	435.10
Proporción de semillas llenas	4.1**	40.9**	55.0	218.86
Proporción de semillas vanas	6.8**	37.8**	55.4	252.22
Proporción de semillas plagadas	13.9**	26.3**	59.8	4.719
Proporción de óvulos abortados	16.4**	29.4**	54.1	450.63

**Significativos con $p \leq 0.05$.

En estudios similares con varias especies de pino, también han reportado alta variación en las características reproductivas entre árboles y poblaciones, particularmente cuando las especies tienen poblaciones discontinuas (López *et al.*, 1993). Algunos autores señalan que la alta variación mostrada en caracteres morfológicos implica un fuerte grado de diferenciación entre las poblaciones, lo que es consistente con el aislamiento de éstas (Juárez *et al.* 2006)

El largo y ancho de cono promedio para todas la poblaciones fue de 95.9 y 28.7 mm. La población Aire Libre resulto con los conos más largos y anchos (120.4 y 31.4 mm); mientras que las poblaciones de Cruz Alta y Coatectzin tuvieron los conos más pequeños en longitud (83.7 mm) y ancho (26.1 mm) de cono, respectivamente (Cuadro 1.3). Estos valores son semejantes a los reportados por Yáñez (1981), que obtuvo una longitud y ancho promedio de 98.6 y 21.2 mm en poblaciones de Veracruz, Oaxaca y Chiapas. Él infiere que la respuesta del estróbilo a las condiciones extremas de altitud, latitud y del ambiente fue reducir su longitud, y mostró evidencias de que el ancho del cono está asociado con factores ambientales. Hernández y Eguluz (1986) reportan una longitud y ancho promedio de 109 y 19 mm, para poblaciones de Oaxaca y Chiapas, en las cuales se presentan conos más delgados. Estos autores mencionan que el patrón de variación para las características evaluadas es discontinuo y ecotípico. Por su parte Hernández *et al.* (2014) determinaron una longitud y ancho promedio de 99.18 y 26.4 mm, respectivamente, en una población del estado de Veracruz y menciona la existencia de variación entre árboles dentro de la población. Por otro lado, que la densidad de la población también influye en la variación de la morfología del cono; Gil (2013) que evaluó las características morfológicas de cono en poblaciones de la sierra Norte de Puebla, menciona que estas características muestran una clara tendencia a ser afectados por la densidad de la población de la cual provienen.

El número potencial promedio de semillas por cono de *Pinus chiapensis* fue de 89, con valores promedios extremos de 76 (Coatectzin) y 103 (Aire Libre). En un una población de Atzalán de *Pinus chiapensis* se determinó un potencial de 108 semillas por cono y una eficiencia de 40 % y alta variación entre los árboles evaluados (Mendizábal-Hernández *et al.* (2015). Hoekstra *et al.* (1961) señalan que el potencial de producción de semillas está influenciado por diversos factores principalmente por condiciones ambientales como la lluvia, el viento y la humedad; y que en el transcurso de la vida de un árbol cada especie exhibe un patrón definido de producción, el cual depende de la edad en que empieza la floración y el número de años productivos.

La eficiencia promedio de producción de semilla fue muy baja 18.3 %, cuyos valores extremos variaron de 7.05 % en Atoluca a 29.2 % de La Pagoda. Bramlett *et al.* (1977) señalan al respecto, que el máximo biológico de eficiencia de semillas llega hasta valores de 80 % en conos individuales, pero que es difícil encontrar valores tan altos en poblaciones que se desarrollan en condiciones naturales. La baja eficiencia de semilla se debe generalmente a tres causas: escasa polinización, presencia de genes letales y daños por insectos (Karrfalt y Belcher, 1977).

A pesar de las diferencias entre poblaciones en la eficiencia de proporción de semillas llenas, los valores obtenidos son bajos (7.0 a 29.0 %) si se comparan con datos de otras especies de pino. La proporción de semilla llena sobre semillas desarrolladas es de 38.5 %, valor menor a que reporta Yáñez (1981) de 55 % de semillas llenas (sobre desarrolladas) en las poblaciones que evaluó. Por otra parte, la cantidad de semillas llenas que se producen en el cono es inferior al potencial de semillas, esto a causa de que durante el proceso reproductivo parte de los óvulos abortan durante el primero (por falta de polen) y segundo año, así como la incidencia de diversos factores que dañan las semillas desarrolladas (Prieto y Martínez, 1993). La reducción en la producción de semilla llena se ha asociado a problemas de autopolinización, que origina un lento desarrollo del embrión, y por consiguiente la formación de semilla vana (Sorensen y Miles, 1974).

Los porcentajes de óvulos abortados variaron de 43.5% (Aire Libre) a 86.2 % (Atoluca), ambas poblaciones del municipio de Teziutlán. La alta proporción de óvulos abortados indica que existe una gran pérdida de semillas, por la falta de una adecuada polinización como resultado de la reducción del tamaño poblacional. Por otro lado, la mayoría de semillas vanas son resultado de la acción de genes deletéreos, los cuales tienen una mayor probabilidad de manifestar sus efectos en condiciones de homocigosidad, cuando hay cruzamiento entre individuos genéticamente emparentados, o de autofecundación (Allen y Owens., 1972). El mayor porcentaje de semilla plagada, lo presentó la población de Tinajas (3.6 %), más de 4 veces que las demás poblaciones (<0.8%). Sin embargo, no parece representar un problema serio en la producción de semilla, ya que es la tercera en producción de semilla llena, 19 por 3 semillas plagadas cono (96.6 x 20.2 % y 96.6 x 3.6 %, Cuadro 2.3).

El peso promedio de los conos varió de 7.8 a 16.1 g, la población Aire Libre presentó los conos más pesados. Esta población mostró los mayores valores en la mayoría de las variables analizadas. Conos más grandes sugieren una mayor cantidad de semilla, así esta población fue la

segunda con mejor producción de semilla llena y mayor peso. En contraparte la población de Coatectzin presentó conos más pequeños y por ende un menor peso de cono. El peso promedio de la semilla (peso unitario) de las poblaciones evaluadas fue de 17.5 mg, con valor máximo de 20.9 mg y mínimo de 15.2 mg. El número de semillas calculado por kilogramo fue de 72,784 vs. 52,491 semillas kg^{-1} entre las poblaciones, semillas más pesadas dan como resultado menor número de semillas por kilogramo. La eficiencia reproductiva promedio fue de 25.5 mg de semilla por gramo de estróbilo. Los valores extremos de eficiencia fueron encontrados en Atoluca con 10.7 mg g^{-1} y 39.7 mg g^{-1} en La Pagoda, valores bajos indican que el árbol asigna una mayor cantidad de recursos a la biomasa de cono y no a la formación de semilla (Mosseler *et al.*, 2000).

Cuadro 1.3. Medias (\pm error estándar) de características reproductivas de conos y semillas de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Variables	Poblaciones						
	Tinajas	Atotocoyan	Coatetzin	Cruz alta	La pagoda	Aire libre	Atoluca
Longitud de cono (mm)	86.4 \pm 0.6 d	86.3 \pm 0.6 d	83.7 \pm 0.6 e	101.5 \pm 0.7 c	106.3 \pm 0.6 b	120.4 \pm 0.6 a	86.8 \pm 0.7 d
Ancho de cono(mm)	27.0 \pm 0.2 c	26.1 \pm 0.3 d	27.3 \pm 0.3 c	29.2 \pm 0.3 b	31.0 \pm 0.2 a	31.4 \pm 0.3 a	29.0 \pm 0.3 b
Peso de cono (g)	10.4 \pm 0.1 d	8.2 \pm 0.1 e	7.8 \pm 0.1 e	12.3 \pm 0.1 c	13.2 \pm 0.1 b	16.1 \pm 0.1 a	10.2 \pm 0.1 d
Apertura de cono (mm)	38.6 \pm 0.3 c	33.6 \pm 0.3 e	35.1 \pm 0.3 d	40.8 \pm 0.3 b	40.9 \pm 0.3 b	52.7 \pm 0.3 a	40.8 \pm 0.3 b
Potencial de semillas	96.6 \pm 0.9 b	75.9 \pm 0.9 e	75.8 \pm 0.8 e	91.2 \pm 0.9 b	98.7 \pm 0.8 a	102.8 \pm 0.8 a	81.1 \pm 0.9 c
Semilla desarrollada	53.0 \pm 1.0 b	25.0 \pm 1.0 d	28.0 \pm 1.0 d	34.0 \pm 1.1 c	56.0 \pm 0.9 a	58.0 \pm 1.0 a	11.0 \pm 1.0 e
Peso unitario (mg)	16.0 \pm 0.4 c	15.3 \pm 0.6 c	15.2 \pm 0.5 c	19.1 \pm 0.5 a	18.8 \pm 0.4 b	20.9 \pm 0.4 a	17.8 \pm 0.5 b
Semillas por kg (miles)	67.9 \pm 2.7 b	70.3 \pm 3.4 a	72.8 \pm 3.0 a	55.0 \pm 2.8 d	57.6 \pm 2.3 c	52.5 \pm 2.5 e	59.7 \pm 3.0 c
Eficiencia reprod. (mg/g)	29.3 \pm 1.0 b	17.0 \pm 1.3 d	26.8 \pm 1.1 b	23.6 \pm 1.0 c	39.8 \pm 0.9 a	31.8 \pm 1.0 b	10.7 \pm 1.2 e
Semillas llenas (%) [†]	20.2 \pm 0.6 b	11.3 \pm 0.7 d	15.5 \pm 0.6 c	15.7 \pm 0.7 c	29.0 \pm 0.6 a	24.0 \pm 0.6 b	6.7 \pm 0.7 e
Semillas vanas (%)	28.6 \pm 0.9 a	21.3 \pm 0.9 c	21.7 \pm 0.8 c	21.9 \pm 0.9 c	25.9 \pm 0.8 b	32.3 \pm 0.8 a	6.9 \pm 1.0 d
Semillas plagadas (%)	3.6 \pm 0.1 a	0.6 \pm 0.1 c	0.4 \pm 0.1 c	0.2 \pm 0.1 d	0.8 \pm 0.1 b	0.2 \pm 0.1 d	0.2 \pm 0.1 e
Óvulos abortados (%)	47.6 \pm 1.1 c	66.8 \pm 1.1 a	62.4 \pm 1.0 b	62.2 \pm 1.2 b	44.3 \pm 1.0 d	43.5 \pm 1.0 d	86.2 \pm 1.1 a

Medias con letras iguales en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). [†] Eficiencia en la producción de semilla.

Capacidad germinativa

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) entre poblaciones para las variables de capacidad germinativa, número de días en que se obtiene el 50 % de la germinación, valor pico y vigor germinativo. Estas diferencias detectadas entre poblaciones pueden indicar que en esta conífera ocurre diferenciación geográfica relacionada con el ambiente en que se desarrollan los árboles, o debido a la fragmentación y el consecuente aislamiento de los rodales (Juárez *et al.*, 2006).

El porcentaje promedio de la germinación fue de 72.25 %, con valores extremos de 87 % correspondiente a la población de Aire Libre y 50.5 % de población de Atotocoyan (Cuadro 2.4). Los porcentajes de germinación son relativamente altos y similares a los reportados por Martínez (1998) que reporta valores de 40 a 80.2 % de germinación de poblaciones de Chiapas. Por su parte, Carrillo *et al.* (1980) encontraron niveles de variación de 1 a 40 % de germinación para diferentes procedencias de Chiapas y tiempos de almacenamiento de *P. chiapensis*.

García (1998) obtuvo un porcentaje de germinación en una cámara de incubación de 79 %, de semillas de *P. chiapensis* procedente de Oaxaca, y obtuvieron 9.5 % cuando la sembraron bajo condiciones ambientales naturales. Asimismo, Martínez (1998) obtuvo en ambientes controlados un mayor porcentaje (40-80 %) y de 6-18 % bajo condiciones naturales utilizando distintos porcentajes de luz y sombra. Zamora y Castellanos (1999) reportan que el porcentaje de germinación observado en condiciones de laboratorio, con semilla procedente de rodales naturales de Chiapas recolectada el mismo año, es entre 40 y 80 %, y obtuvo en campo de 8 a 18 % de germinación.

En años con reducida producción de semilla es común que disminuya la viabilidad de ésta, porque el escaso número de individuos que participan en la reproducción favorece altos niveles de autopolinización (Hermann y Lavender, 1990). La observación que se realizó en este año es que fue de moderada producción de conos, y que la germinación fue relativamente alta en la mayoría de estos siete rodales.

La velocidad de germinación (número de días) para alcanzar el 50 % de la germinación fue uniforme, ocurriendo en el día 14 después de establecida la prueba. Estos resultados son similares a los obtenidos por García (1998) con semillas de Oaxaca, quien registró el mayor promedio de

germinación a los 11 y 16 días de establecida su prueba utilizando una estufa de secado y una cámara de incubación de tejidos.

El valor pico promedio fue de 3.74, que varió de 2.26 (Atotocoyan) a 4.44 (Aire Libre). El valor germinativo promedio fue de 9.74, las poblaciones de Aire Libre y La Pagoda presentaron los valores más altos (12.86 y 12.05), los valores más bajos se presentaron en las poblaciones de Atotocoyan y Tinajas (Cuadro 1.4). Los promedios de las características germinativas en las poblaciones evaluadas fueron altos y uniformes, lo que indica una calidad de la semilla llena (Czabator, 1962; Kolotelo *et al.*, 2001).

Cuadro 1.4. Comparación de medias capacidad germinativa, días para alcanzar el 50 % de la germinación (R50), valor pico y vigor germinativo de poblaciones de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Población	Capacidad germinativa (%)	R50 (días)	Valor pico	Valor germinativo
1. Tinajas	71.75 ± 2.69 b	18.50 ± 0.85 e	3.24 ± 0.18 b	7.74 ± 0.78 c
2. Atotocoyan	50.50 ± 2.69 c	17.00 ± 0.85 d	2.26 ± 0.18 c	3.82 ± 0.78 d
3. Coatectzin	79.50 ± 2.69 ab	15.00 ± 0.85 c	4.20 ± 0.18 a	11.22 ± 0.78 ab
4. Cruz Alta	76.75 ± 2.69 ab	14.50 ± 0.85 bc	3.85 ± 0.18 ab	9.94 ± 0.78 ab
5. La Pagoda	84.00 ± 2.69 ab	14.00 ± 0.85 b	4.29 ± 0.18 a	12.05 ± 0.78 a
6. Aire Libre	87.00 ± 2.69 a	12.50 ± 0.85 a	4.44 ± 0.18 a	12.86 ± 0.78 a
7. Atoluca	80.75 ± 2.69 ab	15.00 ± 0.85 c	3.93 ± 0.18 ab	10.58 ± 0.78 ab

Medias con letras iguales en cada columna no son estadísticamente diferentes (p= 0.05).

La curva de germinación de los lotes de semilla de *Pinus chiapensis* evaluados durante 30 días presentan una tendencia similar con algunos lotes germinando en mayor cuantía y más rápido. Las semillas de la población de Aire Libre germinaron más rápido que el resto de los árboles, mientras las semillas de las poblaciones de Atotocoyan y Las Tinajas fueron las más lentas en germinar y presentan porcentajes bajos (Figura 1.2).

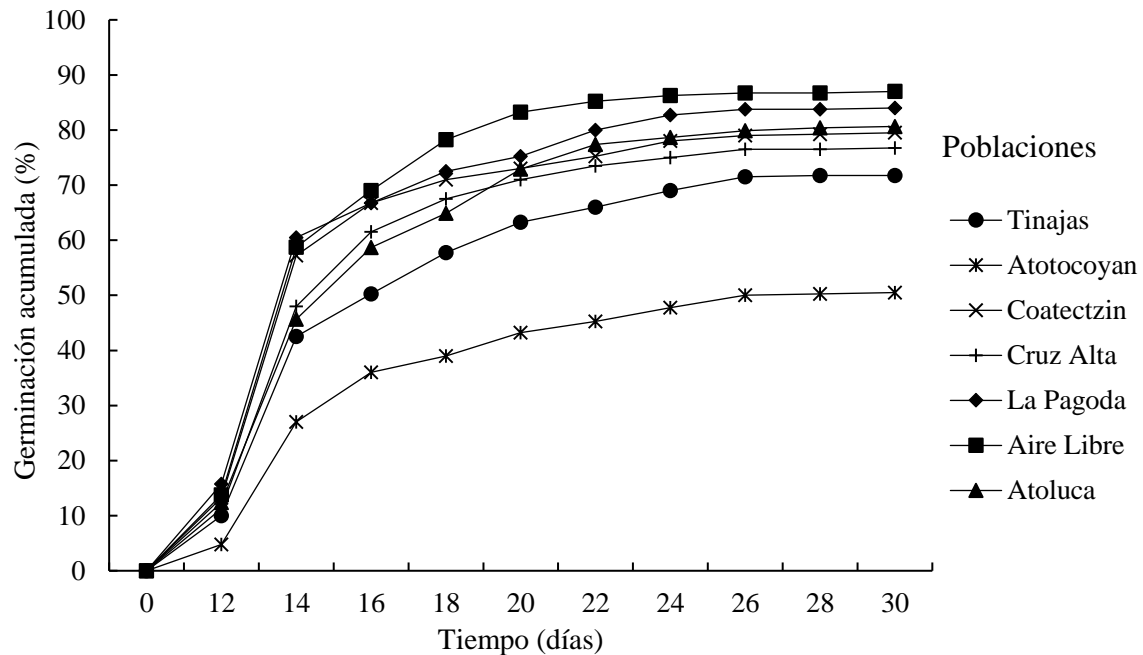


Figura 1.2. Curva de germinación acumulada de lotes de semillas de siete poblaciones de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Análisis de correlación

Indicadores reproductivos y producción de semilla

La correlación de las variables morfológicas de cono (longitud, ancho, peso seco y apertura) con las características reproductivas a nivel poblacional presentaron una asociación positiva alta con el potencial y peso unitario de semilla (Cuadro 1.5). Destaca que a mayor tamaño del cono mayor es el peso de la semilla. Las variables semilla desarrollada y eficiencia de semillas solo se correlacionaron con las variables longitud de cono y peso seco de cono. La eficiencia reproductiva no presentó correlación con ninguna de las variables.

Cuadro 1.5. Coeficientes de correlación de Pearson para las características largo, ancho, peso seco y apertura de cono con las variables reproductivas (n=7) de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

	Longitud de cono	Ancho de cono	Peso seco de cono	Apertura de cono
Potencial de producción de semilla	0.78**	0.72*	0.88**	0.76**
Semilla desarrollada	0.66	0.48	0.68*	0.53
Eficiencia de producción de semilla	0.71*	0.65	0.70*	0.51
Eficiencia reproductiva	0.56	0.49	0.53	0.33
Peso unitario de semilla	0.93**	0.92**	0.95**	0.91**

*Significativo con * $p \leq 0.10$, ** $p \leq 0.05$.

La correlación entre la media de la población de características morfológicas de cono y la altitud de origen de las poblaciones fue positiva (Figura 1.3). Las poblaciones que se encuentran entre 1,500 y 1,600 m presentaron los conos más largos, anchos y de mayor peso; mientras que las poblaciones de menor altitud y de mayor altitud mostraron conos más pequeños de menor peso y con menor apertura (Figura 1.3).

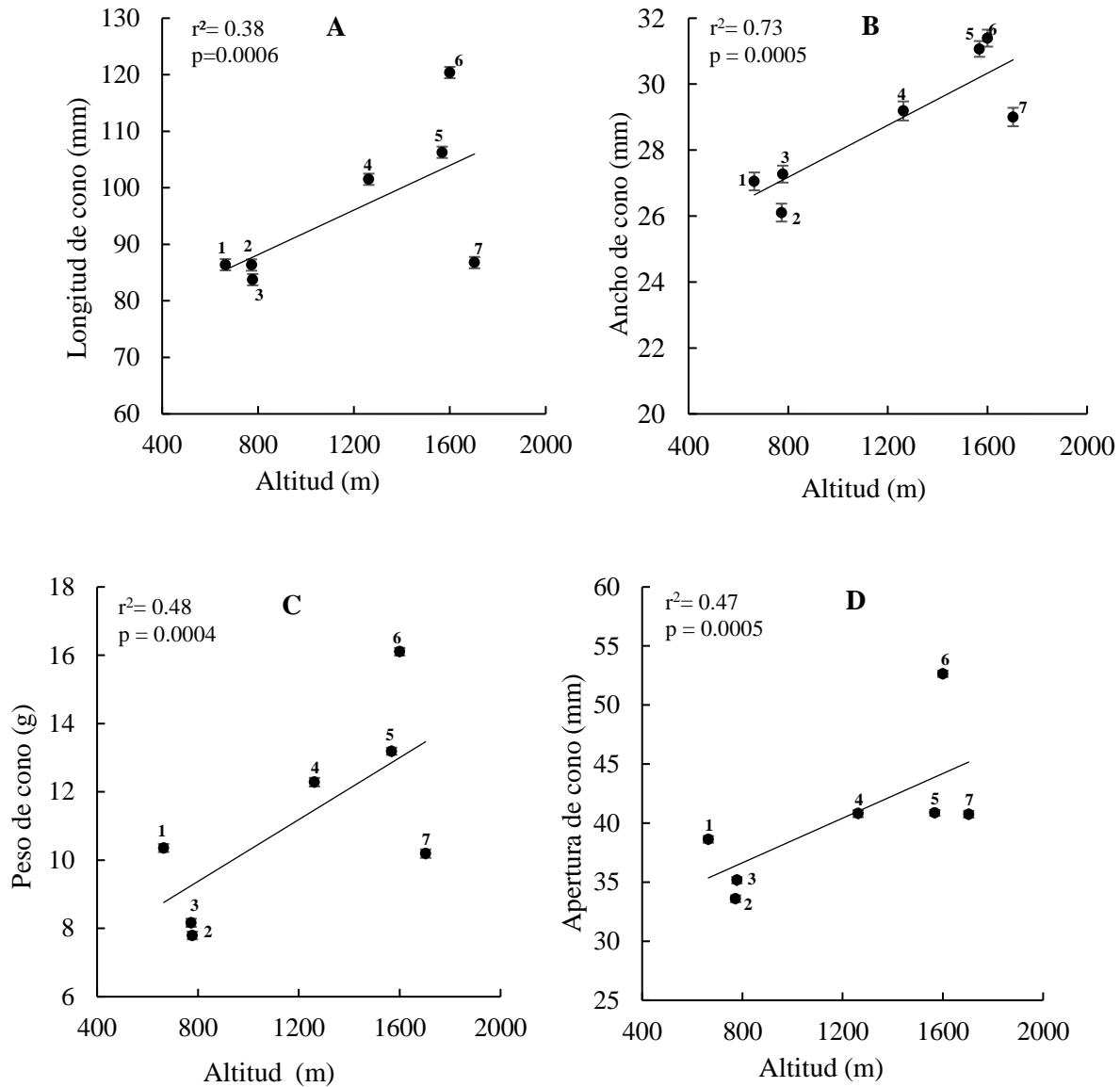


Figura 1.3. Relación entre las variables morfológicas de cono: A) longitud, B) ancho, C) peso seco de cono, y D) apertura con la altitud de origen de siete poblaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen de Puebla y Veracruz, $n=1, \dots, 7$ número de población que se asignó en el Cuadro 1.1).

Las diferencias encontradas en las características morfológicas de cono, a nivel de poblaciones, indica que estas características están influenciadas por el ambiente (según su distribución altitudinal) en el que crecen y probablemente exista una diferenciación genética entre las poblaciones. Así se ha encontrado en otras especies de pinos mexicanos asociación de estas variables con la elevación del sitio de recolecta (Viveros-Viveros *et al.*, 2013; López-Toledo *et*

al., 2017). Así la correlación con las variables de temperatura y precipitación presentaron una asociación negativa. A mayor precipitación y temperatura las características morfológicas disminuyen. Estos resultados concuerdan con lo obtenido por Talavera (1987) y Malagón (1990), quienes encontraron que el grueso de cono disminuye al aumentar la precipitación de las poblaciones evaluadas en *Pinus chiapensis* y *Pinus greggii* Engelm., respectivamente. Por otro lado, Las características morfológicas de los conos y la densidad de las poblaciones presentaron una correlación baja. La población con menor número de individuos por ha es la que se encuentra a mayor elevación (Cuadro 1.6). Un posible factor importante que influye indirectamente en la variación morfológica de conos es la exposición y densidad de los árboles en las poblaciones (Rodríguez y Capo, 2005).

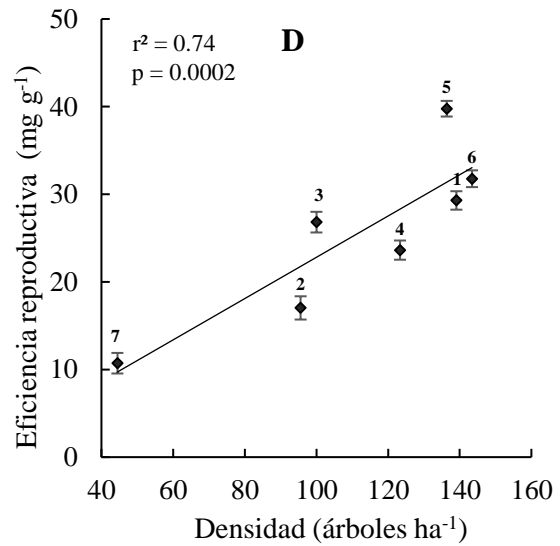
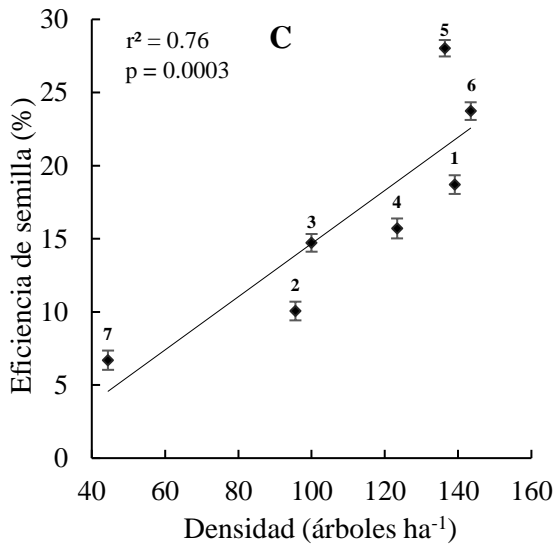
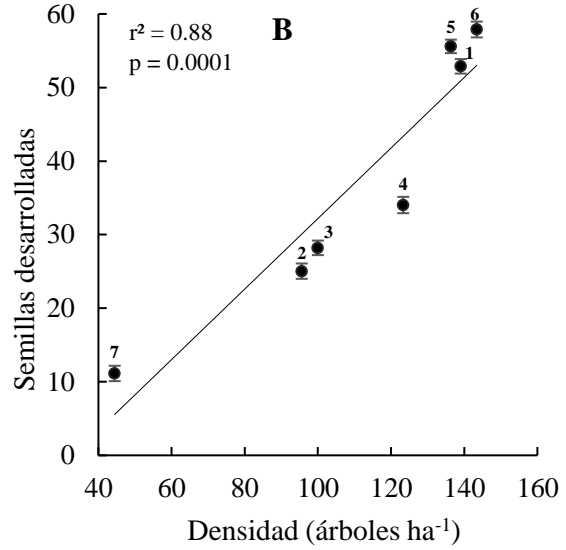
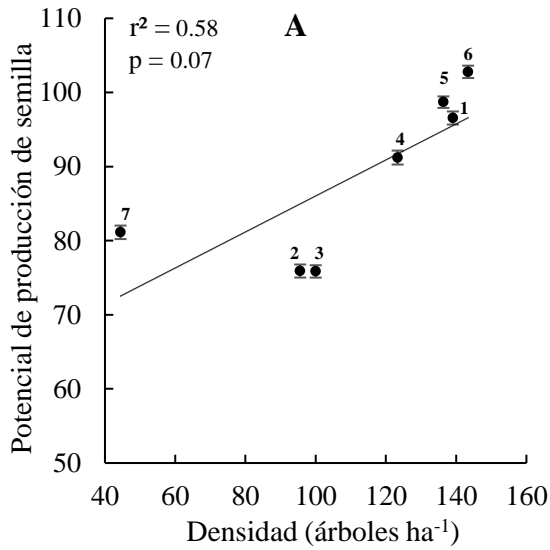
Cuadro 1.6 Coeficientes de correlación de Pearson para las características morfológicas de cono con la temperatura y precipitación media anual y la densidad de las poblaciones (n=7) de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Variable de cono	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Densidad (árboles ha ⁻¹)
Longitud	-0.66	-0.52	0.58
Ancho	-0.89**	-0.79**	0.30
Peso seco	-0.70 *	-0.68 *	0.56
Apertura	-0.68 *	-0.71 *	0.38

Significativo con p * \leq 0.10, ** \leq 0.05.

El análisis de correlación de las características reproductivas de *P. chiapensis* con las variables ambientales no fueron significativas, estos resultados concuerdan con lo indicado por López *et al.* (1993). Por otro lado, la asociación de la densidad de las poblaciones fue alta con el potencial de producción de semilla, proporción de semilla desarrollada, eficiencia de producción de semilla, la eficiencia reproductiva, proporción de semilla vana y proporción de óvulos abortados (Figura 1.4). Estas variables se ven influenciados por factores como la densidad de árboles (competencia), endogamia de los individuos y por la producción irregular de semillas en periodos variables (años semilleros) (Hawley y Smith, 1972; Cain y Shelton, 2000). A menor densidad se presenta una menor producción de semilla, esto puede ser consecuencia de los dos primeros

aspectos mencionados La alta correlación con semillas vanas es sorprendente ya que debería ser contraria la respuesta, lo que entonces sugiere un alto nivel de parentesco y por tanto de endogamia entre los árboles de estos rodales (Mosser *et al.*, 2000).



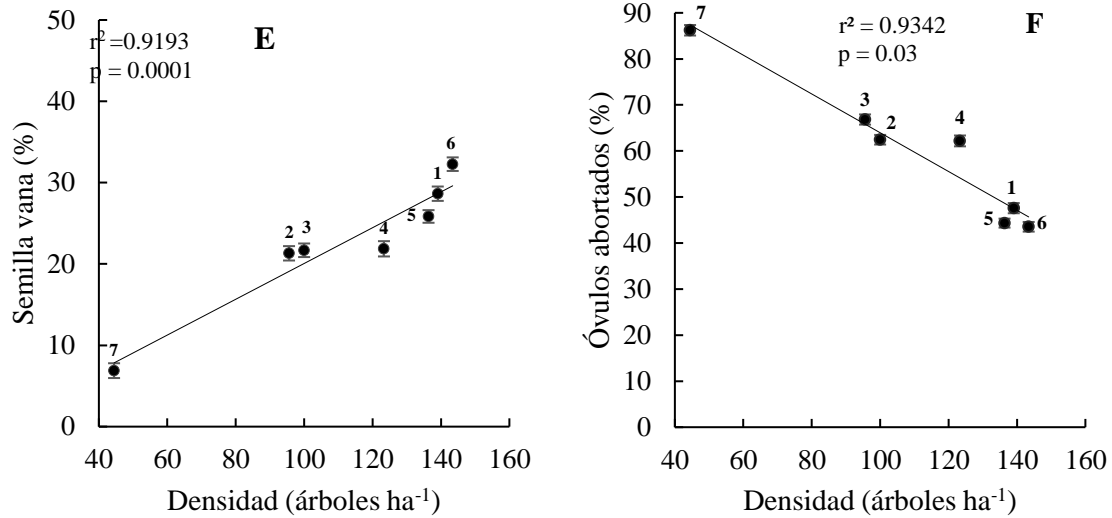


Figura 1.4. Relación entre las características de producción de semilla y la densidad de las poblaciones de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz. A) Potencial de producción de semilla, B) Proporción de semilla desarrollada, C) Eficiencia de producción de semilla (proporción de semilla llena), D) Eficiencia reproductiva, E) Proporción de semilla vana, F) Proporción de óvulos abortados, n=1,.....,7 número de población que se asignó en el (Cuadro 1.1).

La población de menor densidad presentó un menor potencial de producción de semillas, menor cantidad de semilla desarrollada y por ende la eficiencia de producción de semillas y la eficiencia reproductiva fue baja. Esto es notorio en la población de Atoluca en la que se encontró una baja densidad de árboles de *P. chiapensis* y un mayor porcentaje de óvulos abortados. Por lo que las características en estos rodales de *P. chiapensis* están fuertemente relacionadas con el tamaño poblacional. Se ha señalado que en poblaciones pequeñas y aisladas la cantidad y calidad de polen es altamente variable (Mosseler *et al.*, 2000), lo que podría explicar los bajos valores encontrados en las variables antes señaladas.

Estas poblaciones muestreadas representan el límite septentrional del rango natural de *P. chiapensis*; están aisladas, y tienen un tamaño pequeño y una baja densidad de árboles. El bajo número de árboles y un posible alto nivel de endogamia parece estar afectando la producción de semillas; y por lo tanto, la viabilidad de estas poblaciones, como se ha señalado en las poblaciones del sur de su distribución (Del Castillo *et al.*, 2011). Durante la recolección de semillas, se observó

una regeneración natural mínima en estas poblaciones, lo que se ha encontrado en otras especies mexicanas fragmentadas (Castilleja-Sánchez *et al.*, 2016). Es necesario evaluar otros factores que puedan afectar la regeneración natural de los rodales, y tomar las medidas apropiadas para proteger estas poblaciones marginales (Young *et al.*, 2011). Considerando su baja capacidad reproductiva y el posible alto nivel de endogamia, podría ser necesario un programa de restauración genética, incluido el intercambio de plántulas de poblaciones cercanas para aumentar las tasas de migración y la diversidad genética dentro de ellas.

Capacidad germinativa

La correlación de la capacidad germinativa con la altitud de origen de las poblaciones fue positiva pero no significativa, las variables de temperatura y precipitación mostraron una asociación negativa y no significativa con dicha variable. Los días para alcanzar el 50% de germinación se correlaciono negativamente con la altitud de origen, la temperatura se correlaciono significativamente con la capacidad germinativa. El valor pico y el valor de la germinación no se correlacionaron con las variables ambientales. La densidad de las poblaciones mostró una correlación baja y no significativa con estas características germinativas (Cuadro 1.7).

La baja densidad de árboles adultos y aislados en algunas de las poblaciones hace suponer que el éxito reproductivo y la germinación de la semilla son relativamente bajos, como lo muestran algunos estudios de producción y germinación de semillas de coníferas (Juárez *et al.*, 2006; Mápula *et al.*, 2008). Martínez (1997) encontró en Chiapas que la mayor proporción de semillas llenas por cono y los más altos porcentajes de germinación fueron los rodales con mayor densidad de árboles reproductivos de *P. chiapensis*.

Cuadro 1.7. Coeficientes de correlación de Pearson para las características de germinación con variables ambientales, variables morfológicas de cono y eficiencia reproductiva de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz (n=7).

	Capacidad germinativa	GERM50	Valor pico	Valor germinativo
Variables ambientales y dasométricas				
Altitud	0.66	-0.78*	0.58	0.63
Temperatura media anual	-0.65	0.79*	-0.58	-0.64
Precipitación media anual	-0.66	0.45	0.46	-0.54
Densidad de árboles ha ⁻¹	0.18	0.11	0.27	0.25
Variables morfológicas de cono				
Longitud de cono	0.56	-0.78*	0.59	0.62
Ancho de cono	0.80*	-0.82*	0.77*	0.81*
Peso seco de cono	0.63	-0.68*	0.58	0.63
Apertura de cono	0.66	-0.68*	0.57	0.63
Variables reproductivas				
Potencial de producción de semilla	0.54	-0.33	0.48	0.52
Eficiencia de semilla	0.52	-0.4	0.59	0.59
Eficiencia reproductiva	0.45	-0.29	0.56	0.54
Peso de semilla	0.66*	-0.79*	0.62	0.66

GERM50= Días para alcanzar el 50 % de la germinación. Significativo con *p ≤0.10, ** ≤0.05.

La correlación de las características germinativas con el ancho de cono fue alta y significativa. El número de días para alcanzar el 50 % de la germinación presentó una correlación negativa pero significativa en todas las variables morfológicas de cono.

El peso unitario de las semillas presentó una correlación alta y positiva con la capacidad germinativa, y días para alcanzar el 50 % de la germinación. Las poblaciones con semillas más pesadas tienen mayor porcentaje de germinación en comparación con las poblaciones de menor peso que presentan una baja capacidad germinativa (Cuadro 2.7).

En general, se han encontrado que las poblaciones marginales tienen problemas de producción de semilla y bajas tasas de germinación y crecimiento de plántulas (López- Toledo *et al.*, 2017). Las diferencias encontradas entre las poblaciones de *Pinus chiapensis* respecto a las características germinativas pueden sugerir que los diversos rodales están relativamente aislados unas de otras y existe cierto nivel de diferenciación genética causado por el aislamiento y tamaño reducido de dichos rodales. El análisis de la calidad de las semillas contribuye a conservar la representatividad e identidad de la calidad genética de las poblaciones.

Es necesario realizar el seguimiento de los factores que pudieran afectar a futuro las características reproductivas de *Pinus chiapensis* en especial por las condiciones que presentan actualmente los pequeños rodales en los estados de Puebla y Veracruz.

1.6 CONCLUSIONES

Se encontró variación significativa entre las poblaciones evaluadas de *Pinus chiapensis* en características morfológicas de cono, producción de semilla y capacidad germinativa.

Las características morfológicas de cono se ven influenciadas por la altitud de origen de la población (factores ambientales), a mayor altitud de origen se presentan conos más grandes y una mayor cantidad de semilla llena.

Las características reproductivas se ven afectadas por el tamaño poblacional, menor densidad de árboles mayor cantidad de más óvulos abortados y semillas vanas.

Las poblaciones de mayor elevación (menor temperatura) presentaron un mayor porcentaje de germinación y más rápidamente, las de menor elevación (mayor temperatura) germinaron más lento y presentaron un menor porcentaje de germinación.

Los valores obtenidos indican que la semilla cosechada en los siete rodales naturales de *P. chiapensis* de Puebla y Veracruz es de calidad; sin embargo es necesario dar continuidad a dichas poblaciones mediante evaluaciones posteriores de crecimiento y desempeño en campo.

CAPITULO II. VARIACIÓN EN EL CRECIMIENTO INICIAL Y MORFOLOGÍA DE PLÁNTULAS DE *Pinus chiapensis*

2.1 RESUMEN

Pinus chiapensis tiene una distribución fragmentada en nuestro país. Esta conífera ha sido severamente afectada por el avance de la agricultura, que ha propiciado el aislamiento de las poblaciones provocando problemas de endogamia que puede repercutir en la continuidad de la especie. El objetivo de la presente fue evaluar las características morfológicas de plántulas, la supervivencia y el crecimiento inicial de la progenie de siete poblaciones naturales de *P. chiapensis* procedentes de los estados de Puebla y Veracruz. Se encontró una variación significativa ($p \leq 0.05$) entre poblaciones en las características evaluadas. Las diferencias entre localidades fueron notorias en algunas características, y otras con menores diferencias. Seis localidades alcanzaron una supervivencia mayor que 90%, la localidad de Atotocoyan, Puebla, obtuvo el 75% de supervivencia. Entre poblaciones la altura del hipocótilo varió de 2.74 a 4.16 cm, el número de hojas cotiledonares de 6 a 10, en mayor frecuencia 7 y 8 hojas, la longitud de estas hojas de 2.21 a 2.84 cm. A quince meses, la altura de las plantas varió de 24.3 a 50.8 cm, las poblaciones de menor y mayor altitud presentaron los más altos promedios de crecimiento. El diámetro a la base del tallo a esta edad fue mayor en la población de Tinajas (3.90 mm), el índice de esbeltez para todas las poblaciones fue alto (9.8 y 14.5 cm/mm). El número de ramas varió entre las poblaciones, y se asoció positivamente con el crecimiento en altura. A pesar del tamaño poblacional reducido y fragmentación del hábitat, las plántulas de las poblaciones de *P. chiapensis* de Puebla y Veracruz presentaron un buen crecimiento inicial.

Palabras clave: acalocote, crecimiento de plántulas, hojas cotiledonares, índice de esbeltez, variación morfológica.

VARIATION IN THE INITIAL GROWTH AND MORPHOLOGY OF PLANT OF *Pinus chiapensis*

2.2 ABSTRACT

Pinus chiapensis has a fragmented distribution in our country. This conifer tree has been severely affected by the advance of agriculture, which has led to the isolation of its populations causing serious problems of inbreeding that may affect the continuity of the species. The objective was to evaluate the morphological characteristics of seedlings, the survival and the initial growth of the progeny of seven natural populations of *P. chiapensis* from the states of Puebla and Veracruz. A significant variation ($p \leq 0.05$) was found between populations in the evaluated characteristics. The differences between localities were notorious in some characteristics, and others with smaller differences. Six provenances have a survival greater than 90%, meanwhile Atotocoyan, Puebla obtained 75 % survival. Among populations, the height of the hypocotyl varied from 2.74 to 4.16 cm, the number of cotyledonary leaves were from 6 to 10, most frequently 7 and 8 leaves, and the length of these leaves from 2.21 to 2.84 cm. At fifteen months, the total height of the plants varied from 24.3 to 50.8 cm, the populations of lower and higher altitude presented the highest growth averages. The diameter of the base at this age was higher in the Tinajas population (3.90 mm), the sturdiness quotient was high (9.8 and 14.5 cm/mm). The number of branches varied among the populations, this characteristic was positively associated with the growth in height. Despite the small size and the fragmented habitat of *P. chiapensis* in the states of Puebla and Veracruz, offsprings showed robustness initial growth.

Key words: acalocote, seedling growth, cotyledonary leaves, sturdiness quotient, morphological variation.

2.3 INTRODUCCIÓN

Los pinos mexicanos son unos de los recursos naturales más valiosos por su uso tradicional, comercial, por su importancia cultural y por los servicios ambientales que ofrecen (Sánchez, 2008). El género *Pinus* se distribuye principalmente en bosques templados, siendo afectados por los desmontes para ampliar zonas agrícolas, ganaderas o habitacionales, el aprovechamiento forestal inadecuado, las cortas clandestinas, incendios y plagas (Sáenz-Romero *et al.*, 2003). La disminución de la superficie forestal o bien la alteración de la composición y estructura de los bosques en los que habita el género *Pinus* ha traído como consecuencia que algunas especies se encuentren en alguna categoría de riesgo.

Entre las especies más afectadas se encuentra *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, especie endémica del sur de México en los estados de Chiapas, Oaxaca, Puebla, Veracruz y Guerrero y el departamento de Huehuetenango de Guatemala. Este árbol crece en bosques húmedos con una precipitación anual promedio de 1500-2000 mm y una temperatura de 20-22 °C, en localidades libres de heladas, entre 250-2300 m de altitud, generalmente en pendientes empinadas y suelos ácidos (Del Castillo *et al.*, 1995). Debido a su relativa alta tasa de crecimiento, la calidad de su madera y el potencial de los productos con valor agregado, *P. chiapensis* ha sido considerado para reforestación y plantaciones por la Cooperativa recursos coníferos de América Central y México (CAMCORE). En México, muchos de los rodales naturales de este pino están fragmentados o severamente reducidos. Por esta razón, esta especie está clasificada como vulnerable por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (Farjon y Page, 1999), y está considerada en la categoría de protección especial de la NOM-059 (SEMARNAT, 2010).

Las características que definen la calidad de la planta se dividen en atributos materiales que pueden medirse directamente, y que pueden ser morfológicos, fisiológicos, y en atributos respuesta que tratan de predecir su respuesta en el terreno. Las características morfológicas que se evalúan con mayor frecuencia para determinar la calidad de las plántulas son la altura, el diámetro, la arquitectura del tallo e indicadores como la relación tallo/raíz, llamado índice de esbeltez, que es una medida de vigor (Thompson, 1985; Duryea, 1984).

El diámetro es la característica principal que se relaciona con la supervivencia en campo y es afectado por el sustrato, la fertilización y el riego (Hernández *et al.*, 2014; Aguilera-Rodríguez

et al., 2016). Los requerimientos de humedad se incrementan establecimiento, en comparación con plantas de menor altura y mayor diámetro (Santiago *et al.*, 2007). La altura también está relacionada con los intervalos de tiempo que generalmente tienen las plantas para crecer considerablemente si la parte aérea es grande, a mayor superficie foliar mayor transpiración, lo que implica menor capacidad de después de una perturbación y la tolerancia o evitación del estrés ambiental (climático o de nutrientes) (Cornelissen *et al.*, 2003).

El estudio en invernadero y vivero, permite la evaluación del crecimiento de las plántulas y permite conocer la variación que presentan, permitiendo correlacionar dichas características con patrones de desarrollo tardío que a su vez nos darán criterios para hacer selecciones tempranas en vivero y no esperar toda la vida útil de la especie en estudio (Alba, 1996).

El ciclo anual de crecimiento vegetativo de la mayoría de las plantas perennes incluye dos etapas: un periodo de alargamiento del brote, relativamente breve, durante el cual el eje principal de la planta se extiende y emerge follaje nuevo; y un periodo generalmente mucho más largo, durante el cual no hay un alargamiento visible del brote, ocurriendo en cambio, la diferenciación de nuevas unidades de crecimiento (Lavender, 1985; Borchert, 1991; Viveros y Vargas, 2007).

La importancia de la variación morfológica en la etapa temprana de crecimiento de las plántulas es que proporcionan información sobre la variación adaptativa en este estado crítico de desarrollo (Adams y Campbell, 1981).

El objetivo del presente estudio fue determinar la variación existente en las características morfológicas, crecimiento y etapas fenológicas en las plántulas de siete poblaciones de *Pinus chiapensis*, bajo la hipótesis que a nivel de plántulas existen diferencias morfológicas asociadas al lugar de origen de las poblaciones en prueba.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El germoplasma se recolectó en siete rodales de *Pinus chiapensis* en los estados de Puebla y Veracruz (Cuadro 3.1). El número de árboles muestreados en cada población fue variable (15-22), se consideró una distancia mínima de 50 m entre cada individuo para evitar problemas de consanguinidad en los arboles evaluados..

Cuadro 2.1. Datos geográficos de las poblaciones de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen.

Localidad-Municipio	Lat. N [†]	Long. O	Altitud (m)	Temp [‡] °C	Prec mm	N
1. Tinajas, Atzalan, Ver.	19°53'30.71"	97°12'53.15"	664	21.2	2676	17
2. Atotocoyan, Yaonahuac, Pue.	19°57'02.63"	97°26'24.92"	773	20.4	3427	17
3. Coatectzin, Tlatlauquitepec, Pue.	19°57'45.24"	97°26'31.19"	778	20.4	3446	19
4. Cruz Alta, Hueytamalco, Pue.	19°53'16.23"	97°17'46.73"	1262	17.7	2657	15
5. La Pagoda, Hueyapan, Pue.	19°53'56.66"	97°24'38.87"	1568	15.9	2287	22
6. Aire Libre, Teziutlán, Pue.	19°53'02.77"	97°23'48.49"	1600	15.8	2170	19
7. Atoluca, Teziutlán, Pue.	19°51'47.28"	97°20'47.33"	1703	15.4	1881	16

[†]Las coordenadas geográficas y la elevación se tomaron con un posicionador geográfico marca Garmin xtreme 10 Datum WGS84, porción central de cada localidad. [‡]Temperatura media anual y precipitación media anual a través de Worldclim, N, número de árboles muestreados de *Pinus chiapensis*.

Producción de planta

Se tomó una muestra de 400 semillas por población la cual se desinfectó en una solución de hipoclorito de sodio (5 %), utilizando cloro comercial Cloralex®, con un tiempo de inmersión de 5 minutos, seguido de un lavado abundante con agua. La semilla se dejó en remojo en agua destilada por 24 h previo a la siembra. La germinación se realizó en cajas de plástico rígido transparente de 33 x 23 cm con tapa de cierre hermético, con sustrato esterilizado de tepezil y humedecido con agua destilada. Se utilizó una solución fungicida de Captán en proporción de 3 g por litro al momento de la siembra y posteriormente de 2.5 g en el riego cada semana.

El trasplante se realizó 12 días después de la siembra a tubetes individuales de 310 ml colocados en porta tubetes de 54 cavidades, el número de semillas germinadas fue variable en las poblaciones evaluadas. El sustrato empleado para esta prueba se integró por la mezcla 3/4 composta, 1/4 tepezil y fertilizante de liberación controlada osmocote (15-9-12) dosis de 6 g/l.

Durante los primeros meses se aplicó riego tres veces por semana con agua destilada, posteriormente dos veces por semana durante la temporada de estiaje y nuevamente tres riegos por semana iniciada la primavera. Las plantas se mantuvieron durante quince meses en invernadero con temperatura oscilante entre 14 y 35 °C.

Para evitar el ataque de hongos se aplicó una solución de captan 1 g/l una vez por semana por los primeros tres meses. Posteriormente se aplicó 1g/l de *Tricoderma* en el cuarto mes, en intervalos de dos semanas cada aplicación y se redujeron los riegos para evitar la pudrición de la raíz por exceso de humedad.

Variables evaluadas

Un mes después del trasplante se determinó la altura del hipocótilo, midiendo la distancia desde el cuello de la raíz hasta la parte inferior de los cotiledones, se contabilizó el número de hojas cotiledonares (NHC) y la longitud de hojas cotiledonares.

Para la evaluación de la supervivencia y el crecimiento de plántulas, en altura total (AT) y diámetro a base (DB), se tomó una muestra de 400 plántulas distribuidas entre las siete poblaciones, el número de plantas por cada localidad se determinó mediante la aplicación de la fórmula de Scheaffer *et al* (1987), con la que se obtuvo el tamaño de muestra requerido aplicando un muestreo aleatorio simple por población, debido a las diferencias en el total de plantas vivas en cada población, el número de individuos evaluados vario (20-102). A los tres meses se realizó la primera medición, la AT se determinó como la distancia desde el cuello de la raíz hasta la yema apical con aproximación a 1 mm, y el DB al cuello de la raíz de plántula con un vernier digital, con aproximación a 0.01 mm. A los seis meses se tomaron nuevamente los datos de DB y AT, posteriormente la medición fue mensual hasta los 15 meses de edad. Mensualmente se realizaron inventarios para el registro de la mortandad de la planta.

A los 15 meses se determinó el número de ramas (NR) y el índice de esbeltez (IE), esto es la relación de la altura entre el diámetro (cm/mm), como una medida de vigor (Thompson, 1985);

a menor valor indica mayor vigor de la plántula, ya que se considera deseable reforestar con plantas proporcionalmente grandes en diámetros (Santiago *et al.*, 2007). La supervivencia se determinó a través del conteo del total de plántulas vivas, realizándose a los tres meses a partir de la selección de la planta. Para la evaluación del crecimiento vegetativo de las plántulas se observó y se registró la incidencia de la formación de yemas.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, evaluándose 400 plantas de siete procedencias de *P. chiapensis*. El procedimiento MIXED del paquete SAS® se usó para el análisis estadístico (Littell *et al.*, 2006). El modelo utilizado para probar diferencias entre procedencias:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde: Y_i es el valor de la característica de la i -ésima población, μ es el efecto de la media general, P_i es el efecto del i -ésima población y ε_{ijk} es el error experimental. El número de cotiledones resultó normal en la prueba de normalidad realizada con el procedimiento UNIVARIATE del SAS (SAS Institute, 2003).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características morfológicas de plántula

Se encontraron diferencias entre poblaciones y dentro de cada población para las características morfológicas y crecimiento de plántula de *P. chiapensis*. La varianza entre árboles presentó una mayor fuente de variación en la mayoría de las características. En el promedio de todas las características, la contribución de la población a la varianza total fue de 25.1%, mientras que la mayor aportación al porcentaje de la varianza total (74.9%) corresponde al error de muestreo que está dado por los árboles analizados (Cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Componentes de varianza estimados entre y dentro de poblaciones para las características evaluadas en el análisis morfológico y crecimiento de plántulas en *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Características	Componentes de varianza (%)		Varianza total
	Población	Error	
Supervivencia	32.92**	67.08**	171.79
Altura del hipocótilo	36.41**	63.59**	0.72
NHC	3.63**	96.37**	0.59
Longitud de hojas cotiledonares	33.35**	66.65**	0.14
AT(cm) 15	30.33**	69.67**	243.98
DB (mm) 15	41.31**	58.69**	0.67
IE	14.56**	85.44**	11.38
NR	8.41**	91.59**	20.50

**Significativos con $p \leq 0.05$, NHC = número de hojas cotiledonares, AT 15 = altura total a 15 meses de edad, DB 15 = diámetro a la base a los 15 meses de edad, IE = índice de esbeltez y NR = número de ramas.

La supervivencia promedio fue de 93 %, a los quince meses de edad. En donde la población de Atotocoyan presentó el menor porcentaje de supervivencia (75 %); mientras que en las demás la mortandad fue mínima (≤ 10 %) (Cuadro 2.3). La elevada mortalidad en las plantas de Atotocoyan es consistente con su bajo número de semillas germinadas, que es inferior al de las

otras localidades, lo que indica una posible depresión por endogamia. En poblaciones con una distribución limitada como es el caso de *Pseudotsuga menziesii*, se ha señalado que la endogamia repercute en una muerte temprana de plántulas (Sorensen y Miles, 1974; Juárez *et al.*, 2006).

El NHC tuvo poca variación entre poblaciones, con valores promedio fluctuando alrededor de los siete y ocho cotiledones (Cuadro 2.3). En Tinajas, Atotocoyan, Cruz Alta, La Pagoda, Aire Libre y Atoluca, se encontró el mayor porcentaje de plántulas con ocho hojas cotiledonares; la localidad de Coatectzin presentó mayor frecuencia de plántulas con siete hojas (Figura 3.1). Plántulas con seis y diez hojas cotiledonares fueron sumamente raras (0.8 y 1.3 % respectivamente).

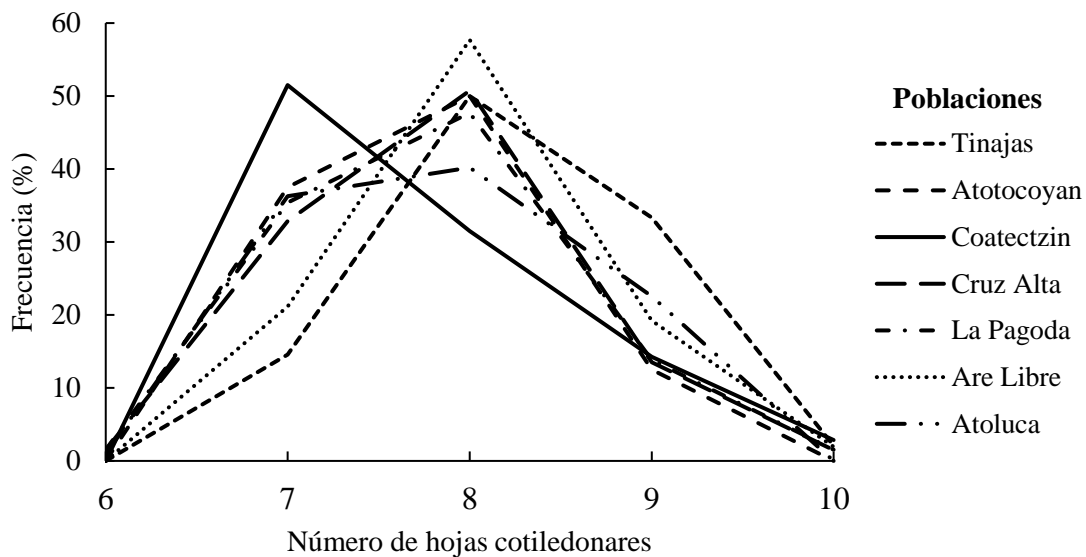


Figura 2.1. Frecuencia del número de hojas cotiledonares en plántulas de *Pinus chiapensis*. N= 385.

Los cotiledones constituyen los primeros órganos fotosintetizadores hasta que el hipocótilo forma las hojas primarias (Daniel *et al.*, 1982). La apariencia de las plántulas de las coníferas durante las primeras etapas de su desarrollo varía entre las especies esto se debe en gran parte a las diferencias entre los cotiledones y las hojas primarias (Niembro, 1986).

La longitud de las hojas cotiledonares presento variación entre las poblaciones, el promedio fue de 2.49 cm, los valores extremos se presentaron en la localidad de Atoluca (2.84 cm) y Atotocoyan (2.21 cm) (Cuadro 2.3).

La altura del hipocótilo presento diferencias significativas entre las poblaciones, con un promedio de 3.59 cm, los valores extremos se encontraron en la población de Tinajas con 2.74 cm y Atoluca con 4.16 cm (Cuadro 2.3). El hipocótilo es una variable importante a considerar al momento de realizar estudios morfológicos de procedencias de diferentes especies de coníferas, ya que representa el vigor de crecimiento inicial de las plántulas. Estudios similares, con *Pseudotsuga menziesii*, han asociado la variación en la altura del hipocótilo con las condiciones ambientales del lugar de origen de las poblaciones, por lo que se considera como indicador de variación morfológica, lo que confirma las diferencias morfológicas encontradas en nuestro estudio (Juárez *et al.*, 2006).

Cuadro 2.3. Medias (\pm error estándar) de características morfológicas de plántulas de *Pinus chiapensis* de Puebla y Veracruz.

Poblaciones	Características			
	Supervivencia (%)	Altura hipocótilo (cm)	NHC	Longitud de hojas cotiledonares (cm)
Tinajas	96.02 \pm 1.55 ab	2.74 \pm 0.10 d	8.23 \pm 0.11 a	2.34 \pm 0.04 cd
Atotocoyan	75.00 \pm 2.77 d	3.40 \pm 0.17 bc	7.80 \pm 0.19 ab	2.21 \pm 0.08 d
Coatectzin	94.71 \pm 1.81 bc	3.75 \pm 0.11 ab	7.69 \pm 0.13 b	2.39 \pm 0.05 cd
Cruz Alta	97.09 \pm 1.31 ab	4.11 \pm 0.08 a	7.81 \pm 0.09 ab	2.53 \pm 0.04 b
La Pagoda	93.34 \pm 1.33 c	3.18 \pm 0.08 c	7.78 \pm 0.09 ab	2.40 \pm 0.04 c
Aire Libre	96.44 \pm 1.49 ab	3.80 \pm 0.09 ab	8.02 \pm 0.10 ab	2.73 \pm 0.04 ab
Atoluca	99.11 \pm 1.07 a	4.16 \pm 0.07 a	7.83 \pm 0.07 ab	2.84 \pm 0.03 a

Medias con letras iguales en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). NHC = número de hojas cotiledonares.

Respecto a las características de crecimiento, las plantas de Atoluca, Tinajas, Cruz Alta y Aire Libre presentaron un mayor crecimiento desde los 5 meses de edad, que las Atotocoyan, Coatectzin y La Pagoda. Esta tendencia continuó y las diferencias se incrementaron a los quince meses de edad, tanto para las alturas como para los diámetros, pero con mayor proporción en la altura de las plantas (Fig. 3.2 y 3.3).

El crecimiento mensual promedio en altura y diámetro fue de 2.7 cm y 0.22 mm, respectivamente. Los valores de crecimiento mensual obtenidos para las plantas de Tinajas siempre

fueron los más altos; en contraste con los de Atotocoyan que estuvieron siempre entre los más bajos, teniendo una diferencia entre estas poblaciones de aproximadamente más del 50% tanto para el diámetro como para la altura (Figura 2.2 y 2.3).

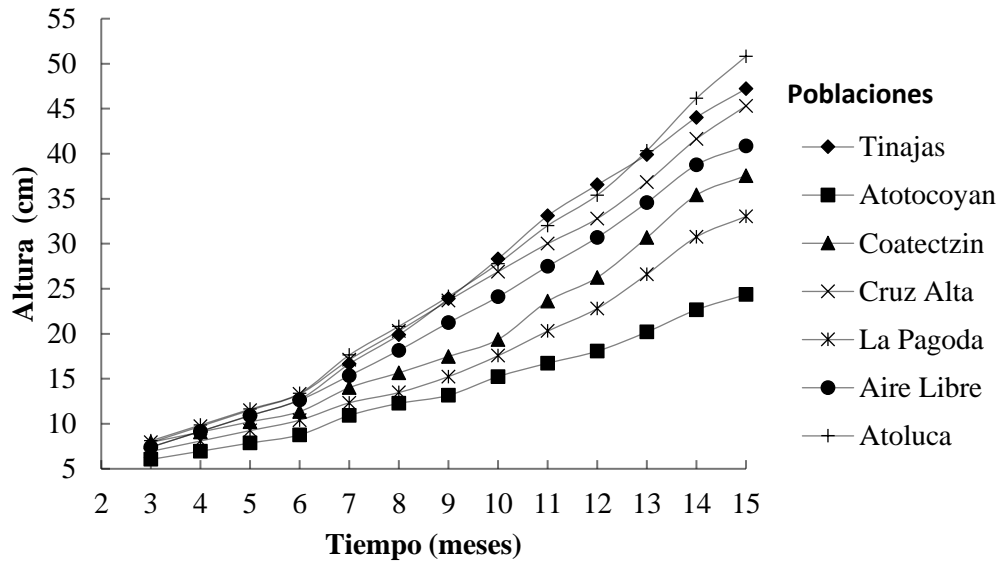


Figura 2.2. Crecimiento acumulado en altura de plantas de *Pinus chiapensis* a 15 meses de edad.

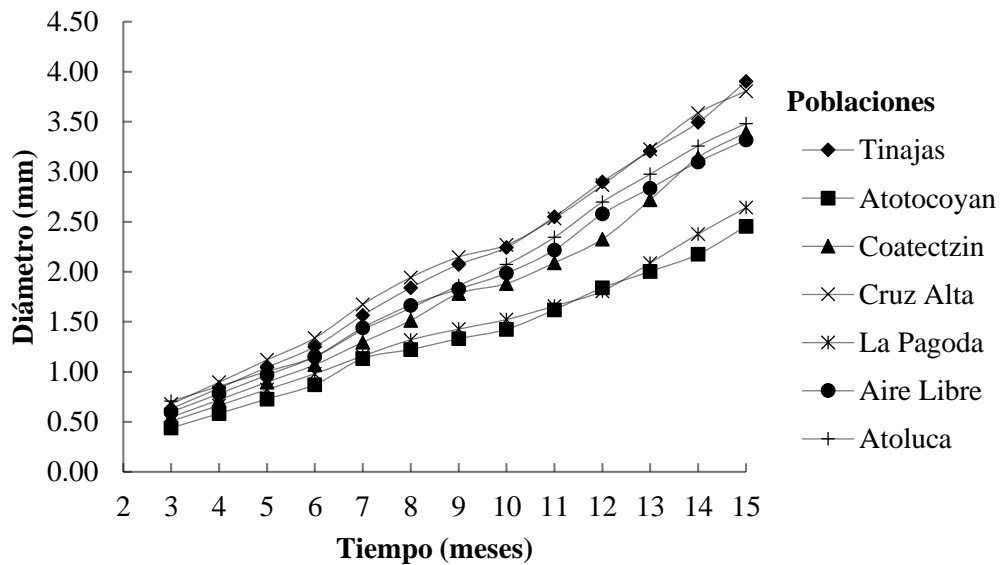


Figura 2.3. Crecimiento acumulado en diámetro de plantas de *Pinus chiapensis* a 15 meses de edad.

La velocidad de crecimiento inicial de las plantas en vivero está asociada con el factor genético, aquellas que tengan la capacidad de crecer vigorosamente y con mayor velocidad (durante la fase de crecimiento exponencial) podrán aprovechar de manera más eficiente los elementos del medio como son agua, luz y nutrientes; y por tanto tendrán mayor oportunidad de sobrevivir (Villar *et al.*, 2004). Plantas con diámetros mayores son más resistentes al doblamiento, toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva y presentan más resistencia cuando sean establecidas en campo, aunque esto varía de acuerdo a la especie (Prieto *et al.*, 2003 y Prieto *et al.*, 2009).

Al final del experimento, el crecimiento en altura y diámetro alcanzado por la plantas se vio influenciado, como lo señalan algunos autores, mayormente por las características físicas y climáticas de los sitios en donde se desarrollan (Zobel y Talbert, 1988), pero es posible atribuir las variaciones vistas entre procedencias a las características genéticas de los árboles evaluados.

El crecimiento en vivero de las plántulas de *P. chiapensis* correspondientes a las poblaciones de Puebla y Veracruz, mostraron diferencias significativas. A la edad de quince meses las plantas alcanzaron un crecimiento en altura de 39.87 cm. Las de Atoluca, con los mayores crecimientos, fueron casi 25 cm más altas que las de Atotocoyan que tuvieron las plantas de menor altura (Cuadro 2.4). El diámetro promedio fue de 3.29 mm, es la característica más importante en la evaluación de la calidad de la planta, debido a que permite predecir la supervivencia de la planta en campo, asociándola con el vigor y el éxito de la plantación. Las plantas de la población Tinajas resultaron ser las de mayor diámetro y las de Atotocoyan las de menor (Cuadro 2.4).

Estudios realizados bajo condiciones de invernadero con especies que presentan una distribución restringida y con poblaciones discontinuas, como *Pseudotsuga*, *P. hartwegii* y *P. pseudostrobus*, muestran un menor crecimiento con diferencias, según su procedencia, durante las etapas iniciales (Juárez *et al.*, 2006; Benavidez *et al.*, 2011; Villegas *et al.*, 2016). Esta variación en crecimiento, también se ha señalado en algunas especies que se distribuyen a lo largo de un gradiente altitudinal, y se atribuye a la altitud de origen de las poblaciones evaluadas, resaltando que el mayor crecimiento se presenta en aquellas ubicadas a menor altitud (Castellanos-Acuña *et al.*, 2013). En nuestro estudio las plantas de menor crecimiento fueron las de la procedencia de menor altitud, correspondiente a la localidad de Atotocoyan.

Entre poblaciones el índice de esbeltez de las plántulas de *P. chiapensis* presentó diferencias significativas, los valores más bajos se encontraron en la población de Atotocoyan (9.8), el valor

más alto lo presentó Atoluca (14.5) (Cuadro 2.4). Los resultados obtenidos son mayores al índice de robustez ideal de Thompson (1985) quien considera debe ser menor a seis. Un valor menor indica que se trata de arbolitos más bajos y gruesos, aptos para sitios con limitación de humedad, ya que valores superiores a seis los dispone a los daños por viento, sequía y helada (Rodríguez, 2008). Asimismo, valores más bajos están asociados a una mejor calidad de la planta e indica que es más robusta y con tallo vigoroso; en cambio valores altos indican una desproporción entre el crecimiento en altura y el diámetro, como pueden ser tallos elongados con diámetros delgados (Prieto *et al.*, 2003 y Prieto *et al.*, 2009).

Las diferencias entre el número de ramas fueron significativas entre procedencias, destacando las plántulas de Coatectzin con el mayor número de ramas, con 50 % más que la de Atoluca, que fue la de menor número (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Valores promedios y error estándar del diámetro al cuello de la raíz y altura en plántulas de *Pinus chiapensis* a 15 meses de edad.

Poblaciones	Características			
	AT 15 (cm)	DB 15 (mm)	IE (cm/mm)	NR
Tinajas	47.20 ± 1.88 ab	3.90 ± 0.09 a	12.09 ± 0.45 b	6.06 ± 0.63 bc
Atotocoyan	24.35 ± 3.37e	2.46 ± 0.16 d	9.85 ± 0.81 c	8.47 ± 1.12 a
Coatectzin	37.56 ± 2.20 c	3.39 ± 0.11 b	11.10 ± 0.53 bc	9.23 ± 0.73 a
Cruz Alta	45.31 ± 1.59 ab	3.81 ± 0.08 a	11.99 ± 0.38 b	5.67 ± 0.53 bc
La Pagoda	33.03 ± 1.62 d	2.64 ± 0.09 d	12.39 ± 0.39 b	6.68 ± 0.54 b
Aire Libre	40.85 ± 1.81 bc	3.32 ± 0.09 bc	12.41 ± 0.43 b	6.77 ± 0.60 ab
Atoluca	50.81 ± 130 a	3.48 ± 0.06 b	14.53 ± 0.31 a	5.50 ± 0.47 c

Medias con letras iguales en cada columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05), AT 15= altura total a 15 meses de edad, DB 15= diámetro a la base a los 15 meses de edad, IE= índice de esbeltez (división altura / diámetro) y NR= número de ramas contabilizadas en cada planta.

Durante la etapa de evaluación del crecimiento de la planta se tomaron datos de formación de yema, solo seis poblaciones presentaron esta característica (22%). Cruz Alta fue la que presentó una mayor incidencia (42 %), en esta población y la de Coatectzin se observó en menor frecuencia

una doble y triple formación de yema (Figura 2.4). La suspensión temporal del crecimiento en estas plantas puede ser efecto de la resistencia a factores de estrés (Fuchigami *et al.*, 1977; Viveros y Vargas, 2007). Bajo condiciones naturales y en su lugar de origen la especie presenta un crecimiento continuo, sin embargo, durante la evaluación la planta respondió a las condiciones ambientales durante la época de otoño e invierno disminuyendo su crecimiento y mediante la formación de yemas.



Figura 2.4. Formación de yemas en plantas de *Pinus chiapensis*, a) triple formación de yemas, b) yema en latencia.

La formación de yemas fue variable y ocurrió entre los meses de octubre-mayo, el mayor porcentaje de formación de yema en La Pagoda ocurrió en los meses de noviembre y enero, para las poblaciones de Cruz Alta y Aire Libre se presentó durante el mes de diciembre, Tinajas, Coatectzin y Atoluca formaron un mayor porcentaje de yemas durante el mes de febrero (Cuadro 2.5), esta característica puede estar influenciada en la respuesta de cada población con las variaciones en la temperatura durante estos meses del año que corresponden a la temporada de invierno.

Cuadro 2.5. Porcentaje y mes de formación de yemas en plantas de *Pinus chiapensis*

Poblaciones	Meses						
	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Mayo
Tinajas	0.0	5.6	22.2	5.6	38.9	22.2	5.6
Coatectzin	0.0	16.7	16.7	16.7	33.3	0.0	16.7
Cruz Alta	3.7	7.4	44.4	11.1	25.9	7.4	0.0
La Pagoda	13.3	26.7	0.0	26.7	20.0	13.3	0.0
Aire Libre	0.0	30.0	40.0	10.0	10.0	10.0	0.0
Atoluca	11.1	11.1	5.6	22.2	33.3	11.1	5.6

Este patrón de variación genética es común cuando el clima óptimo de las poblaciones se encuentra en altitudes intermedias de su rango natural de distribución, donde se encuentran las mejores condiciones para expresar su potencial de crecimiento (Rehfeldt *et al.*, 2002). Conforme las poblaciones ocupan sitios alejados de su óptimo en el gradiente altitudinal, las condiciones ambientales se vuelven más severas y la presión de selección se intensifica. Debido a esto, la estructura genética se modifica para aumentar la adaptación a condiciones más adversas, muchas veces sacrificando crecimiento para dar lugar a características de mayor valor adaptativo (Mátyás *et al.*, 2010), tales como resistencia a heladas (en la parte alta de la distribución altitudinal) o a la sequía (en la parte baja).

Estas diferencias pueden indicar una diferenciación geográfica relacionada con el ambiente, o debido a la fragmentación y el aislamiento de los rodales, sin embargo esto puede ser atribuido a la plasticidad fenotípica como respuesta a las condiciones ambientales de cada rodal.

Análisis de correlación

La correlación de la media de supervivencia con el porcentaje de germinación fue alta y significativa, sin embargo con la altitud de origen y el peso de semilla resultó positiva pero no significativa. En contraste la correlación con las variables ambientales fue negativa y no significativa (Cuadro 2.6).

La altura del hipocótilo presenta asociación positiva pero no significativa con la altitud de origen y el peso de la semilla. La asociación de esa variable con la temperatura y la densidad fue negativa y no significativa (Cuadro 2.6).

El número de hojas cotiledonares, de acuerdo con Hellum (1969), puede ser específico para el área de origen geográfico y las condiciones ambientales, en el presente trabajo esta característica presento una correlación negativa aunque no significativa con la altitud, temperatura y precipitación (Cuadro 2.6).

La media de la longitud de las hojas cotiledonares se correlacionó positivamente con la altitud de origen de las poblaciones el peso de semilla y el porcentaje de germinación. Caballero (1967) menciona que la longitud de las hojas cotiledonares varía considerablemente en función del tamaño de las semillas, para tal efecto semillas menos pesadas presentaron una menor longitud de hojas, semillas más pesadas presentaron un mayor tamaño de hoja (Cuadro 2.6). En contraste la correlación con la temperatura y precipitación fue negativa.

Cuadro 2.6. Coeficientes de correlación de Pearson para las características morfológicas de plántulas de *Pinus chiapensis* con variables ambientales, densidad poblacional y peso de semilla (n=7).

	Supervivencia	Altura del hipocótilo	NHC	Longitud de hojas cotiledonares
Altitud	0.45	0.55	-0.22	0.82*
Temperatura	-0.44	-0.55	-0.24	-0.8*
Precipitación	-0.63	-0.28	-0.22	-0.85*
Porcentaje de germinación	0.87*	0.19	-0.12	0.72*
Peso de semilla	0.48	0.41	0.04	0.65

Significativo con * $p \leq 0.10$ y ** $p \leq 0.05$, NHC = número de hojas cotiledonares.

La correlación de la media de altura de la planta de *P. chiapensis* resulto positiva y significativa con el porcentaje de supervivencia y la longitud de las hojas cotiledonares, esto podría ser atribuido a que la longitud de hojas cotiledonares determina el área fotosintética de las mismas y ésta puede estar relacionada con el crecimiento de las plántulas a edad temprana en especies donde las hojas cotiledonares muestran más expansión (Viveros *et al.*, 2005). Para el caso de la

altitud de origen, temperatura y precipitación la correlación fue baja y no significativa (Cuadro 2.7), lo que podría indicar un patrón clinal poco pronunciado. Procedencias de menor altitud generalmente presentan un periodo de crecimiento más largo que las de mayor altitud (Campbell, 1979; Kuser y Ching, 1980; Rehfeldt, 1989 y 1994; Viveros *et al.*, 2005); Sin embargo, en el presente estudio la población de menor y mayor altitud presentaron un crecimiento similar durante los meses de la evaluación.

El diámetro se correlacionó positivamente con el porcentaje de supervivencia, caso contrario con la altitud, precipitación y el número de ramas que presentaron una correlación baja y negativa, la asociación con las características morfológicas de las plántulas fue positiva pero no significativa (Cuadro 2.7).

El diámetro y la altura se correlacionaron positivamente con la supervivencia de las plantas.

Cuadro 2.7. Coeficientes de correlación de Pearson para altura y diámetro a 15 meses edad de planta de *Pinus chiapensis* con variables ambientales, densidad poblacional, peso de semilla y características morfológicas de plántulas (n=7).

	AT 15 (cm)	DB 15 (mm)
Altitud de origen de las poblaciones	0.28	-0.15
Temperatura media anual	-0.24	0.17
Precipitación media anual	-0.62	-0.2
Peso de semilla	0.3	0.08
Porcentaje de germinación	0.47	0.30
Supervivencia	0.87*	0.75*
NHC	0.41	0.47
Longitud de hojas cotiledonares	0.69*	0.39
Altura de hipocótilo	0.30	0.18
IE	0.79**	0.42
NR	-0.75*	-0.49

Significativo con * $p \leq 0.10$, ** $p \leq 0.05$. NHC = número de hojas cotiledonares, AT 15 = altura total a 15 meses de edad, DB 15 = diámetro a la base a los 15 meses de edad, IE = índice de esbeltez y NR = número de ramas.

Las cruces entre árboles emparentados o autopolinizaciones genera menor capacidad germinativa de las semillas, así como la supervivencia y el crecimiento inicial de las plántulas (Sorensen y Campbell, 1997), situación que podría estar ocurriendo en algunas localidades de *Pinus chiapensis* en la parte norte de su distribución natural en México.

Las poblaciones aisladas tienen mayores niveles de endogamia, lo que conduce a menor capacidad reproductiva y calidad de la progenie (Frankham, 1998), por lo que la permanencia de esos rodales estaría en riesgo. Las localidades evaluadas poseen un valor especial para el desarrollo de actividades de conservación, ya que podrían ser fuente de germoplasma para amortiguar los impactos causados en sus áreas de distribución y ante el acelerado escenario de cambio climático (Ledig, 1988; Mosseler *et al.*, 2000). Además, estos árboles podrían ser fuente de germoplasma para el establecimiento de plantaciones forestales comerciales en las zonas tropicales del país.

2.6 CONCLUSIONES

Dadas las condiciones geográficas y el grado de perturbación de las poblaciones evaluadas, se encontraron diferencias significativas en las características morfológicas y crecimiento de plantas de *Pinus chiapensis* de rodales de Puebla y Veracruz.

En cuanto a la altura y diámetro de plántulas en las primeras etapas de crecimiento se concluye que, a través del tiempo, la diferenciación entre procedencias es mayor, atribuyéndose dicha variación a factores genéticos dado que la homogeneidad de las condiciones ambientales presentes en el vivero fueron las mismas para todas las plántulas.

El mayor crecimiento en altura se presentó en los sitios de mayor y menor altitud (Atoluca y Tinajas) localizadas a 1703 y 664 m.

La población de Atotocoyan localizada a los 773m de altitud presentó un menor porcentaje de supervivencia y un crecimiento menor en diámetro y altura.

CONCLUSIONES GENERALES

Se encontró variación significativa entre las poblaciones evaluadas de *Pinus chiapensis* en características morfológicas de cono, producción de semilla, capacidad germinativa, morfología de plántulas y crecimiento inicial.

Las características morfológicas de cono se ven influenciadas por la altitud de origen de la población (factores ambientales), a mayor altitud de origen se presentan conos más grandes y una mayor cantidad de semilla llena.

Las características reproductivas se ven afectadas por el tamaño poblacional, menor densidad de árboles mayor cantidad de óvulos abortados y semillas vanas.

Las poblaciones a mayor elevación (menor temperatura) presentaron un mayor porcentaje de germinación y más velocidad, las de menor elevación (mayor temperatura) germinaron más lento y presentaron un menor porcentaje de germinación.

Los valores obtenidos en la prueba de germinación indican que la semilla cosechada en los siete rodales naturales de *P. chiapensis* de Puebla y Veracruz es de calidad.

En cuanto a la altura y diámetro de plántulas en las primeras etapas de crecimiento se concluye que, a través del tiempo, la diferenciación entre procedencias es mayor, atribuyéndose dicha variación a factores genéticos dado que la homogeneidad de las condiciones ambientales presentes en el vivero fueron las mismas para todas las plántulas. El mayor crecimiento en altura se presentó en los sitios de mayor y menor altitud.

Aire Libre, resultó ser la mejor población donde se obtuvieron las mejores características morfológicas de cono, alta eficiencia de producción de semilla, eficiencia reproductiva, así como una mayor capacidad germinativa, sin embargo la planta producida con semilla de ésta procedencia, no presentó buenos resultados en crecimiento.

La población de Atotocoyan presentó los valores más bajos en todas las características evaluadas, lo que podría sugerir un problema serio de endogamia, que a largo plazo pondría en riesgo la permanencia de dicha población.

Atoluca presentó valores bajos de eficiencia de producción de semilla, una de las causas probables sean la autopolinización ocasionado por el bajo número de individuos maduros presentes en este rodal, sin embargo el porcentaje de germinación de la semilla fue alto, posteriormente el

porcentaje de supervivencia y crecimiento de la planta fue superior, lo que hace sugerir que a pesar de ser poca la semilla que se produce en este rodal su calidad es superior.

El crecimiento mensual en diámetro fue mayor en las poblaciones de Tinajas y Cruz Alta, lo que les propició mejor índice de esbeltez; es decir las plantas de estas poblaciones mostraron mayor vigor, lo que puede asociarse a una mayor capacidad de establecimiento.

Considerando los efectos inminentes de la fragmentación de estas poblaciones), es importante empezar a implementar prácticas de manejo y conservación que ayuden a preservar este material genético de importancia económica. La selección de individuos superiores y posteriores ensayos de campo con un intercambio y enriquecimiento genético y en estas poblaciones como una estrategia de conservación de la especie.

LITERATURA CITADA

- Adams, W.T., and R. K. Campbell. 1981. Genetic adaptation and seed source specificity: In Reforestation of skeletal soil: Proceedings of a workshop. (S.D. Hoops and O.T. Helgerson, Eds.) USDA, Forest Service. Oregon State University. pp: 78-85.
- Aguilera R., M., A. Aldrete, T. Martínez T., y V. M. Ordáz Ch. 2016. Producción de *Pinus montezumae* Lamb. con diferentes sustratos y fertilizantes de liberación controlada. *Agrociencia* 50: 107-118.
- Allen, G. S., and J. N, Owens. 1972. The Life History of Douglas-fir. Canadian Forest Service. Ottawa, ON, 139 p.
- Alba L., J. 1996. Mejoramiento Genético Forestal en el Estado de Veracruz. Tesis de Maestría en Ecología Forestal. Centro de Genética Forestal, U.V. Jalapa, Ver. Mex. 30 p.
- Arriaga V., V. Cervantes, y A. Vargas M. 1994. Manual de reforestación con especies nativas. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 219 p.
- Benavides, M. H.M., M. O. Gazca G., S. F. López L., F. Camacho M., D.Y. Fernández G., M. P. Garza L., y F. Nepamuceno M. 2011. Crecimiento inicial de 12 procedencias de *Pinus hartwegii* Lindl. bajo condiciones de vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 2:5.
- Bonner, F. T. 1993. Análisis de Semillas Forestales. Traducido por D. A. Rodríguez T. Serie de Apoyo Académico N.º 47. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 35 p.
- Bonner, F. T., J. A. Vozzo, W. W. Elam, and S. B. Land. 1994. Tree Seed Technology Training Course. Instructor's Manual. General Technical Report SO-106. USDA Forest Service. New Orleans, Louisiana. 160 p.
- Borchert, R. 1991. Growth periodicity and dormancy. pp: 221-245. *In*: Tree Physiology. A. S. Raghavendra (Ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.

- Bramlett, D. L., E. W. Jr. Belcher, G. L. DeBarr, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware, and H. O. Yates III. 1977. Cone Analysis of Southern Pines: a Guidebook. General Technical Report 13. USDA, Forest Service. Asheville, N.C. 28 p.
- Caballero D., M. 1967. Efecto del tamaño de semilla y de tres tipos de sustrato en la germinación y desarrollo inicial de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Martínez. INIF. México. Boletín Técnico. pp:23.-25.
- Cain, M. D., and M. G. Shelton. 2000. Revisiting the relationship between common weather variables and loblolly-shortleaf pine seed crops in natural stands. *New Forests* 19(2): 187–204.
- Campbell, R. K. 1979. Genecology of Douglas-fir in a watershed in the Oregon Cascades. *Ecology* 60 (5): 1036-1050.
- Carrillo S., J., F. Patiño V., e I. Talavera A. 1980. El contenido de humedad en semillas de 7 especies de *Pinus* y una de *Abies* bajo almacenamiento y su relación con el porcentaje de germinación. *Ciencia Forestal* 5(24): 39-48.
- Castellanos-Acuña, D., C. Sáenz-Romero., R. Lindig-Cisneros., N. Sánchez-Vargas., P. Lobbit., y J. Montero-Castro. 2013. Variación altitudinal entre especies y procedencias de *Pinus pseudostrobus*, *P. devoniana* y *P. leiophylla*. ENSAYO DE VIVERO. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 19 (3): 399-411.
- Castilleja-Sánchez, P., P. Delgado-Valerio, C. Sáenz-Romero, and Y. Herrerías-Diego. 2016. Reproductive success and inbreeding differ in fragmented populations of *Pinus rzedowskii* and *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, two endemic Mexican pines under threat. *Forest* 7, 178. 7 p.
- Chevin, L. M., R. Lande, and G. M. Mace. 2010. Adaptation, plasticity, and extinction in a changing environment: towards a predictive theory. *Plos Biology* 8(4): 1-8.
- Copeland, L., and M. McDonald. 2001. Principles of Seed Science and Technology. 4a ed. Kluwer Academic Publishers. EUA. Pp:72-78.

- Cornelissen, J. H. C., B. Cerabolini, P. Castro- Díez, P. Villar- Salvador, G. Montserrat- Martí, J. P. Puyravaud, M. Maestro, M. J. A. Werger, and R. Aerts. 2003. Functional traits of woody plants: correspondence of species rankings between field adults and laboratory grown seedlings? *Journal of Vegetation Science* 14: 311-322.
- Czabator, F. J. 1962. Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science* 8: 386-396.
- Daniel, T. W., J. A. Helms, and F. S. Baker. 1982. *Principios de silvicultura*. McGraw - Hill. México. 492 p.
- Del Castillo, R. F., S. Acosta, and N. Sánchez-Vargas. 1995. Estudio ecológico preliminar de *Pinus chiapensis* en el estado de Oaxaca. Informe técnico. Secretaría de Desarrollo Social y Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca, Oaxaca. 160 p.
- Del Castillo, R. F., and S. Acosta. 2002. Ethnobotanical notes on *Pinus strobus* var. *chiapensis*. *Anales del Instituto de Biología, Serie Botánica* 73: 319-327.
- Del Castillo, R. F., S. Trujillo-Argueta, N. M. Sánchez-Vargas, and A. C. Newton. 2010. Genetic factors associated with population size may increase extinction risks and decrease colonization potential in a keystone tropical pine. *Evolutionary Applications* 4: 574-588.
- Donahue, J. K.; W. S. Dvorak & E. A. Gutiérrez. 1991. The distribution, ecology and gene conservation of *Pinus ayacahuite* and *Pinus chiapensis* in Mexico and Central America. CAMCORE. *Bulletin on Tropical Forestry*, 8:1-28.
- Duryea, M. L. 1984. Nursery cultural practices: impacts on seedlings quality. *In*: Duryea, M. L. and T. D. Landis (Eds.). *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. W. Junk Publishers. Oregon State University, Corvallis, OR. pp: 143-164.
- Dvorak, W. S., E. A. Gutiérrez, L. F. Osorio, L. van der Merwe, P. Kikuti, and J. K. Donahue. 2000. *Pinus chiapensis*. *In*: *Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species*. Central America & México Coniferous Resources Cooperative. pp: 35-53.

- Farjon, A., and C. N. Page. 1999. Conifers-status survey and Conservation action plan. IUCN/SSC Conifer Specialist Group: Cambridge, UK.
- Flores-López, C., G. Geada-López, J. López-Upton, y E. López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. Revista Forestal Baracoa 31 (2): 49-52.
- Flores-López, C., J. López-Upton, y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Agrociencia 39: 117-126.
- Frankham, R. 1988. Inbreeding and extinction: islands populations. Conservation Biology. 12: 665-675.
- Franiel, I., and K. Wieski. 2005. Leaf features of silver birch (*Betula pendula* Roth). Variability within and between two populations (uncontaminated vs Pb-contaminated and Zn-contaminated site). Trees 19: 81-88.
- Fuchigami, L. H., M. Hotze, and J. Weiser, C. 1977. The relationship of vegetative maturity to rest development and spring budbreak. Journal of the American Society Horticulture Science 102(4): 450-452.
- García H., R. 1998. Determinaciones físicas, biológicas y propagación en vivero de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, una especie sujeta a protección especial. Tesis Ing. Agrónomo en Sistemas de Producción Forestal. Instituto Tecnológico Agropecuario de Oaxaca No. 23. Oaxaca, Oax. 124 p.
- Gil G., A. 2013. Variación morfológica de poblaciones naturales remanentes de *Pinus chiapensis* de dos cuencas del estado de Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. 81 p.
- Hawley, R. C., and D. M. Smith. 1972. Silvicultura Práctica. Ediciones Omega, Barcelona, España. 544 p.

- Hellum, A. K. 1969. Variation in cotyledon number and seed weight in white spruce in Alberta. Proc. Th. Mtg. Comm. Forest Tree Breeding Canadian. Part 2: 65-67
- Hernández J., L., L. Mendizábal H., J. Alba L., E. Ramírez G., y H. Cruz J. 2014. Variación de conos de *Pinus chiapensis* (Mart.) Andresen procedentes de Atzalan, Veracruz, México. Foresta Veracruzana 16(1): 35-40.
- Hernández Z., L., A. Aldrete, V. M. Ordaz Ch., J. López U., y M. Á. López L. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. Agrociencia 48: 627-637.
- Hernández G., J. J. y T. Eguiluz P. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen de Oaxaca y Chiapas. Revista Chapingo 75: 25-33.
- Hermann, R. K. and D. P. Lavender. 1990. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco. In: R. Burns and B. H. Honkala (Eds.) Silvics of North America. Vol. 1 Conifers. USDA, Forest Service. Washington, D.C. pp: 527-540.
- Hoekstra, P. E., E. P. Merkel, and H. R. Powers. 1961. Production of Seeds of Forest Trees. USDA. Washington, D.C. pp: 227-232.
- ISTA, International Seed Testing Association. 1999. International Rules for Seed Testing. Seed Science & Technology Supplement. Zurich, Switzerland. 333 p.
- Juárez A., A., J. López U., J. J. Vargas H., y C. Sáenz R. 2006. Variación geográfica en la germinación y crecimiento inicial de plántulas de *Pseudotsuga menziesii* de México. Agrociencia 40 (6): 783-792.
- Karrfalt, R. P., and E. W. Belcher. 1977. Evaluation of seed production by cone analysis. Northeastern Forest Tree Improvement Conference. University of Maryland. Maryland, Georgia. pp: 84-89.

- Kolotelo, D., E. van Steenis, M. Peterson, R. Bennett, D. Trotter, and J. Dennis. 2001. Seed Handling Guidebook. Ministry of Forests, Tree Improvement Branch. British Columbia, Canada. 106 p.
- Kuser, J. E., and K. K. Ching. 1980. Provenance variation in phenology and cold hardiness of western hemlock seedlings. *Forest Science* 26(3): 463-470.
- Lavender, D. P. 1985. Bud dormancy. Pp: 7-15. *In: Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test.* Duryea M. L. (ed.). Workshop held October 16-18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, USA.
- Ledig, W. J. 1988. The conservation of diversity in forest trees; Why and how should genes be conserved? *Bioscience* 38: 471- 479.
- Littell, R. C., G. A. Milliken, W. W. Stroup, R. D. Wolfinger, and O. Schabenberger. 2006. SAS® for Mixed Models, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Littell, R. C., P. R. Henry, and C. B. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures using SAS procedures. *Journal of Animal. Science* 76: 1216-1231.
- López U., J., J. Jasso M., J. J. Vargas-Hernández, y J. C. Ayala S. 1993. Variación de características morfológicas en conos y semillas de *Pinus greggii*. *Agrociencia. Serie Recursos Naturales Renovables* 1(3): 81-95.
- López-Upton, J., and J. K. Donahue. 1995. Seed production of *Pinus greggii* Engelm. in natural stands in Mexico. *Tree Planters, Notes* 46: 1-10.
- López-Toledo, L., M. Heredia-Hernández, D. Castellanos-Acuña, A. Blanco-García, and C. Sáenz-Romero. 2017. Reproductive investment of *Pinus pseudostrobus* along an altitudinal gradient in western México: implications of climate change. *New Forests* 48: 467-481.
- Malagón L., M. 1990. Estudio de variación morfológica y de la germinación en cuatro procedencias de *Pinus greggii* Engelm. Tesis Profesional. ENEP. UNAM. 105 p.

- Mápula L., M., J. López Upton, J. J. Vargas H., y A. Hernández L. 2008. Germinación y vigor de semillas de *Pseudotsuga menziesii* de México. *Ra Ximhai* 4(1): 119-134.
- Mápula-Larreta, M., J. López-Upton, J. J. Vargas-Hernández, and A. Hernández-Livera. 2007. Reproductive indicators in natural populations of Douglas-fir in Mexico. *Biodiversity and Conservation*. 16: 727-742.
- Martínez C., N. 1998. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas, México. *Anales del Instituto de Biología, Serié Botánica* 62(2): 119-134.
- Mátyás, C., I. Berki, B. Czúcz, B. Gálos, N. Móricz, and E. Rasztoivits. 2010. Future of beech in Southern Europe from the perspective of evolutionary ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 6: 91–110.
- Mendizábal H., L., J. Alba L., L. Hernández J., E. Ramírez G., y M. Rodríguez J. 2015. Potencial de producción de semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Foresta Veracruzana* 17 (2): 47-52.
- Morales, V. M.G., C.A. Ramirez M., P. Delgado V., y J. López U. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1:2.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y-S. Park, K. H. Johnsen, and O. P. Rajora. 2000. Indicators of populations viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive Traits and Fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78: 928-940.
- Niembro R., A., y A. M. Fierros G. 1990. Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos. *In: Memoria. Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales*. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. Pp: 124-144.
- Perry, D. 1984. *Manual de Métodos de Ensayo de Vigor*. Madrid: Instituto nacional de semillas y plantas de vivero.

- Prieto R., J., y J. Martínez. A. 1993. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto Científico N° 1. INIFAP. Campo experimental “Valle del Guadiana”. Durango, Dgo. 18 p.
- Prieto R., J. A., J. A. Sigala., S. Pinedo L., J. L. García R., R. E. Madrid A., J. L. Pérez G, y J. M. Mejía B. 2009. Calidad de planta en los viveros forestales del estado de Durango. Publicación Especial No. 30. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. México. 81 p.
- Rehfeldt, G. E., M. Tchebakova N., I. Parfenova Y., R. Wykoff W., A. Kuzmina N, and I. Milyutin L. 2002. Intraspecific responses to climate in *Pinus sylvestris*. *Global Change Biology* 8: 912–929.
- Rehfeldt, G. E. 1994. Adaptation of *Picea engelmannii* populations to the heterogeneous environments of the intermountain west. *Canadian Journal Botanical* 72: 1197-1208.
- Rehfeldt, G. E. 1989. Ecological adaptations in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*): a synthesis. *Forest Ecology Management* 28: 203-215.
- Rehfeldt, G. E. 1988. Ecological genetics of *Pinus contorta* from the Rocky Mountains (USA): a synthesis. *Silvae Genetica* 37: 131-135.
- Rodríguez A., M., y B. Arteaga M. 2005. Índice de sitio para *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, en los estados de Puebla y Veracruz, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11: 39-44.
- Rodríguez L., R., y M. Capo A. 2005. Morfología de acículas y conos en poblaciones naturales de *Pinus arizonica* Engelm. *Ra Ximhai* 1: 131-152.
- Santiago O., T., V. Sánchez M., R. Monroy C., y S. García G. 2007. Manual de Producción de Especies Forestales Tropicales en Contenedor. INIFAP. CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto Técnico No. 44. Tezonapa, Ver. México. 73 p.
- SAS Institute. 2003. SAS version 9.0 for Windows. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.

- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna Silvestre. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario oficial de la federación. México, 30 de diciembre de 2010. pp: 1-78.
- Sivacioglu, A. y S. Ayan. 2008. Evaluation of seed production of scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orchard with cone analysis method. African Journal of Biotechnology 7(24):4393-4399
- Sokal, R. R., and F. J. Rohlf. 1981. Biometry: The Principles of Practice of Statistics in Biological Research. W. H. Freeman and Company. San Francisco. 776 p.
- Sorensen, F. C., and R. K. Campbell. 1997. Near neighbor pollination and plant vigor in coastal Douglas-fir. Forest Genetics 4: 149-157.
- Sorensen, F. C., and R. S. Miles. 1974. Self-Pollination on Douglas-fir and ponderosa pine seeds and seedlings. Silvae Genetica 23 (5): 135-138.
- Talavera A., I. 1987. Relación del tamaño del cono en la producción de semillas de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz., en cuatro localidades de su distribución natural. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. 62 p.
- Thompson, B. E. 1985. Seedling morphology: what you can tell by looking. In: M. L. Duryea (Ed.). Evaluating Seedling Quality: Principles, Procedures and Predictive Abilities of Major Tests. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, OR. pp: 59-71.
- Villar, R., J. Ruiz-Robledo., J. L. Quero., H. Poorter., F. Valladares, y T. Marañón. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. In: F. Valladares (Ed.). Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A. Madrid, España pp. 191-227.
- Villegas-Jiménez, D. E., G. Rodríguez-Ortiz., J. L Chávez-Servia., J.L. Enríquez-Del-Valle., y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2016. Variación del crecimiento en vivero entre procedencias de

Pinus pseudostrabus Lindl. Gayana. Botánica, 73(1): 113-123.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000100013>

Viveros-Viveros, H., A. R. Camarillo-Luna, C. Sáenz-Romero, y A. Aparicio-Rentería. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. Bosque 34: 173-179.

Viveros V., H., y J. J. Vargas H. 2007. Dormancia en yemas de especies forestales. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 13: 131-135.

Viveros, V. H., C. Sáenz R., J. López U., y J.J. Vargas H. 2005. Variación genética altitudinal en el crecimiento inicial de plantas de *Pinus pseudostrabus* Lindl. en campo. Agrocienza 39: 575-587.

Wang, B. S. P., J. A. Pitiel, and D. P. Webb. 1982. Environment and genetic factors affecting in tree and shrub seeds. *In*: Advances in Research and Technology of Seeds. Part 7. Pp: 87-135.

Yáñez M., O. 1981. Estudio de la variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Martínez de tres localidades de su distribución natural. Tesis Licenciatura. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo 173 p.

Young, A., T. Boyle, and T. Brown. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. Trends in Ecology & Evolution 11: 413-418.

Zamora S., C., y J. F. Castellanos B. 1999. Tecnología para la conservación de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. INIFAP, Campo Experimental Centro de Chiapas. Folleto Técnico Forestal. No 4. 24 p.

Zobel, B. J., y J. T. Talbert. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley and Sons. Nueva York. 505 p.