



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HÍDALGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA

**“DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE PROPAGACIÓN EN VIVERO
PARA LA CONSERVACIÓN DE *Pinus martinezii* Larsen”**

Tesis que para obtener el Grado de:

Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera

Presenta:

JESÚS MORALES HERNÁNDEZ

Asesor: Doctor en Ciencias Biológicas *Jorge Enrique Ambriz Parra*

Co-asesor: Doctor en Ciencias Forestales *José Cruz de León*

Asesora externa: Doctora en Ciencias Biológicas *Mariela Gómez*

Morelia, Michoacán, México Agosto de 2014



DEDICATORIA

A Dios, por ser nuestro creador, amparo y fortaleza cuando más lo necesitamos, por brindarnos la dicha de la salud y bienestar.

A mis padres, Leticia del Carmen Hernández Martínez y Álvaro Morales Gómez por su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos, sacrificios y alegrías; para quienes no tengo palabras para expresarles todo mi amor, todo lo que soy como persona se los debe a ustedes.

A mis hermanos: Josué, Fidel, Susana, Fernando y Socorro, por el amor y cariño, y por sus valiosos consejos que me han dado siempre.

A Norma, por alentarme a seguir adelante sin importar las adversidades y por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH).

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Al Consejo nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo en el financiamiento de la maestría.

A la Dra. Mariela Gómez Romero, por su gran apoyo en la revisión y redacción de esta tesis. Para quién no tengo palabras para agradecerle su disposición incondicional.

Al Dr. Jorge Enrique Ambriz Parra, por su paciencia, comprensión y sobre todo el gran apoyo brindado durante la elaboración de esta tesis.

Al Dr. José Cruz de León, por sus sugerencias y apoyo en el presente trabajo.

A los integrantes de la mesa revisora: al Dr. Crisanto Velázquez Becerra, al Dr. Héctor Javier Anselmo Villegas Moreno por su revisión y contribución al manuscrito.

ÍNDICE

Página

GLOSARIO.....	vi
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
2.1 La riqueza biológica de México.....	3
2.2 Conservación <i>ex situ</i>	6
2.2.1 Plantaciones.....	6
2.2.2 Jardines botánicos.....	8
2.2.3 Bancos de germoplasma.....	8
2.2.4 Laboratorios de cultivo de tejidos vegetales.....	9
2.2.5 Principales ventajas y desventajas de la conservación <i>ex situ</i>	9
2.3 Conservación <i>in situ</i>	10
2.3.1 Las Áreas Naturales Protegidas (ANP).....	11
2.3.2 Las Áreas Naturales Protegidas en México.....	13
2.3.3 Las Áreas Naturales Protegidas de carácter federal en el estado de Michoacán.....	14
2.3.4 Las Áreas Naturales Protegidas de carácter estatal.....	14
2.3.5 Principales ventajas y desventajas de la conservación <i>in situ</i>	15
2.4 Estudios enfocados a tratamientos pregerminativos en semillas de <i>Pinus</i>	18
2.5 Estudios realizados sobre la utilización de sustratos en el desempeño de <i>Pinus</i>	19
2.6 Estudios realizados sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA) en <i>Pinus</i>	20
III. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE.....	22
3.1 Descripción de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	22
3.2 Distribución de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	22
IV. JUSTIFICACIÓN.....	24
V. OBJETIVOS.....	25
5.1 Objetivo general.....	25
5.2 Objetivos particulares.....	25
VI. Hipótesis.....	25

VII. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
VIII. RESULTADOS	31
8.1 Caracterización de las semillas.....	32
8.2 Tratamientos pregerminativos.....	33
8.3 Parámetros fisiológicos por el método no destructivo	37
8.3.1 Crecimiento en altura de <i>P. martinezii</i>	37
8.3.2 Diámetro a la altura de la base (DAB) de <i>P. martinezii</i>	40
8.3.3 Cobertura de <i>P. martinezii</i>	43
8.4 Supervivencia	47
8.5 Parámetros fisiológicos por el método destructivo en biomasa aérea	49
8.6 Parámetros fisiológicos por el método destructivo en biomasa de raíz	50
8.7 Uso efectivo del agua	53
IX. DISCUSIÓN	54
9.1 Caracterización macroscópica de las semillas.....	54
9.2 Germinación y tratamientos pregerminativos.....	56
9.3 Crecimiento y supervivencia de <i>P. martinezii</i>	59
9.4 Supervivencia de <i>P. martinezii</i>	61
9.5 Relación parte aérea/raíz de <i>P. martinezii</i>	63
9.6 Crecimiento de raíz de <i>P. martinezii</i>	65
9.7 Longitud específica de raíz	65
9.8 Uso Efectivo del Agua (UEA).....	66
X. CONCLUSIONES	68
XI. RECOMENDACIONES	69
11.1 Estrategia de propagación de <i>Pinus martinezii</i> a nivel de vivero.....	69
XII. BIBLIOGRAFÍA	70
XIII. ANEXOS.....	81

GLOSARIO

ANOVA: Análisis de Varianza por sus siglas en inglés

ANP: Áreas Naturales Protegidas

CDB: Convenio sobre la Diversidad Biológica

CIEco: Centro de Investigaciones en Ecosistemas

Coevolución: Adaptación evolutiva mutua producida entre dos o varias especies de seres vivos como resultado de su influencia recíproca por relaciones como la simbiosis, el parasitismo, la competencia, la polinización, el mimetismo o las interacciones entre presa y depredador.

COFOM: Comisión Forestal del Estado de Michoacán

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

DAB: Diámetro a la Altura de la Base

DOF: Diario Oficial de la Federación

EMCEV: Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales

EUA: Eficiencia en el Uso del Agua

FITECMA: Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

LACOPREMA: Laboratorio de Conservación y Preservación de la Madera y del Medio Ambiente

LEGEEPA: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

LER: Longitud Específica de Raíz

Neártica: Es una de las siete zonas terrestres que dividen la superficie de la Tierra. La zona del neártico cubre la mayoría de Norteamérica, incluyendo Groenlandia y el centro y norte de México.

Neotropical: Es una de las siete grandes territorios florales, en que se divide a la tierra por presentar una vegetación en común, esta región abarca territorios desde el sur de América del Norte, gran parte de Centroamérica, el Caribe y casi toda Sudamérica.

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

PROAM: Procuraduría de Protección al Ambiente

Regiones biogeográficas: Se llama regiones biogeográficas a las áreas en las que se divide la Biósfera y en las que, por la existencia de unas características geoclimáticas concretas, la fauna y flora de cada área son únicas.

SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Taxa: Grupo de organismos emparentados, que en una clasificación dada han sido agrupados, asignándole al grupo un nombre en latín y una descripción si es una especie.

UEA: Uso Efectivo del Agua

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Instituciones Mexicanas que manifestaron llevar a cabo acciones de conservación <i>ex situ</i> relacionadas con recursos genéticos forestales.....	9
Cuadro 2. Cobertura territorial de las áreas naturales protegidas en México.....	15
Cuadro 3. Áreas Naturales Protegidas federales en el Estado de Michoacán.....	16
Cuadro 4. Áreas Naturales Protegidas estatales en el Estado de Michoacán.....	17
Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos aplicados a semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen....	28
Cuadro 6. Sustratos empleados para el crecimiento de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	29
Cuadro 7. Número de conos, número y peso de las semillas colectadas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	33
Cuadro 8. Valor promedio de las características macroscópicas de las semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen, tales como peso, largo, ancho y grosor de la semilla.....	34
Cuadro 9. Resultados del análisis de varianza de una vía aplicada para la germinación de semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen, empleando diferentes tratamientos pregerminativos.....	36
Cuadro 10. Coeficiente de correlación de Pearson de la germinación y las características macroscópicas de las semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	38
Cuadro 11. Análisis de varianza de dos vías aplicada al crecimiento en altura de <i>Pinus martinezii</i> Larsen, por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.....	40
Cuadro 12. Análisis de varianza de dos vías aplicada al diámetro a la altura de la base (DAB) de <i>Pinus martinezii</i> Larsen, por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.	43
Cuadro 13. Análisis de varianza de dos vías aplicada a la cobertura de <i>Pinus martinezii</i> Larsen, por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.....	46

Cuadro 14. Análisis de varianza de dos vías aplicada a la biomasa aérea en plantas de *Pinus martinezii* Larsen, a los 240 días. Los parámetros considerados son altura de la planta, peso fresco y seco de la parte aérea.....52

Cuadro 15. Análisis de varianza de dos vías aplicada a la biomasa de raíz en plantas de *Pinus martinezii* Larsen, a los 240 días. Los parámetros considerados son longitud, peso fresco y seco de raíz..... 53

Cuadro 16. Análisis de varianza de dos vías aplicada a la longitud específica de raíz, volumen de raíz y la relación parte aérea/raíz en plantas de *Pinus martinezii* Larsen, a los 240 días.....54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de <i>Pinus martinezii</i> Larsen (A) y algunas partes características como: corteza (B), hojas y cono (C) y semillas (D).....	24
Figura 2. Método de determinación del régimen de riego en los sustratos de aserrín-fibra de agave, turba-agrolita y creci root.....	30
Figura 3. Tratamientos pregerminativos en semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	35
Figura 4. Velocidad de germinación en semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo bajo diferentes tratamientos pregerminativos.....	36
Figura 5. Germinación por árbol en semillas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen con el tratamiento pregerminativo de estratificación.	37
Figura 6. Altura de planta de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego: Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml, Alto: 40 ml.....	41
Figura 7. Altura de planta de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave.....	41
Figura 8. Altura de planta de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en la interacción riego-sustrato.....	42
Figura 9. Diámetro a la altura de la base (DAB) de planta de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego: Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml y Alto: 40 ml.....	44
Figura 10. Diámetro a la altura de la base (DAB) de plantas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave.....	44
Figura 11. Diámetro a la altura de la base (DAB) de plantas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en la interacción riego-sustrato.....	45
Figura 12. Cobertura de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego. Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml, Alto: 40 ml.....	47

Figura 13. Cobertura de <i>Pinus martinezii</i> Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave.....	48
Figura 14. Cobertura de <i>Pinus martinezii</i> Larsen en la interacción riego-sustrato a través del tiempo.....	48
Figura 15. Supervivencia de plantas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen en los tres niveles de riego: bajo: 10 ml, medio: 25 ml, alto: 40 ml.....	49
Figura 16. Supervivencia de plantas <i>Pinus martinezii</i> Larsen en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave a los 240 días.....	50
Figura 17. Supervivencia de <i>Pinus martinezii</i> Larsen en la interacción sustrato-riego a los 240 días. T-A: turba-agrolita; A-F: aserrín-fibra de agave.....	51
Figura 18. Promedio de la biomasa producida en base a la cantidad de agua adicionada en plantas de <i>Pinus martinezii</i> Larsen.....	56

DESARROLLO DE ESTRATEGIAS DE PROPAGACIÓN EN VIVERO PARA LA CONSERVACIÓN DE *Pinus martinezii* Larsen.

RESUMEN

El presente estudio se realizó con la finalidad de obtener un método de germinación y propagación en vivero de *P. martinezii*, conocida como pino tarasco o pino coyote en Michoacán. Dicha especie, es de importancia tanto ecológica como económica y se encuentra registrada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica sujeta a protección especial, debido a su escasa distribución y reducidas poblaciones. Por lo que es necesario protegerla y desarrollar alternativas que promuevan su conservación. Se realizaron visitas a las poblaciones más representativas donde se encuentra reportada esta especie para la colecta de semillas y se observó que en tres años consecutivos no hubo producción de conos en esta especie en las localidades visitadas, excepto en Los Azufres donde se realizó la colecta de las semillas. En este estudio se consideraron características macroscópicas de las semillas (peso y tamaño de semilla), tratamientos pregerminativos, variables de crecimiento (altura, DAB y cobertura), biomasa (peso fresco, peso seco), sobrevivencia y uso efectivo del agua (UEA). Los resultados mostraron que las semillas de *P. martinezii* de la localidad de Los Azufres se pueden considerar de tamaño medio y respecto a la germinación, el tratamiento de estratificación favoreció considerablemente la velocidad de germinación, además la correlación de Pearson de las características macroscópicas y la germinación por árbol no fue significativa con ninguna característica. En cuanto a las variables de crecimiento, éstas variaron en relación al nivel de riego, al sustrato y a la interacción de ambos factores, observando que esta especie tuvo mejor desempeño en el sustrato a base de turba-agrolita con riego medio, sin embargo, en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave hubo una mayor sobrevivencia. En relación al UEA, el pino tarasco tiene un uso efectivo del agua, ya que al disminuir la humedad, este pino incrementa su biomasa, este patrón se pudo observar en los dos sustratos. Todos estos elementos permitieron obtener la estrategia de germinación y propagación de *P. martinezii*.

Palabras clave: Conservación, estratificación, germinación, *Pinus martinezii*, propagación.

PROPAGATION STRATEGIES DEVELOPMENT TO NURSERY FOR THE *Pinus
martinezii* Larsen CONSERVATION

ABSTRACT

This study was performed to obtain a germination and propagation method in nursery of *P. martinezii*, which is known as tarasco pine or coyote pine in Michoacán. The species is both ecologically and economically important and is registered in the Mexican Official Standard (NOM-059-SEMARNAT-2010), like an endemic species and special protection subject, by the way, are limited and small populations distribution. So it is necessary to protect and develop alternatives for conservation promote. Visits to the most representative populations were where this species is reported for the seeds collection and it was noted that there was no production of this species at the locations visited in three consecutive years. Except in “Los Azufres” where took place the seeds collection. In this study we considered seeds macroscopic characteristics (seeds size and weight), pregerminative treatments, growth variables (height, DAB and coverage), biomass (fresh weight, dry weight), survival and effective use of water (UEA). The results showed that *P. martinezii* seeds of town of Los Azufres can be considered of medium size. The stratification treatment favored significantly the germination rate. Also the Pearson correlation of the macroscopic characteristics and germination per tree was not significant with any characteristic. In terms of growth variables, these varied in relation to the irrigation level, the substrate and the interaction of both factors, noting that this species had the best performance in the substrate based on peat-perlite with medium irrigation. However, in the substrate based on agave fiber-sawdust, there was a greater survival. In relation to the UEA, tarasco pine has an effective water use, to reduce moisture, this pine increases its biomass, this pattern was observed in both substrates. All these elements allowed to obtain the germination and propagation strategy of *P. martinezii*.

Key words: Conservation, stratification, germination *Pinus martinezii*, propagation

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro país cuenta con una gran diversidad de recursos forestales distribuidos a través de las comunidades vegetales existentes. La ubicación y la forma del territorio mexicano revisten características de interés en la gran diversidad ecológica a lo largo de su superficie (Rzedowski, 2006). La compleja fisiografía del país ha favorecido el desarrollo de aproximadamente 35 mil especies de plantas, de las cuales 2,500 especies son arbóreas y conforman el dosel superior de los bosques, cuyas características difieren en estructura y composición. Sin embargo, dichos recursos se encuentran en peligro de desaparecer ya que cada vez se está ejerciendo más presiones de tipo social y económico, que aunado a los agentes de destrucción natural significarán pérdidas irreversibles de muchos de los elementos que forman nuestros ecosistemas (Toledo *et al.*, 1989).

La cubierta vegetal de México es una de las más ricas y variadas del planeta; dentro de los bosques de coníferas en México, los pinos son catalogados como el primer género de árboles en distribución y área, de hecho, México ocupa el primer lugar en diversidad de especies del género *Pinus*, el género de mayor importancia económica como ecológico en el país (Vargas, 2003; Sáenz-Romero *et al.*, 2003). El género *Pinus* incluye aproximadamente 110 especies, de las cuales alrededor del 50% se encuentran en México, haciendo de este país el de mayor diversidad de este género en el mundo (Ortíz *et al.*, 2008). Mientras que a nivel estatal existe el 35% de las especies reportadas a nivel nacional, y conjuntamente con otras coníferas se agrupan en cuatro familias, seis géneros y 22 especies, con tres variedades y tres formas (COFOM, 2000). Dentro de estas especies se encuentra *Pinus martinezii* Larsen. Dicha especie, además de tener importancia ecológica es de importancia económica y se encuentra registrada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica sujeta a protección especial, debido a su escasa distribución y reducidas poblaciones.

La especie *P. martinezii* Larsen, conocida como pino tarasco en Michoacán, es una especie de importancia forestal que está seriamente amenazada por el deterioro ambiental, por lo que es necesario desarrollar alternativas que promuevan su conservación. A pesar de la importancia que posee y de la situación de riesgo en que se encuentra esta especie, hasta donde se tiene conocimiento, es muy escasa la información respecto a la biología de *P. martinezii*, sin

embargo, existen algunas investigaciones relacionadas con su distribución, ecología y aspectos analíticos de la madera y sitios potenciales para su establecimiento. Pero información sobre su germinación, crecimiento y establecimiento de plántulas, prácticamente es nula. Por ello, es necesario realizar estudios que permitan un mejor entendimiento de las condiciones que determinan su distribución y así, contribuir con el desarrollo de herramientas que permitan un manejo adecuado en su condición de especie en riesgo y diseñar algunas estrategias para su reintroducción. Por lo tanto, en esta investigación se pretende desarrollar una estrategia que permita incrementar la germinación y el crecimiento de *P. martinezii* Larsen.

El presente estudio se realizó con la finalidad de desarrollar una estrategia de germinación y propagación en vivero para la conservación de *P. martinezii*, conociendo la viabilidad y las características macroscópicas de las semillas, características de germinación y de crecimiento en diferentes sustratos y niveles de riego. Los resultados mostraron que las semillas varían inter-población y se pueden considerar de tamaño mediano, estas características son de gran utilidad para la descripción de esta especie, no así para describir el comportamiento ante las reducidas poblaciones. En *P. martinezii* el tratamiento pregerminativo que aceleró la velocidad de germinación fue la estratificación y se pudo observar una pérdida de viabilidad a través del tiempo. También se observó que las características macroscópicas evaluadas en semillas de *P. martinezii* aparentemente no tienen relación con la germinación. En cuanto al crecimiento de las plantas se observó que esta especie tiene un mejor desempeño en el sustrato a base de turba-agrolita con riego medio. Mientras que la sobrevivencia fue afectada de forma significativa por los sustratos. A pesar de que esta especie tuvo mayor crecimiento en el sustrato a base de turba-agrolita se podría considerar el sustrato a base de aserrín-fibra de agave en producción a gran escala debido a que tiene una mayor sobrevivencia. Independientemente del sustrato, en esta especie se observó que al tener una limitación de agua ésta incrementa la eficiencia en el uso del agua, lo cual se pudo observar en ambos sustratos. Todos estos elementos permitieron el desarrollo de una estrategia de germinación y propagación en vivero que pueda aportar información para la conservación de *Pinus martinezii*. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio contribuyen al conocimiento sobre la propagación de *P. martinezii*, ya que es una especie registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica sujeta a protección especial y hasta donde se tiene conocimiento, la información sobre su manejo integral es prácticamente nula.

II. ANTECEDENTES

2.1 La riqueza biológica de México

Debido a su ubicación latitudinal, en la República Mexicana se sobreponen y entrelazan dos grandes regiones biogeográficas: la neártica y la neotropical. A esta condición se suman una compleja historia geológica, una accidentada topografía y una amplia variedad de condiciones fisiográficas y climáticas, lo que explica la enorme variedad de condiciones ambientales que hacen posible la excepcional riqueza biológica de México (Conabio, 2000, Rzedowski, 2006). Por esta razón, México ha sido considerado como uno de los países de mayor biodiversidad en el mundo (Conabio, 2000). Toda esta cubierta vegetal provee alimento y trabajo para los habitantes de las distintas regiones, sin embargo, éstos son escasamente valorados.

Dentro de la amplia gama de servicios que ofrecen los ecosistemas se encuentran la producción de oxígeno y la eliminación del dióxido de carbono atmosférico, la creación y estabilización de suelos, la protección de cuencas hidrográficas y el suministro de los recursos naturales, incluyendo los alimentos, fibra, combustible, vivienda y medicinas. La disminución de la diversidad vegetal se debe a una serie de factores inducidos por la actividad humana, como el cambio climático, la transformación y pérdida de hábitats, la sobreexplotación, la introducción de especies exóticas invasoras y la contaminación. Evitar la desaparición de esta riqueza biológica es uno de los grandes retos para la comunidad global; detener la destrucción de la diversidad de plantas es esencial para garantizar las necesidades presentes y futuras de la humanidad. Si esta pérdida no se detiene, podemos perder una gran cantidad de oportunidades para el desarrollo de nuevas soluciones a los problemas económicos, ambientales, de salud e industriales en el futuro (García *et al.*, 2010).

Como respuesta a esta situación de deterioro ambiental, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) convocó a un Grupo Especial de Expertos sobre la Diversidad Biológica en noviembre de 1988, con el objeto de explorar la necesidad de un convenio internacional sobre la diversidad biológica. Durante la Conferencia Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo realizada en Rio de Janeiro en 1992, se abordó un tema medioambiental fundamental que implicó el desarrollo de un convenio global sobre protección internacional de la biodiversidad, el resultado de esta reunión fue de una iniciativa mundial

para hacer frente a la pérdida de la diversidad vegetal y se propuso una Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales (EMCEV) en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), (CDB, 2014). La Estrategia Mundial para la Conservación de las Especies Vegetales, cuyo objetivo es detener la pérdida actual y continua de la diversidad vegetal, ha proporcionado una base sólida para el progreso real y significativo en la conservación de las plantas en todo el mundo. Desde su adopción, la estrategia mundial ha estado implementando una serie de iniciativas en todo el mundo a través de una combinación de acciones locales, nacionales e internacionales (FAO, 2013).

El convenio aborda el tema del desarrollo mundial sustentable, para el cual es imprescindible la conservación de la diversidad biológica y el aprovechamiento de los recursos sin agotarlos. De igual modo, expresa la idea de una relación entre la actividad humana y el mundo natural, y la necesidad de preservar los organismos vivos, la diversidad genética y la integridad de los ecosistemas. El convenio crea oportunidades para que los mexicanos reexaminemos nuestra relación con la naturaleza, impulsemos nuevas asociaciones con un enfoque cooperativo e intersectorial a distintas escalas (mundial, regional, nacional y local), y fomentemos nuevas oportunidades económica, social y ecológicamente sustentables.

Los tres objetivos del Convenio son:

- a) La conservación de la biodiversidad
- b) El aprovechamiento sustentable de los recursos
- c) El reparto justo y equitativo de los beneficios que resulten del aprovechamiento de los recursos genéticos.

El gobierno mexicano firmó el Convenio y lo ratificó el 11 de marzo de 1993, al suscribir al convenio, nuestro país se comprometió a formar parte de un esfuerzo global para proteger hábitats, especies y genes, buscar formas sustentables de uso de los recursos, y adecuar su política, su economía y su administración a fin de garantizar que los beneficios obtenidos del aprovechamiento de los ecosistemas, especies y recursos genéticos, sean distribuidos equitativamente entre las sociedades locales, regionales, nacionales y globales, según corresponda (Conabio, 2000).

Los gobiernos a nivel mundial, han generado un incremento en la creación de instituciones y organizaciones con un enfoque hacia la conservación, además de un aumento en tratados y otros instrumentos que orientan las políticas sobre conocimiento, conservación y uso sostenible de la biodiversidad. En este sentido, los gobiernos han formulado estrategias y planes nacionales de acción para la conservación de la biodiversidad, como un mecanismo para dar cumplimiento a los objetivos del Convenio.

Entre las acciones de nuestro país se creó la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). La CONABIO fue creada en 1992, con el propósito de coordinar las acciones y los estudios relacionados con el conocimiento y preservación de las especies, así como promover y fomentar actividades de investigación científica para explorar, estudiar, proteger y utilizar la diversidad biológica de México (ecosistemas, especies y genes), con el fin de conservar los recursos biológicos del país y proponer criterios para su manejo sustentable (Villaseñor, 2005). Mientras que la CONANP inicio en junio del 2000 como órgano desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), encargado de la administración de las Áreas Naturales Protegidas para conservar el patrimonio natural de México y los procesos ecológicos, asegurando una adecuada cobertura y representatividad biológica. Así como, promover el uso de los ecosistemas, sus bienes y servicios, con criterios de sustentabilidad, involucrando a los grupos indígenas y rurales en el diseño, propiedad y operación de actividades productivas.

La conservación es una disciplina dedicada a la preservación, rescate, mantención, estudio y utilización del patrimonio que representa la biodiversidad y puede realizarse en dos modalidades: *in situ* y *ex situ*. Estas dos modalidades son complementarias y permiten garantizar la conservación del patrimonio genético de las especies y sus poblaciones, en el mediano y largo plazo. (Squeo *et al.*, 2001).

La conservación tanto de la flora como de la fauna se desarrolla en dos formas básicas: dentro del hábitat natural o conservación *in situ* y fuera del mismo, es decir, conservación *ex situ*. La conservación *ex situ*, en cautiverio o en colecciones, es la aplicación de una amplia variedad de recursos, técnicas e infraestructuras especializadas que contribuyen a la recuperación y sobrevivencia de individuos o poblaciones fuera de su hábitat (Lascuráin *et al.*, 2009).

2.2 Conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* se define como la conservación de muestras genéticamente representativas de las especies o cultivos, que se mantienen viables a través del tiempo, fuera de sus hábitats naturales o lugares de cultivo, en ambientes controlados y con el apoyo de tecnologías adecuadas (Hidalgo, 1994). Se considera como formas más importantes de conservación *ex situ* a los bancos de germoplasma (semillas, genes, polen o tejidos), plantaciones, jardines botánicos, colecciones vivas (jardines, reservas privadas, colecciones privadas).

En general, los esfuerzos para la conservación *ex situ* se han desarrollado en dos vertientes independientes entre sí: la flora y la fauna. La primera incluye los jardines botánicos, los recursos genéticos forestales (semilleros, plantaciones y bancos de semillas) y recientemente los laboratorios de cultivo de tejidos. La segunda la han desarrollado sobre todo zoológicos, acuarios y criaderos, y en menor grado bancos de semen, óvulos y embriones. Por otro lado, existen grupos de organismos que, por su biología particular, requieren un tipo especial de infraestructura y técnicas para su conservación. Es el caso de levaduras marinas, microalgas, cepas de hongos, cianobacterias, dinoflagelados marinos, líquenes y briofitas, entre otros. Recientemente se han incrementado colecciones *ex situ* de ADN como herramientas para el análisis genético, que al igual que los ejemplares de un museo o de un herbario constituyen valiosos recursos para la investigación, sin fines de propagación o reproducción (Frankel y Soulé, 1992).

2.2.1 Plantaciones

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) manifiesta poseer plantaciones de conservación establecidas en el país, dentro de las cuales participan 21 instancias que desarrollan proyectos de conservación *ex situ*. Algunas instituciones como la CONAFOR, INIFAP y Universidades como la Universidad Veracruzana, Universidad Autónoma Chapingo, Colegio de Posgraduados, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (Cuadro 1) manifestaron llevar a cabo acciones de conservación *ex situ* relacionadas con recursos genéticos forestales (Lascuráin, *et al.* 2009).

Cuadro 1. Instituciones Mexicanas que manifestaron llevar a cabo acciones de conservación *ex situ* relacionadas con recursos genéticos forestales.

Institución	Acción
Comisión Nacional Forestal	30 bancos de semillas distribuidos en todo el territorio nacional. Plantaciones de diversas especies en todo el país.
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).	Diversas plantaciones en sus campos experimentales. Se incluye arboreta, ensayo de especies y procedencias. Diversas colecciones como maíz y otros.
Centro de Genética Forestal, A.C.	Establecimiento de 12 ensayos de procedencias, principalmente con especies de coníferas, pero no tubo seguimiento.
Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana.	15 huertos semilleros y ensayos de procedencia/progenie en el estado de Veracruz, sobre todo con especies de coníferas y algunas latifoliadas.
Universidad Autónoma Chapingo	Un arboretum en su campus con más de 23 especies de pinos mexicanos. Un banco nacional de germoplasma y plantaciones en sus centros regionales de 50 razas de maíz.
Colegio de Postgraduados	Cinco huertos semilleros y ensayos de procedencia/progenie con coníferas
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	Establecimientos de huertos semilleros y ensayos de procedencia/progenie, sin precisar el número
Universidad de Guadalajara	Un huerto semillero
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Trabajos de conservación <i>ex situ</i> con especies de coníferas, sin precisar detalles.
Universidad de Tlaxcala	Conservación <i>ex situ</i> con diversas especies sin precisar cuales

Hasta nuestro conocimiento en Michoacán no se practican plantaciones con fines de conservación, pero si existen plantaciones con fines comerciales.

2.2.2 Jardines botánicos

Un jardín botánico se define como una institución que mantiene colecciones documentadas de plantas vivas con el propósito de realizar investigación científica, conservación, exhibición y educación. Algunas de las características y funciones propias de un jardín botánico son: que las plantas estén adecuadamente etiquetadas, que el jardín mantenga comunicación con otros jardines botánicos, organizaciones y público en general, que esté abierto al público y asuma la responsabilidad y compromiso a largo plazo para el mantenimiento de las colecciones de plantas (Bacchetta *et al.*, 2008).

Se tienen registrados 51 jardines botánicos oficiales en el país, que efectúan programas de investigación, educación, conservación y que mantienen colecciones documentadas. Algunos de ellos tienen un alto nivel de reconocimiento regional, nacional e internacional, como los casos del Jardín Botánico del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México; el Jardín Botánico El Charco del Ingenio, San Miguel de Allende, Guanajuato; el Jardín Botánico Regional de Cadereyta Manuel González de Cosío, del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro y el Jardín Botánico de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Estos jardines incluyen colecciones de plantas de especies nativas y otras de interés científico, alimenticio, medicinal ornamental o por estar bajo alguna categoría de riesgo (Lascuráin, *et al.* 2009).

2.2.3 Bancos de germoplasma

Actualmente la CONAFOR cuenta con 37 bancos de germoplasma forestal para el almacenamiento a mediano plazo y 17 centros de almacenamiento temporales de germoplasma forestal. En estas instalaciones se cuenta con personal técnico capacitado, equipos e instrumental necesario para la conservación y la valoración física y fisiológica de las semillas.

Para el caso del Estado de Michoacán el Banco de Germoplasma de la Comisión Forestal del Estado se encuentra Ubicado en el Vivero José María Morelos de la ciudad de Morelia, junto a las canchas de fútbol ubicadas frente a las oficinas de Policía y Tránsito. El cual cuenta con las instalaciones adecuadas para benefició de semilla de diferentes especies, cuenta con laboratorio para análisis de la calidad fisiológica de la semilla, para lo cual se siguen los protocolos del la Asociación Internacional de Análisis de Semillas (International Seed Testing

Association, ISTA), y tienen una cámara fría con capacidad para 7 toneladas de semillas (COFOM, 2014). Las especies forestales que se manejan son procedentes de las diferentes regiones del Estado teniendo un inventario actual con 51 especies donde se priorizan las especies nativas (Anexo 3), estas especies pueden variar dependiendo de los programas que se manejen y las especies solicitadas por las Comisión Nacional Forestal para sus programas de reforestación.

2.2.4 Laboratorios de cultivo de tejidos vegetales

En nuestro país, estos laboratorios almacenan tejidos reproductivos y somáticos, los cuales contribuyen en menor o mayor medida a la conservación *ex situ*, debido a que representan recursos de gran relevancia y disponibles para la conservación, la investigación y la formación de recursos humanos. Algunas instituciones de investigación y universidades cuentan con este tipo de laboratorios, por ejemplo, el Centro de Investigación Científica de Yucatán, en Mérida; la Universidad Autónoma de Morelos; el Centro de Investigación en Biotecnología, en Cuernavaca, Morelos; el Instituto de Ecología, A.C., en Xalapa, Veracruz; la Universidad Autónoma de Aguascalientes, el Centro de Ciencias Básicas en Aguascalientes; el Jardín Botánico del Instituto de Biología y el Instituto de Química, pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de México, en la Ciudad de México, entre otros (Lascuráin, *et al.* 2009). Y en Morelia el Instituto Nacional de Investigaciones sobre los Recursos Naturales y el Laboratorio de Biotecnología vegetal del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

2.2.5 Principales ventajas y desventajas de la conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* contribuye significativamente a la conservación de especies en peligro de extinción, lo cual es la ventaja primordial de este método. Sin embargo, cabe mencionar que la conservación *ex situ* tiene problemas intrínsecos, como la pérdida de variabilidad genética, al igual que una reducida capacidad de adaptación al medio silvestre conforme las generaciones permanecen fuera de su entorno natural. Además, el mantenimiento de las especies requiere instalaciones adecuadas y de personal especializado; esto hace que la conservación *ex situ* sea un método costoso, pero en muchos casos indispensable. En el caso de las plantaciones la pérdida de variabilidad genética y la capacidad de adaptación al medio

es menos pronunciada ya que ésta se encuentra expuesta a los cambios del medio ambiente, por otro lado, no se necesita personal especializado para el manejo de las mismas y a demás no es tan costoso (Hidalgo, 1994).

Las actividades de conservación, muchas se orientan a la reproducción y propagación de especies en riesgo, sin embargo, los resultados todavía son limitados ante las urgentes necesidades de recuperación. Los centros *ex situ* de fauna mantienen pocos registros, mientras que los dedicados a la flora es una prioridad contar con una documentación adecuada para participar en programas de recuperación de especies. Las colecciones vivas de flora, fauna y microorganismos son medios que facilitan la investigación científica, sin embargo, son pocos los trabajos de investigación publicados, por lo que hay escasa documentación que revele su aplicación y vinculación con la conservación (García *et al.*, 2010).

Una conservación efectiva y eficiente, requiere aplicar la conservación *ex situ*, en bancos de germoplasma, con la conservación *in situ*, en los hábitats de las especies. La conservación *ex situ* aseguraría la variabilidad genética de las especies en el tiempo y la conservación *in situ*, permitiría la evolución y la coevolución natural de las especies. La integración de los sistemas de conservación en los planes de desarrollo sustentable regional, con la participación de las comunidades locales, permitirían garantizar la conservación de la biodiversidad en el tiempo y su aprovechamiento sostenible al otorgar nuevas alternativas para el desarrollo (Squeo *et al.*, 2001).

2.3 Conservación *in situ*

El Convenio sobre la Diversidad Biológica, define que la conservación *in situ* es la conservación, mantención y recuperación de poblaciones viables en sistemas dinámicos y evolutivos del hábitat original o, en el caso de especies cultivadas, en el entorno en que hayan desarrollado sus características. Este tipo de conservación se da principalmente por la protección de ecosistemas mediante la creación de áreas naturales protegidas que sustentan una gran riqueza de hábitats y especies. La conservación *in situ* de la diversidad biológica se realiza en las áreas en que ésta ocurre naturalmente, procurando mantener la diversidad de los organismos vivos, sus hábitats y las interrelaciones entre los organismos y su ambiente (Spellerberg and Haldes, 1992).

Una de las estrategias para la conservación de la biodiversidad ha sido la protección de especies particulares, que por su tamaño y valor cultural, han tenido importancia política, económica o estética. Otra estrategia es la conservación de ambientes que presentan una extensión o distribución restringida y que contienen especies biológicas exclusivas o ambientes que cumplan con servicios ambientales importantes o aquellos que están siendo modificados o destruidos por las actividades humanas (Villaseñor, 2005). La creación de áreas naturales protegidas a través de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), es uno de los instrumentos más importantes a nivel mundial para llevar a cabo la conservación de la biodiversidad.

2.3.1 Las Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Las Áreas Naturales Protegidas son aquellas zonas del territorio nacional, que han quedado sujetas a un régimen de protección para preservar ambientes naturales y salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres.

De acuerdo a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, (LGEEPA, 2014) se consideran Áreas Naturales Protegidas a las:

1. Reservas de la Biosfera: áreas biogeográficas relevantes a nivel nacional, representativas de uno o más ecosistemas no alterados significativamente por la acción del ser humano o que requieran ser preservados y restaurados, en los cuales habiten especies representativas de la biodiversidad nacional, incluyendo a las consideradas endémicas, amenazadas o en peligro de extinción.

2. Parques Nacionales: los parques nacionales se constituirán, tratándose de representaciones biogeográficas, a nivel nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo, de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones análogas de interés general.

3. Monumentos Naturales: los monumentos naturales se establecerán en áreas que contengan uno o varios elementos naturales, consistentes en lugares u objetos naturales, que por su carácter único o excepcional, interés estético, valor histórico o científico, se resuelva

incorporar a un régimen de protección absoluta. Tales monumentos no tienen la variedad de ecosistemas ni la superficie necesaria para ser incluidos en otras categorías de manejo.

4. Áreas de Protección de Recursos Naturales: son áreas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal.

5. Áreas de Protección de Flora y Fauna: son áreas que contienen los hábitat de cuyo equilibrio y preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de las especies de flora y fauna silvestres.

6. Santuarios: los santuarios son aquellas áreas que se establecen en zonas caracterizadas por una considerable riqueza de flora o fauna, o por la presencia de especies, subespecies o hábitat de distribución restringida. Dichas áreas abarcarán cañadas, vegas, relictos, grutas, cavernas, cenotes, caletas, u otras unidades topográficas o geográficas que requieran ser preservadas o protegidas.

7. Parques y Reservas Estatales, así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales: las autoridades de los Estados y del Distrito Federal, podrán promover ante el Gobierno Federal, el reconocimiento de las áreas naturales protegidas que conforme a su legislación establezcan, con el propósito de compatibilizar los regímenes de protección correspondientes.

8. Áreas destinadas voluntariamente a la conservación: las áreas destinadas voluntariamente a la conservación son aquellas que pueden presentar cualquiera de las características y elementos biológicos señalados en los artículos 48 al 55 de la presente Ley; proveer servicios ambientales o que por su ubicación favorezcan el cumplimiento de los objetivos previstos en el artículo 45 de esta Ley.

2.3.2 Las Áreas Naturales Protegidas en México

Los esfuerzos que se realizan en México para la conservación de la biodiversidad están insertos dentro de un contexto que contempla la inminente necesidad de proveer de bienes y servicios a su creciente población. En este sentido el establecimiento y manejo de las ANP, las cuales constituyen actualmente la estrategia más importante para la conservación integral del patrimonio biológico de México y de los servicios ambientales que este presta a su población. Las bases legales que sustentan a las ANP mexicanas las establece la actual Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEGEEPA, 2014), que en su artículo 46 define las categorías de manejo de las ANP federales: reserva de la biosfera, parque nacional, monumento natural, área de protección de recursos naturales, área de protección de flora y fauna, santuario, parques y reservas estatales, así como las demás categorías que establezcan las legislaciones locales y áreas destinadas voluntariamente a la conservación.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2013), administra actualmente 176 áreas naturales de carácter federal en todo el país que representan más de 25,394,779 de hectáreas, siendo los parques naturales los más abundantes, seguida de las reservas y áreas de protección de flora y fauna (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cobertura territorial de las Áreas Naturales Protegidas en México

Número de ANP	Categoría	Superficie terrestre (ha)	Superficie terrestre (%)
41	Reservas de la Biosfera	12,652,787	6.44
67	Parques Nacionales	1,398,517	0.71
5	Monumentos Naturales	16,268	0.01
8	Áreas de Protección de Recursos Naturales	4,440,078	2.26
37	Áreas de Protección de Flora y Fauna	6,740,875	3.43
18	Santuarios	146,254	0.07
176		25,394,779	12.93

CONANP, 2013

ANP: áreas naturales protegidas

2.3.3 Las Áreas Naturales Protegidas de carácter federal en el estado de Michoacán

Estado de Michoacán se han decretado 42 áreas naturales con jurisdicción federal, donde las áreas de protección de recursos naturales son las más abundantes, seguida de los parques nacionales, los santuarios y con menor número la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (Cuadro 3). En total, éstas ANP ocupan 1 022 797 hectáreas, lo que representa el 17 % de la superficie total de la entidad. Desafortunadamente, la mayoría de las áreas se encuentran prácticamente en el abandono, lo que ha permitido la tala clandestina, el cambio de uso de suelo y la incidencia de incendios y plagas forestales, lo que a su vez se refleja en la erosión y en la pérdida de biodiversidad (Villaseñor, 2005). La problemática que enfrenta cada área tiene sus propias peculiaridades. El grado de organización y manejo en cada una de ellas es muy variables y va desde el completo abandono hasta la existencia de una estructura completa en diferentes aspectos, como el administrativo, legal, normativo y académico, entre otros.

Cuadro 3. Áreas Naturales Protegidas federales en el Estado de Michoacán.

Tipo de áreas naturales	Número de ANP	Superficie aproximada (ha)
Parques nacionales	6	28 933
Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca	1	56 259 ¹ 42 000 ²
Santuarios	3	144
Áreas de protección de recursos naturales	32	951 720
Total	42	1 022 797

1. Superficie total que incluye las partes correspondientes a los Estados de México y Michoacán

2. Superficie aproximada correspondiente al Estado de Michoacán.

ANP: Áreas Naturales Protegidas

2.3.4 Las Áreas Naturales Protegidas de carácter estatal

Zonas del territorio estatal que han quedado sujetas al régimen de protección para preservar ambientes naturales, salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento racional de los recursos naturales y mejorar la calidad del ambiente en general y en particular de los centros de población y sus alrededores.

En el Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas se encuentran reconocidas 30 ANP (Anexo 1) en 20 municipios, 17 áreas sujetas a conservación ecológica, 10 parques urbanos ecológicos, dos reservas patrimoniales y un parque natural (Cuadro 4), mientras que la Procuraduría de Protección al Ambiente (PROAM, 2013) maneja 40 ANP (Anexo 2). En Michoacán, la mayoría de la áreas naturales protegidas se localizan en zonas de importancia forestal del Cinturón Neovolcánico Transversal (Villaseñor, 2005).

Cuadro 4. Áreas Naturales Protegidas estatales en el Estado de Michoacán.

Tipo de áreas naturales	Número de ANP	Superficie (ha)
Zonas sujetas a conservación ecológica	17	2 9,773,152.883
Parques urbanos ecológicos	10	3,06 9,817.46
Reservas patrimoniales	2	
Parque natural	1	

ANP: Áreas Naturales Protegidas

No obstante el valor económico de la gran cantidad de bienes y servicios que las ANP proveen a la sociedad, actualmente la función más importante que se les otorga a estos sitios es la conservación de los espacios y procesos que permitan el mantenimiento de la biodiversidad, de sus procesos evolutivos y de los procesos ecológicos que mantienen la vida (CONANP, 2013).

Debido a la gran diversidad de ecosistemas, especies y poblaciones terrestres, dulceacuícolas y marinas presentes en México, la cobertura actual de ANP todavía es insuficiente para mantener un sistema representativo, complementario, interconectado y con la redundancia suficiente que favorezca la conservación efectiva y a largo plazo, tanto de la biodiversidad como de los servicios ambientales que estos espacios brindan a la sociedad (Bezaury, 2009).

2.3.5 Principales ventajas y desventajas de la conservación *in situ*

La conservación *in situ*, es dinámica, por lo que las especies siguen sometidas a las presiones de selección natural y a los efectos de posibles aislamientos tanto geográficos como reproductivos, bajo los cuales se han desarrollado las poblaciones de las especies. Este mecanismo de protección permite la evolución natural y el desarrollo de nuevas características

genéticas y adaptaciones a los cambios ambientales y permite la coevolución con otras especies, formando variantes en los complejos genéticos que favorecen los procesos adaptativos, tanto como respuesta al ambiente como a los cambios genéticos de las especies acompañantes (Baena *et al.*, 2003).

Además, la conservación *in situ* permite la participación de las comunidades locales asociadas, las cuales tienen el dominio territorial, el manejo y conocimiento tradicional sobre usos y costumbres de los recursos naturales, los cuales conservan y transmiten de una generación a otra. Las estrategias de conservación *in situ* participativas, permiten la oportunidad de generar emprendimientos económicos, tales como el ecoturismo, la producción de flores y plantas nativas, exóticas, originando focos de desarrollo local de tipo sustentable (Squeo *et al.*, 2001).

La mayor desventaja de la conservación *in situ*, está dada por la vulnerabilidad a factores antropogénicos y ambientales que pueden constituirse en amenazas a la subsistencia de las especies y de las poblaciones. Como ejemplo de factores que pueden afectar la conservación *in situ* se pueden citar las catástrofes naturales, los incendios, tormentas, volcanismos; además, los fenómenos derivados del clima y del cambio climático global, como sequías prolongadas, recurrentes, así como procesos de lluvias sobre suelos erosionados, que dificultan el establecimiento de especies arbóreas o arbustivas (Pezoa, 1998). Por las razones antes mencionadas, una estrategia complementaria de conservación *ex situ* permitiría resguardar la diversidad genética de las poblaciones que corren alto riesgo de extinción, por lo tanto, ambas estrategias son importantes y complementarias, y se deben desarrollar en forma paralela.

En resumen, se cuenta con 42 ANP federales dentro del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas, mientras que en el Sistema Estatal se encuentran reconocidas 30 ANP en 20 municipios que cuentan con decreto, dentro de las Áreas Naturales Protegidas federales se encuentra el Área de Protección de Recursos Naturales “Los Azufres” que se encuentra en el sistema volcánico transversal, con un tipo de vegetación compuesta por bosque oyamel-pino y bosque de pino-encino. Dentro de estos tipos de vegetación se encuentra *Pinus martinezii*, esta especie además de tener importancia ecológica, es de importancia económica y se encuentra registrada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica bajo el estatus de Pr “sujeta a protección especial”, debido a su escasa distribución y reducidas poblaciones.

Respecto a esta especie son muy pocos los trabajos realizados de los cuales ninguno ha reportado información sobre su germinación, propagación y establecimiento de plántulas, sin embargo, de los estudios relacionados con la presente investigación se mencionan los siguientes.

Álvarez-Moreno (1987), realizó un estudio de la anatomía y secado de la madera en árboles resinados y no resinados de *Pinus martinezii* Larsen, donde ubican a este pino como la especie con mayor longitud de traqueidas en la República Mexicana y lo recomienda como materia prima para la obtención de papel de alta resistencia, mientras que López-Urquiza (1999), lo recomienda para papel de escritura e impresión, papel de alta resistencia, entre otros, por presentar alta resistencia y blancura. Por otro lado, Muñiz-Ramírez (2000), realizó un estudio sobre la determinación de las condiciones óptimas para la obtención de pulpa al sulfito alcalino a partir de *P. martinezii* Larsen.

Además, Silva-Farías (2005) realizó un estudio sobre patrones de distribución y aspectos ecológicos de *P. martinezii* Larsen, en el eje Neovolcánico y en la cuenca del lago de Cuitzeo, en el Estado de Michoacán, México, mientras que Leal-Nares y col. (2012), realizó un estudio sobre distribución potencial de *P. martinezii* en la cuenca del lago de Cuitzeo, utilizando información ambiental y datos de presencia de la especie, donde determinaron que hay 4 localidades susceptibles a la reforestación (La Joya, Laguna Verde, Cerro Mozo y El Temascal), además de diversas áreas donde los bosques han sido objeto de degradación forestal y que presentan aptitud para realizar labores de reforestación con fines de restauración o para el establecimiento de plantaciones forestales y 2 localidades (Nueva Victoria y Agua Zarca), donde se pueden llevar a cabo acciones de conservación, puesto que sólo requieren manejo forestal orientado al aprovechamiento sustentable.

Como se puede observar, respecto a *P. martinezii*, existen algunas investigaciones relacionadas con su distribución, ecología, aspectos analíticos de la madera y sitios potenciales para su establecimiento, pero estudios ecofisiológicos con esta especie hasta donde se tiene conocimiento son prácticamente nulos. Sin embargo, existe información sobre tratamientos de germinación, sustratos y utilización del agua en otras especies del género *Pinus*.

2.4 Estudios enfocados a tratamientos pregerminativos en semillas de *Pinus*

Meraz y Bonilla (2000), realizaron un estudio donde evaluaron porcentaje de germinación y tratamientos pregerminativos en dos especies de pinos; *Pinus arizonica* y *P. durangensis*. Estos autores obtuvieron que el mejor tratamiento pregerminativo fue el remojo de la semilla en agua oxigenada al 3% por un periodo de 12 horas, obteniendo un porcentaje de germinación del 96.7% para *P. arizonica* y un 85.5% para *P. durangensis* y en ambas especies, el tratamiento que presentó menor germinación fue el de semilla sumergida en agua a punto de ebullición por 30 segundos. Mientras que Valdez-Cancinos (2005), menciona que para semillas de *P. oocarpa* almacenadas en bolsas selladas a bajas temperatura (3-4 °C), con un contenido de humedad de 6 a 8% mantiene su poder germinativo superior a 80%, mientras que para *P. Maximinoi* y *P. tecumanii* como tratamiento pregerminativo para obtener una germinación uniforme, se recomienda sumergir las semillas en agua limpia durante 12 horas antes de la siembra.

De acuerdo con Quiroz y Rojas (2003), para la estratificación de la semilla de *Pinus ponderosa* recomienda un período de remojo de 24 a 48 horas y en frío por un período de 30 a 60 días a una temperatura de 1 °C a 5 °C, para que las semillas germinen mucho más rápido. Por su parte, Marroquín-Flores (2007), obtuvo una capacidad germinativa del 93.75% para *P. pseudostrobus* con un tratamiento pregerminativo que consistió en sumergir las semillas en una solución diluida en agua con hipoclorito de sodio al 10%, por 15 minutos.

Chávez Anaya y colaboradores (2007), evaluaron el porcentaje de germinación de *P. devoniana* en nueve mezclas con la utilización de seis sustratos, donde aplicaron los siguientes tratamientos pregerminativos a las semillas: tratamiento primario, se remojó en agua 12 horas previamente al día de la siembra; tratamiento secundario, posteriormente del remojo, media hora en agua con captan con dosis de 1g/l de agua. Por otro lado, Ludeña-Velásquez (2012), obtuvo un 93.47 % de germinación en semillas de *Pinus patula*, al utilizar un tratamiento pregerminativo que consistió en la utilización de 100 ppm de ácido giberélico (AG3).

2.5 Estudios realizados sobre la utilización de sustratos en el desempeño de *Pinus*

Aparicio-Renteria y colaboradores (1999), mencionan que para obtener resultados óptimos en la producción de *Pinus patula*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*, se puede emplear sustratos como suelo y cubriendo la semilla con arena, 100% de suelo y 50% de suelo con 50% de arena. Mientras que para *P. durangensis*, Arteaga y col. (2003), recomiendan el suelo como el sustrato más adecuado para la producción de esta especie, sin embargo, se pueden lograr buenos resultados agregando arena de río mezclada con hoja de encino. Los sustratos con vermiculita, independientemente del componente orgánico (fibra de coco o turba), presentan buenos resultados en el crecimiento de *P. ponderosa*, siendo la combinación con turba la que tiene diferencias más claras con respecto a los demás sustratos (Olivo y Budaba, 2006).

Chávez-Anaya y colaboradores (2007), evaluaron el porcentaje de germinación de *Pinus devoniana*, en nueve mezclas con la utilización de seis sustratos, obteniendo que el 100% corteza de pino obtuvo el mayor porcentaje. Reyes *et al.*, (2005), muestran que las plántulas que se desarrollaron en el sustrato compuesto por las mezclas de aserrín con peat moss, presentaron los valores más altos en las variables evaluadas, por lo que el aserrín de pino, mezclado en 80% con otros materiales, como peat moss, corteza de pino o suelo, es un subproducto como medio de crecimiento para producir especies forestales utilizando el sistema de producción tradicional. De acuerdo con Mañas *et al.*, (2009), los valores más elevados del porcentaje de germinación se obtuvieron en la mezcla: corteza de pino más fertilizante y para el crecimiento de las plántulas se presentó en la mezcla: residuo de pasta de papel más lodo activado y turba.

Por otro lado, Altamirano y Aparicio (2002), mencionan que el uso de sustratos mezclados con lombricomposta favorece el crecimiento inicial en vivero de *Pinus oaxacana* y *P. rudis*. Para *P. cembroides*, la utilización de turba más suelo para el crecimiento de esta especie, presenta los mejores resultados en ganancia de biomasa (Sandoval *et al.*, 2000). Y el sustrato compuesto por aserrín, corteza e hidrogel fue el más destacado en las variables de crecimiento evaluadas en *Pinus greggii* (Maldonado, 2010).

2.6 Estudios realizados sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA) en *Pinus*

Las situaciones de déficit hídrico son muy frecuentes en la vida de las plantas, de hecho, la disponibilidad hídrica resulta ser el primer factor limitante del crecimiento vegetal y del rendimiento de las cosechas en todo el mundo. La eficiencia en el uso del agua es usada como una guía para evaluar el rendimiento de los cultivos bajo condiciones de agua limitante.

Hasta donde se tiene conocimiento, la información sobre la EUA es poca y si los hay se enfocan más a sistemas agrícolas (Olalde *et al.*, 2000) y los pocos trabajos en sistemas forestales han sido estimados a partir de la relación entre la asimilación de CO₂ y la evapotranspiración, los trabajos que existen sobre déficit hídrico no cuantifican la cantidad de agua utilizada (Teixeira *et al.*, 1995).

Por otro lado, existen trabajos sobre déficit hídrico, como el de Prieto y colaboradores (2004), quienes evaluaron el efecto del estrés hídrico en el crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii*, concluyeron que la reducción del potencial hídrico no provocó daños físicos a dicho pino, sin embargo, sí limitó su crecimiento en altura, diámetro del cuello y producción de fitomasa, en contraste con el tratamiento sin restricción de humedad. Mientras que para *P. pinceana*, el efecto del estrés hídrico y del estrés por altas temperaturas, sobre el crecimiento y distribución de biomasa, ocasionaron una reducción en el crecimiento del brote, acumulación de biomasa y relación parte aérea-raíz, pero el efecto del estrés hídrico fue dos a tres veces mayor que el de la temperatura. El aumento en temperatura ocasionó mayor engrosamiento del tallo, efecto que fue más notorio al estar en combinación con estrés hídrico (Martíñón *et al.*, 2010). En los tratamientos sometidos a mayor riego las plántulas presentaron mayores alturas, diámetros, biomasa aérea y radical, mientras que las plántulas con menor frecuencia de regado tuvieron menor brote de raíz (Royo *et al.*, 2001).

La EUA a nivel de planta es un parámetro con un valor principalmente experimental, pues habitualmente se obtiene en condiciones controladas en las que las plantas se encuentran en macetas o en sistemas en los que el agua consumida puede medirse con exactitud. Por este motivo, este parámetro constituye en sí la eficiencia en el uso del agua real, pues sus dos componentes, agua consumida y biomasa producida (incluida la biomasa radicular), pueden ser determinadas con exactitud (Medrano *et al.*, 2007). A continuación se presentan algunos

trabajos referentes a la EUA en especies forestales. Smit and Van Den Driessche (1992), evaluaron la eficiencia en el uso del agua en plántulas de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus contorta*, encontrando una EUA de $5.4 \text{ g kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ para el Pino y de $6.1 \text{ g kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ para el abeto. Mientras que Linderson y colaboradores (2007), obtuvieron un promedio de la eficiencia en el uso del agua en tres especies del genero *Salix* de $5.3 \text{ g kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$.

III. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

3.1 Descripción de *Pinus martinezii* Larsen

FAMILIA: Pinaceae

NOMBRE CIENTÍFICO: *Pinus martinezii* Larsen

NOMBRE COMÚN: Ocote, pino tarasco, pino coyote.

Es un árbol de 15 a 25 metros de altura, por 40 a 60 cm de diámetro, con copa más densa en la parte superior, ramas gruesas y extendidas en la parte inferior, ligeramente levantadas en la segunda mitad de la copa y más horizontales y ralas en la parte inferior, irregularmente dispuestas sobre el tallo, de corteza oscura, grisácea y escamosa, ramillas ásperas y escamosas con acículas levantadas. Madera dura, pesada y resinosa.

HOJAS. En fascículos de 5, 6 y 7, raramente 8; 6 hojas como cifra predominante, rígidas y erectas, triangulares de 20 a 28 cm de longitud, comúnmente cerca de 23, por 1.2 mm de ancho, vaina grisácea de 1.5 a 2.0 cm de longitud no resinosa y persistentes, márgenes finamente aserrados, con estomas en las superficies ventral y dorsal, tres canales resiníferos.

CONOS. Oblongo cónicos subsimétricos, de color café rojizo, de 6 a 8 cm., de longitud, pedúnculo de 1.5 cm., de largo por 1cm de diámetro, escamas con escasa resina ambarina.

SEMILLAS. De 3 a 4 mm de longitud por 3 de ancho, cafesosas con manchas oscuras, con ala articulada de 12 a 15 mm de longitud, aproximadamente 45,000 semillas/kg.

3.2 Distribución de *Pinus martinezii* Larsen

En el estado de Michoacán, es una especie poco distribuida, Madrigal (1982), la reportó en el municipio de Paracho, a una altitud de 2,290 m.s.n.m., también ha sido localizado en San Miguel del Monte, Mil Cumbres, Los Azufres y en el municipio de Morelia, en altitudes de 2,000 m.s.n.m. Forma asociaciones con *Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *Quercus crassifolia* y *Q. rugosa*. Crece en suelos pobres, pedregosos y lixiviados (COFOM, 2000; Silva-Farías, 2005). La distribución no es continua, forma agregados o manchones de forma irregular.



A)



B)



C)



D)

Figura 1. Árbol de *Pinus martinezii* Larsen (A) y algunas partes características como: Corteza (B), Hojas y Cono (C) y Semillas (D).

IV. JUSTIFICACIÓN

Respecto a esta especie, *Pinus martinezii*, existen algunas investigaciones relacionadas con su distribución, ecología y aspectos analíticos de la madera y sitios potenciales para su establecimiento.

Pero información sobre su germinación, crecimiento y establecimiento de plántulas, prácticamente es nula. Por ello, es necesario contar con algunos elementos que permitan un manejo adecuado en su condición de especie en riesgo y diseñar algunas estrategias para su conservación.

Además de tener importancia ecológica, es de importancia económica y se encuentra registrada en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica bajo el estatus de Pr “sujeta a protección especial”, debido a su escasa distribución y reducidas poblaciones. A pesar de dicha importancia comercial, no se tiene un estudio sobre estrategias de conservación.

Por lo tanto, es necesario obtener información sobre la germinación, propagación y establecimiento de plántulas de *Pinus martinezii* Larsen en vivero. Todos estos elementos permitirán un manejo adecuado en su condición de especie en riesgo y diseñar algunas estrategias para su reintroducción.

V. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Desarrollar una estrategia para la germinación y el crecimiento de *Pinus martinezii* Larsen.

5.2 Objetivos particulares

- . Conocer la cantidad y viabilidad de las semillas colectadas.
- . Determinar las características macroscópicas de las semillas *P. martinezii* Larsen.
- . Determinar el tratamiento pregerminativo que incremente la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas de *Pinus martinezii* Larsen.
- . Determinar la sobrevivencia de *P. martinezii* a los 240 días de edad.
- . Evaluar el crecimiento de *Pinus martinezii* Larsen en diferentes sustratos.
- . Determinar el uso efectivo del agua en plantas de *P. martinezii* Larsen.

VI. Hipótesis

Mediante el desarrollo de una estrategia de germinación y propagación en dos sustratos y niveles de riego, se incrementa la calidad y producción de planta en vivero.

VII. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la obtención de las semillas de *Pinus martinezii* Larsen se realizaron visitas a algunos de los sitios donde se encontraron reportes de poblaciones de esta especie, los cuales son San Miguel del Monte, Mil Cumbres, Los Azufres y en el municipio de Morelia. En todos estos sitios se observaron poblaciones muy bajas de solamente entre 3 y 11 ejemplares adultos, de los cuales no todos presentaban conos. En el único sitio visitado que se encontraron árboles de *P. martinezii* con conos fue en la localidad de Los Azufres.

En Los azufres se seleccionaron 9 árboles sanos con presencia de conos, se colectaron de 15 a 25 conos por árbol con una garrocha. Los conos se mantuvieron separados por árbol, correctamente identificados y se almacenaron en costales para su transporte al Laboratorio de Conservación, Preservación de la Madera y del Medio Ambiente (LACOPREMMMA), perteneciente a la FITECMA/UMSNH para su posterior manejo.

Los conos colectados se pusieron a secar al aire libre, expuestos directamente a los rayos del sol para obtener las semillas. Una vez obtenidas las semillas, se les aplicó la prueba de flotabilidad, con la finalidad de obtener semillas viables, dichas semillas fueron almacenadas a bajas temperaturas (4°C). Posteriormente se seleccionaron 750 semillas al azar (después de 112 días de la colecta), procedentes de los nueve árboles para realizar las pruebas de germinación con diferentes tratamientos pregerminativos en una cámara de germinación con fotoperiodo de 12 horas luz y 12 horas oscuridad, a una temperatura constante de 25°C, con el fin de obtener el mejor tratamiento pregerminativo que incrementara la velocidad y porcentaje de germinación de las semillas de *Pinus martinezii* Larsen. Este experimento fue realizado en el Laboratorio de Ecología de Restauración del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) UNAM, Campus Morelia. Los tratamientos considerados en este experimento se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Tratamientos pregerminativos aplicados a semillas de *Pinus martinezii* Larsen.

TRATAMIENTOS	
1	Control
2	Estratificación (sometidas a una temperatura de 4°C por 15 días).
3	Imbibición durante 24 horas en agua corriente.
4	Imbibición durante 24 horas en agua corriente y sometida a una temperatura de 4 ° C por 15 días.
5	Escarificación química mediante ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄) durante cinco minutos.

Para cada tratamiento se consideraron un total de 150 semillas, las cuales fueron puestas en cajas de Petri con papel fieltro como medio de retención de humedad. Cada caja de Petri contenía 30 semillas, por lo que el experimento contempló 5 repeticiones por tratamiento, dando un total de 25 unidades experimentales. El experimento se mantuvo durante 30 días y al final del mismo se evaluó el porcentaje final de germinación y fue analizado mediante un Modelo Linear Generalizado con distribución binomial y un análisis de varianza, mediante un diseño completamente al azar.

Además de las semillas utilizadas para los tratamientos pregerminativos, se seleccionaron otras 30 semillas al azar de cada árbol, excepto para el árbol ocho y nueve ya que no se obtuvo suficiente semilla para hacer la caracterización y se les midió el largo, ancho y grosor de cada una de las semillas con un vernier digital, así como el número y peso en gramos de las semillas en una balanza analítica. Una vez hecha dicha caracterización, las semillas se devolvieron a la muestra original.

Una vez determinado el tratamiento pregerminativo donde se obtuvo una mayor germinación y mayor velocidad, se realizó un ensayo de germinación para cada árbol (después de 153 días de la colecta), excepto para el árbol ocho y nueve, tomando 90 semillas al azar de los siete árboles restantes dando un total de 630 semillas. Al igual que el ensayo de tratamientos pregerminativos, las semillas fueron colocadas en caja de Petri con treinta semillas, teniendo un total de 21 unidades experimentales, estos resultados se analizaron por medio de un análisis

no paramétrico (Chi cuadrada, eventos y proporciones), utilizando el paquete estadístico S-plus 2000.

Posteriormente, las semillas de los siete árboles fueron agrupadas en una sola muestra, y de ésta se tomaron 1800 semillas, las cuales se emplearon para valorar el crecimiento de la especie. Para lo cual se les aplicó el mejor tratamiento obtenido en el ensayo de germinación (después de 243 días de la colecta). Esta germinación se llevó a cabo en charolas de unicel cuya cavidad tenía un volumen de 25 ml. El sustrato para dicha germinación fue turba-agrolita, en proporción 1:2 (v/v), en una cámara de crecimiento con condiciones controladas con 25°C, 75% H.R. y 14 horas de fotoperiodo ubicada en el Laboratorio de Interacción Suelo-Planta-Microorganismo del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas UMSNH.

Las plántulas obtenidas en las charolas de germinación se trasplantaron a tubetes rígidos de plástico (375 ml), llenados con los siguientes sustratos: una mezcla de aserrín-fibra de agave en proporción 3:1 (v/v), creci-root (sustrato comercial a base de corteza de árbol, fibra de coco y agrolita) y una mezcla de turba-agrolita en proporción 1:2 (v/v) (Cuadro 6). El número total de plantas por sustrato fue de 129.

El sustrato a base de aserrín-fibra de agave se obtuvo de la siguiente manera: el residuo de la producción de mezcal (fibra de agave), se molió en un molino pulverizador marca Micron K20, posteriormente se tamizó en una malla con abertura de 2,380 micras de diámetro. El aserrín de *Pinus* sp., procedente de un aserradero se tamizó en una maya con abertura de 3,360 micras. El contenido de nitrógeno y fósforo fue determinado, obteniendo valores de 0.56 % de nitrógeno total y 0.18 ppm de fósforo.

Cuadro 6. Sustratos empleados para el crecimiento de *Pinus martinezii* Larsen.

Trat.	Proporciones
1	100% creci root
2	75% aserrín + 25% fibra de agave
3	67% agrolita + 33 turba

El riego de las plantas de *P. martinuzzi* se realizó con agua corriente aplicando tres niveles de riego dos veces por semana, definidos como: bien regado, medianamente regado y escasamente regado. Estos niveles se obtuvieron adicionando agua hasta capacidad de campo a un total de cinco muestras por sustrato. Posteriormente se dejó reposar tres días y para restablecer la humedad se le agregó una cantidad de agua conocida, hasta que el sustrato empezó a gotear se dejó de adicionar agua (Figura 2). El máximo nivel de agua se determinó mediante la diferencia entre el total de agua adicionada y la cantidad de agua recuperada, obteniendo 40 ml como la cantidad de agua que se necesitó para restablecer la humedad del sustrato a capacidad de campo. Una vez teniendo el máximo valor se buscó una diferencia de 15 ml entre cada régimen. En base a esto se determinó el nivel de riego, teniendo bien regado con 40 ml, medianamente regado con 25 ml y escasamente regado con 10 ml. El experimento fue evaluado cada 60 días hasta completar 240 días, siendo este tiempo el periodo de crecimiento a evaluar.



Figura 2. Método de determinación del régimen de riego en los sustratos aserrín-fibra de agave, turba-agrolita y creci root.

Al final del experimento se evaluó la sobrevivencia, los datos obtenidos fueron tratados mediante un análisis no paramétrico (Chi cuadrada, eventos y proporciones), utilizando el paquete estadístico S-plus 2000. Las evaluaciones cada 60 días fueron de las variables altura, diámetro a la altura de la base (DAB) y cobertura (evaluada mediante la fórmula del área de la elipse $\pi r_1 r_2$).

Las variables evaluadas al final del experimento fueron: altura, DAB, biomasa en peso fresco, peso seco, eficiencia en la toma de agua. El diámetro a la altura de la base y la cobertura se midió de la misma forma que las evaluaciones bimestrales, para el peso seco, la biomasa se colocó en una cámara de secado para su deshidratación a una temperatura de 60 °C, registrando la biomasa hasta tener peso constante, para la eficiencia en el uso de agua se estimó en base al consumo de agua y a la producción de materia seca total de la planta.

Los datos obtenidos bimestralmente y al final del experimento, fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA de dos vías), siendo un diseño factorial. Los paquetes estadísticos utilizados fueron el S-plus 2000 y el ASSISTAT Versión 7.7 beta (2013).

VIII. RESULTADOS

En nuestros resultados se encontró que las semillas colectadas de *Pinus martinezii*, aproximadamente el 46% de ellas flotaron y el 54% se precipitaron, en cuanto a las características macroscópicas de las mismas en los diferentes árboles, se encontró que en promedio miden 5.82 mm de largo, 4.58 mm de ancho, 2.66 mm de grosor y en promedio pesan 0.024 g. Por otro lado, el tratamiento pregerminativo que aceleró y homogenizó la germinación considerablemente las semillas de *P. martinezii* fue la estratificación. En cuanto al crecimiento de las plantas se observó que ésta especie tiene un mejor desempeño en el sustrato a base de turba-agrolita con riego medio, ya que en ésta combinación se pudieron observar los mayores valores de las variables evaluadas, así como un incremento de la biomasa aérea y de raíz. Sin embargo, en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave se observó una mayor sobrevivencia que en el sustrato a base de turba-agrolita. En relación a la optimización del agua disponible, *P. martinezii* hace un uso eficiente del agua, ya que a menor cantidad de agua disponible, ésta especie tiende a producir una mayor cantidad de materia seca, como lo demuestran los resultados.

8.1 Caracterización de las semillas

De los nueve árboles colectados se obtuvo un total de 6,960 semillas, al aplicarles la prueba de flotabilidad aproximadamente el 46% de ellas flotaron y el 54% se precipitaron (Cuadro 7). Por otro lado, los árboles tres y cinco tuvieron los mayores porcentajes de semillas viables con 71.5 % y 71.0 respectivamente, mientras que los árboles ocho y nueve tuvieron un bajo número de semillas (83 y 43 respectivamente). En general se puede considerar que el 50% de las semillas no son viables para *P. martinezii*. En cuanto al peso de las semillas se observó que las precipitadas mostraron 26 mg/semilla.

Cuadro 7. Número de conos, número y peso de las semillas colectadas de *Pinus martinezii* Larsen.

Árbol	No. conos	No. semillas	SPNV (flotaron)	SPV (precipitadas)	Peso total (g)
1	15-25	1717	717 (41.75%)	1000 (58.2%)	26.00
2	15-25	950	590 (62.10%)	360 (37.9%)	7.56
3	15-25	1409	402 (28.53%)	1007 (71.5%)	33.23
4	15-25	321	138 (42.99%)	183 (57.0%)	4.20
5	15-25	1038	301(28.99%)	737 (71.0%)	16.21
6	15-25	450	295 (65.55%)	155 (34.4%)	3.41
7	15-25	678	434 (64.01%)	244 (35.9%)	5.85
8	15-25	267	184 (68.91%)	83 (31.1%)	2.73
9	15-25	130	84 (64.61%)	46 (35.4%)	1.51
Total		6 960	3 145 (45.19%)	3 815 (54.8%)	100.70

SPNV: semillas posiblemente no viables, SPV: semillas posiblemente viables.

Además se midieron las características macroscópicas de las semillas en los diferentes árboles, encontrando variación en los mismos, excepto para el árbol 8 y 9 ya que no se obtuvo suficiente semilla para hacer la caracterización (Cuadro 8). Para el largo de la semilla, el rango varió de 5.28 a 6.60 mm con un promedio de 5.82 mm, para el ancho fue de 4.19 a 4.87 mm con un promedio 4.58 mm, en el grosor el rango fue de 2.47 a 2.85 mm con un promedio de 2.66 mm y el rango del peso fue de 0.021 a 0.033 g y en promedio pesa 0.024 g. Para el caso

de el largo y ancho del ala de la semilla, los rangos fueron de 12.05 a 17.35 mm y 6.29 a 7.75 mm respectivamente.

Cuadro 8. Valor promedio de las características macroscópicas de las semillas de *Pinus martinezii* Larsen, tales como peso, largo, ancho y grosor.

Árbol	SEMILLA				ALA	
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Grosor (mm)	Peso por semilla (g)	Largo (mm)	Ancho (mm)
1	5.81 ± 0.30	4.87 ± 0.36	2.85 ± 0.16	0.026 ± 0.005	14.56 ± 1.03	6.29 ± 0.62
2	5.68 ± 0.54	4.37 ± 0.31	2.58 ± 0.28	0.021 ± 0.006	12.55 ± 1.61	6.55 ± 0.64
3	6.60 ± 0.52	4.85 ± 0.30	2.81 ± 0.22	0.033 ± 0.008	17.35 ± 1.36	7.21 ± 0.69
4	5.78 ± 0.44	4.23 ± 0.39	2.57 ± 0.25	0.023 ± 0.007	12.25 ± 1.28	6.51 ± 0.68
5	5.28 ± 0.45	4.19 ± 0.33	2.47 ± 0.29	0.022 ± 0.005	12.05 ± 1.02	6.56 ± 0.59
6	5.87 ± 0.57	4.74 ± 0.40	2.79 ± 0.28	0.022 ± 0.008	14.48 ± 1.60	7.75 ± 0.61
7	5.74 ± 0.41	4.79 ± 0.38	2.56 ± 0.33	0.024 ± 0.007	13.48 ± 1.58	7.75 ± 1.22
Promedio	5.82	4.58	2.66	0.024	13.82	6.95

±: desviación estándar

8.2 Tratamientos pregerminativos

El tratamiento pregerminativo, en la muestra compuesta por semillas de todos los árboles colectados, que incrementó el porcentaje de germinación en semillas de *P. martinezii* fue la estratificación, obteniendo un 85.3%, seguida del control con 74.66%; y el tratamiento que presentó menor porcentaje de germinación (28%) fue el remojo en agua a temperatura ambiente durante 24 horas + 15 días en refrigeración a 4°C (Figura 3). En el análisis de varianza realizado así como el Modelo Linear Generalizado para la germinación de semillas de *P. martinezii* indica que sí existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un valor de P = 0.0001 (Cuadro 9). La prueba de Tukey aplicada a los tratamientos de germinación indica que la estratificación incrementó de forma significativa la germinación con respecto al resto de los tratamientos, excepto al tratamiento control.

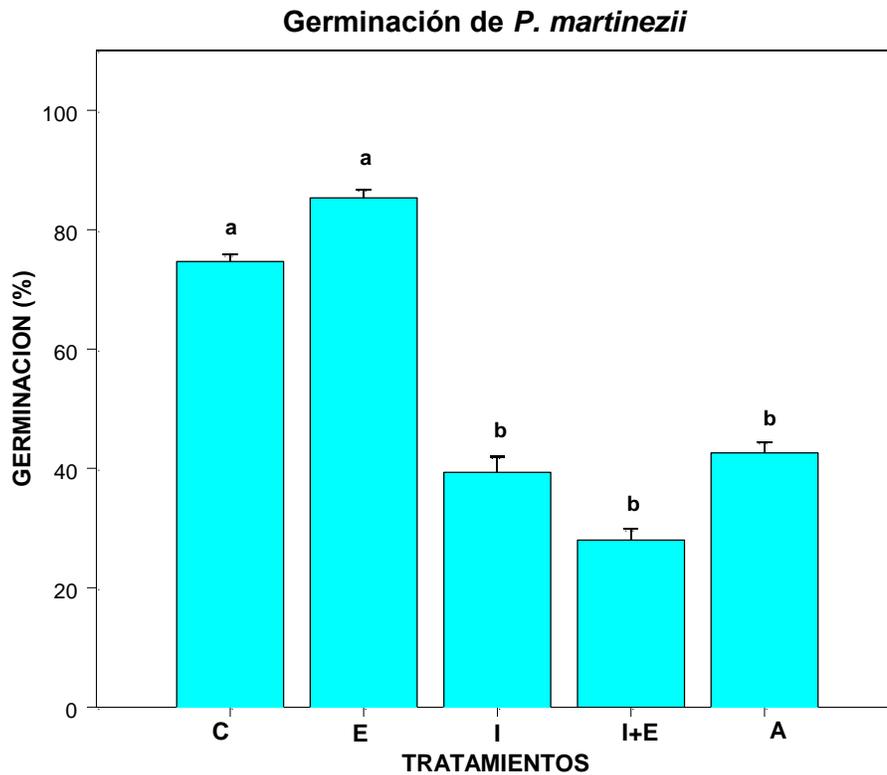


Figura 3. Tratamientos pregerminativos en semillas de *Pinus martinezii* Larsen. Las barras indican el error estándar. Las letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey. C: control, E: estratificación, I: imbibición, I+E: imbibición + estratificación, A: ácido sulfúrico.

Cuadro 9. Análisis de varianza de una vía aplicada para la germinación de semillas de *Pinus martinezii* Larsen empleando diferentes tratamientos pregerminativos.

	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada	P
Tratamiento	4	1207.76	301.94	17.29	0.0001
Residual	20	349.20	17.46		

G.L. grados de libertad, S.C. suma de cuadrados, C.M. cuadrados medios, F calculada, P probabilidad.

Igualmente, en la velocidad de germinación de las semillas de *P. martinezii* se observó que con la estratificación se puede obtener hasta un 50% de germinación a partir de los seis días, mientras que el control solo presenta 10% de germinación en el mismo tiempo (Figura 4). El tratamiento que menos germinación presentó fue la combinación de la imbibición en agua corriente más la estratificación. Comparando la estratificación con los demás tratamientos, ésta acelera la velocidad de germinación.

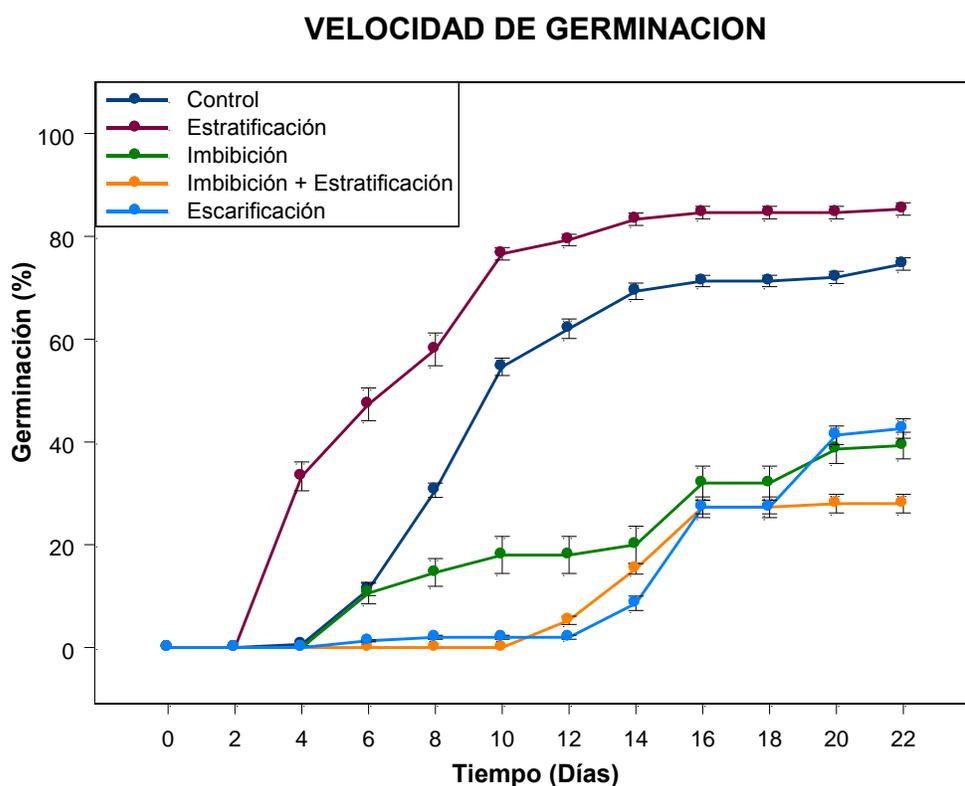


Figura 4. Velocidad de germinación en semillas de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo bajo diferentes tratamientos pregerminativos. Las barras indican el error estándar.

Después de un mes de haber realizado la prueba de los tratamientos pregerminativos, mediante el tratamiento de estratificación se evaluó el porcentaje de germinación por árbol, obteniendo los valores más altos en germinación el árbol cinco con un 45.5%, seguida del árbol tres y seis con un porcentaje de germinación del 34.4 % y el árbol que presentó menor germinación fue el uno con el 8.9 %, no habiendo diferencia significativa en la germinación entre los arboles (Figura 5).

Germinación por árbol

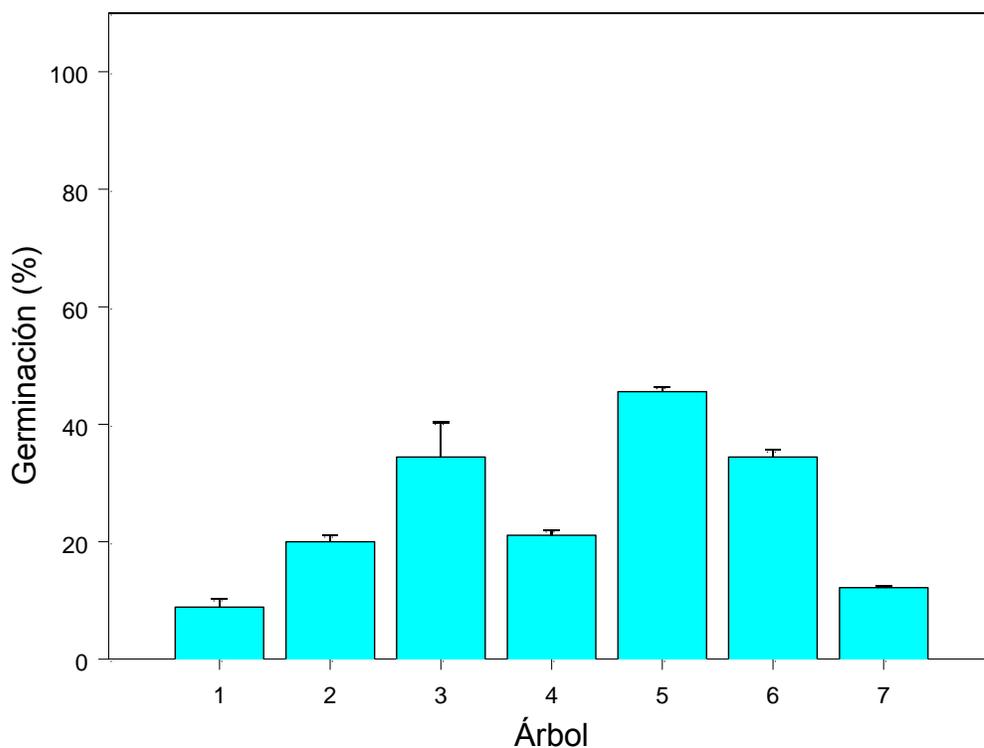


Figura 5. Germinación por árbol en semillas de *Pinus martinezii* Larsen con el tratamiento pregerminativo de estratificación. Las barras indican el error estándar.

Conjuntamente, se hizo una correlación de Pearson de las características macroscópicas y la germinación por árbol, donde se observó que el coeficiente de correlación no fue significativo con ninguna característica. Otras correlaciones que resultaron significativas fueron las semillas precipitadas en relación al número de semillas ($r = 0.94$), entre el peso de las semillas y el largo de las mismas ($r=0.87$), el largo de la ala fue significativo respecto a largo de semilla ($r=0.91$), ancho de semilla ($r=0.80$), el grosor de la semilla ($r=0.81$) y el peso de las semillas ($r=0.88$), mientras que el resto de las correlaciones no fueron significativas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Coeficiente de correlación de Pearson de la germinación y las características macroscópicas de las semillas de *Pinus martinezii* Larsen.

Características	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Número de semillas	0	0.94*	0.27	0.43	0.47	0.57	0.49	-0.4	-0.12
2. Semillas precipitadas		0	0.33	0.32	0.42	0.69	0.54	-0.41	0.12
3. Largo de semillas			0	0.64	0.69	0.87*	0.91*	0.32	-0.04
4. Ancho de semillas				0	0.79	0.59	0.80*	0.50	-0.36
5. Grosor de semillas					0	0.58	0.81*	0.14	-0.19
6. Peso de semillas						0	0.88*	0.12	0.03
7. Largo del ala							0	0.37	0.05
8. Ancho del ala								0	0.12
9. Germinación por árbol (%)									0

* Significativo ($p < 0.05$)

No significativo ($p \geq 0.05$)

8.3 Parámetros fisiológicos por el método no destructivo

8.3.1 Crecimiento en altura de *P. martinezii*

Las plantas utilizadas en el experimento de *P. martinezii* fueron obtenidas de las charolas de germinación, en las cuales se observó un 55 % de germinación por el método de estratificación (después de 153 días de la colecta). Estas plántulas se sembraron en creci-root, turba-agrolita y aserrín-fibra de agave, observando un 100% de mortalidad en el sustrato creci root, mientras que en el sustrato a base de turba-agrolita se observó un 97% de sobrevivencia y 98% en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave. A los sesenta días del trasplante, se realizó una nueva siembra de plántulas en los tres sustratos, observando nuevamente un 0 % de sobrevivencia en el sustrato denominado como creci-root. Por lo tanto, solo se presentan resultados en los sustratos a base de turba-agrolita y aserrín-fibra de agave.

La altura de las plantas varió en relación al nivel de riego, al sustrato y a la interacción de ambos factores evaluada a 60, 120, 180 y 240 días (Cuadro 11). El análisis factorial aplicado a esta variable indica que sí hay diferencia significativa en el factor riego a partir de los 60 días donde los valores más altos en altura se observaron en el tratamiento de riego con 25 ml

(Figura 6). También se pudo observar que a partir del día 180, la diferencia significativa fue en el riego de 25 y 40 ml (6.15 y 5.80 cm respectivamente), en relación al riego de 10 ml (4.68 cm). Mientras que la altura en relación al factor sustrato, se observa diferencia significativa a partir de los 120 días, teniendo los valores más altos en el sustrato a base de turba-agrolita (6.67 cm), que en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave (4.42 cm), (Figura 7).

Cuadro 11. Análisis de varianza de dos vías aplicado al crecimiento en altura de *Pinus martinezii* Larsen por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.

Factor	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada	P
Crecimiento en altura a los 60 días					
Riego	2	17.479	8.739	13.384	0.0001
Sustrato	1	0.782	0.782	1.197	0.274
Riego-Sustrato	2	0.701	0.350	0.537	0.584
Crecimiento en altura a los 120 días					
Riego	2	16.310	8.155	10.176	0.0001
Sustrato	1	9.749	9.749	12.165	0.0001
Riego-Sustrato	2	2.268	1.134	1.415	0.245
Crecimiento en altura a los 180 días					
Riego	2	77.119	38.559	33.031	0.0001
Sustrato	1	173.962	173.962	149.020	0.0001
Riego-Sustrato	2	15.497	7.748	6.638	0.001
Crecimiento en altura a los 240 días					
Riego	2	91.256	45.628	33.727	0.0001
Sustrato	1	234.550	234.550	173.376	0.0001
Riego-Sustrato	2	19.162	9.581	7.082	0.001

G.L. grados de libertad, S.C. suma de cuadrados, C.M. cuadrados medios, F calculada, P probabilidad.

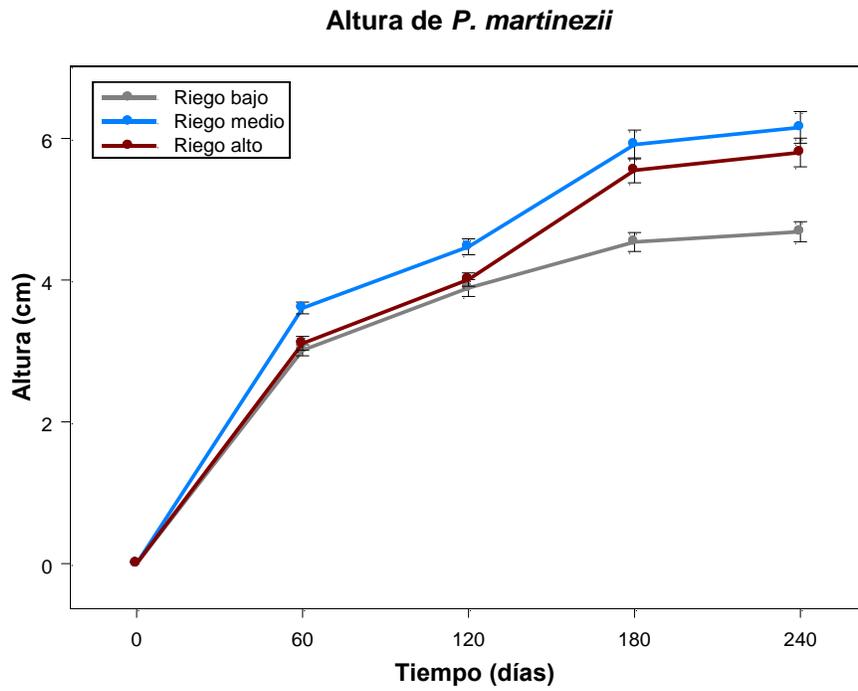


Figura 6. Altura de planta de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego: Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml, Alto: 40 ml. Las barras indican el error estándar.

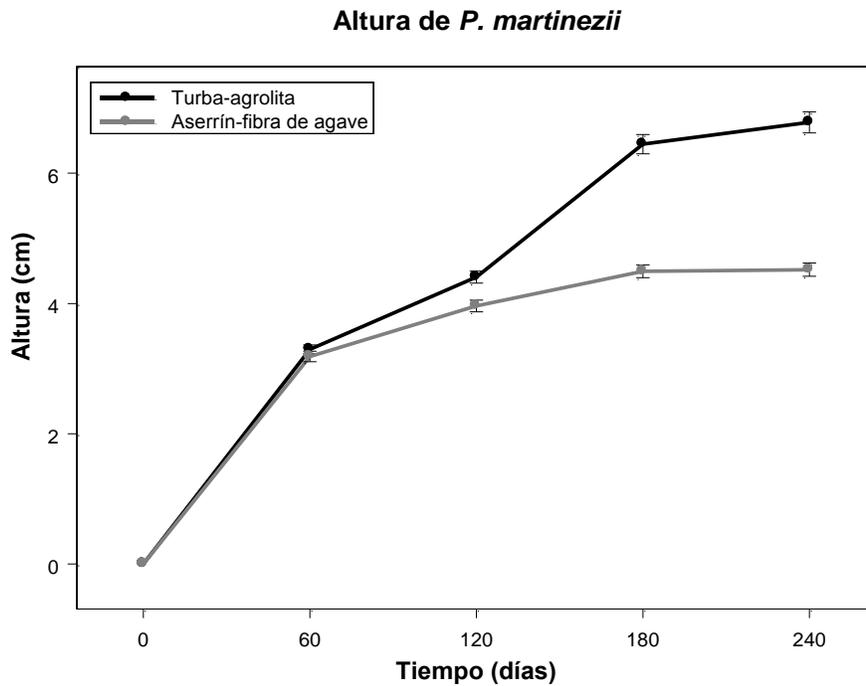


Figura 7. Altura de planta de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave. Las barras indican el error estándar.

En la interacción del factor riego y el sustrato, la diferencia significativa se empieza a observar a partir de los 180 días, observando los mayores valores en altura de la planta en los riegos con mayor cantidad de agua (25 ml: 7.85 cm y 40 ml: 6.73 cm) en el sustrato a base de turba-agrolita (Figura 8). Además, se logró observar que el riego con 25 ml fue el que incrementó en mayor medida la altura de las plantas de *P. martinezii*.

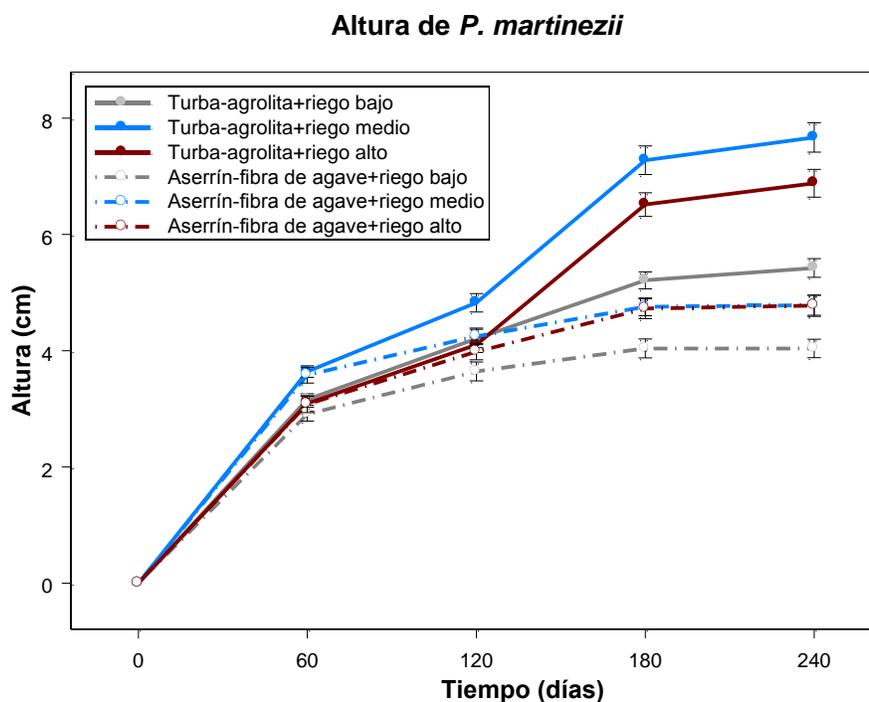


Figura 8. Altura de planta de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en la interacción riego-sustrato. Las barras indican el error estándar.

8.3.2 Diámetro a la altura de la base (DAB) de *P. martinezii*

El DAB de las plantas varió en relación a los niveles de riego, al sustrato y a la interacción de ambos factores. El análisis de este parámetro se realizó a los 60, 120, 180 y 240 días (Cuadro 12). El análisis de varianza aplicado a esta variable indica que sí hay diferencia significativa en el factor riego a partir de los 180 días, donde los mayores diámetros se observaron en los regímenes con mayor humedad (Figura 9). La diferencia significativa observada fue en el

riego de 25 y 40 ml (1.78 y 1.72 mm respectivamente) en relación al riego de 10 ml (1.46 mm), sin presentar diferencia significativa entre el riego de 25 y 40 ml.

Por otro lado, el diámetro a la altura de la base en relación al factor sustrato, se observa diferencia significativa a partir de los 180 días, observando los mayores diámetros en el sustrato a base de turba-agrolita (1.85 mm), que en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave (1.45 mm), (Figura 10).

Cuadro 12. Análisis de varianza de dos vías aplicado al diámetro a la altura de la base (DAB) de *Pinus martinezii* Larsen por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.

Factor	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada	P
Diámetro a la altura de la base a los 60 días					
Riego	2	0.065	0.032	0.531	0.588
Sustrato	1	0.020	0.020	0.325	0.568
Riego-Sustrato	2	0.218	0.109	1.765	0.173
Diámetro a la altura de la base a los 120 días					
Riego	2	0.048	0.024	0.973	0.379
Sustrato	1	0.026	0.026	1.053	0.306
Riego-Sustrato	2	0.109	0.054	2.200	0.113
Diámetro a la altura de la base a los 180 días					
Riego	2	2.527	1.263	21.965	0.0001
Sustrato	1	4.040	4.040	70.239	0.0001
Riego-Sustrato	2	1.188	0.594	10.329	0.0001
Diámetro a la altura de la base a los 240 días					
Riego	2	4.366	2.183	37.896	0.0001
Sustrato	1	8.668	8.668	150.450	0.0001
Riego-Sustrato	2	2.052	1.026	17.811	0.0001

G.L. grados de libertad, S.C. suma de cuadrados, C.M. cuadrados medios, F calculada, P probabilidad.

Diámetro a la altura de la base de *P. martinezii*

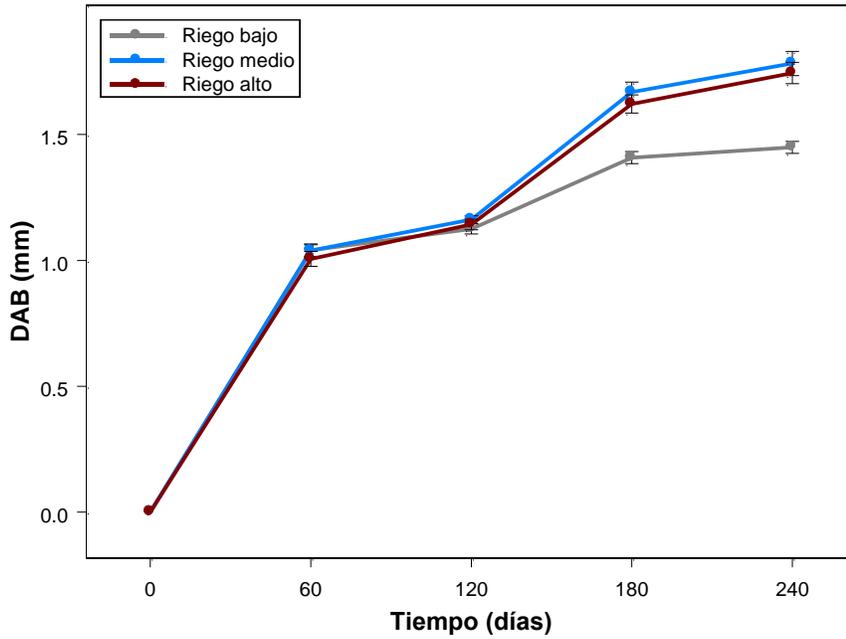


Figura 9. Diámetro a la altura de la base (DAB) de planta de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego: Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml y Alto: 40 ml a. Las barras indican el error estándar.

Diámetro a la altura de la base de *P. martinezii*

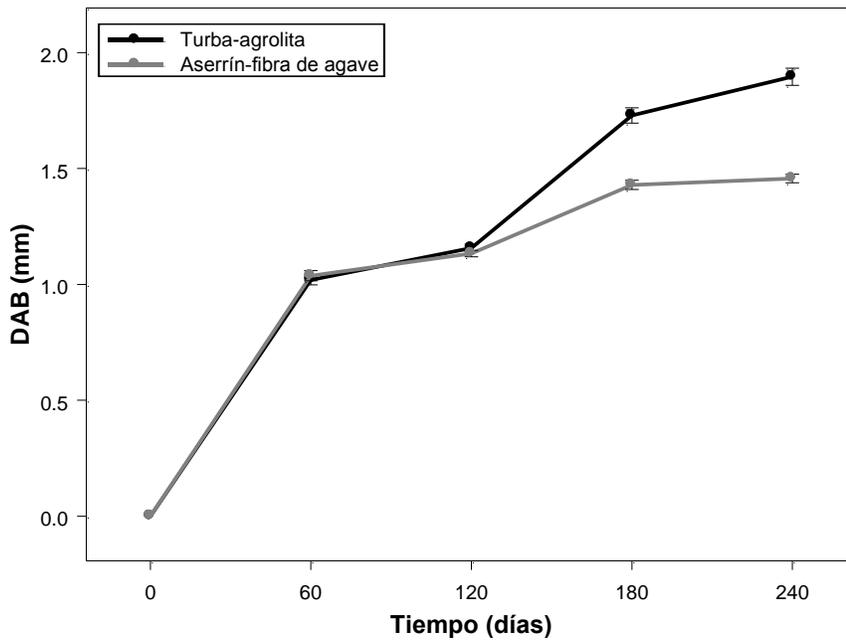


Figura 10. Diámetro a la altura de la base (DAB) de plantas de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave. Las barras indican el error estándar.

En la interacción del factor riego y el sustrato, la diferencia significativa se empieza a observar a partir de los 180 días, observando los mayores diámetros en los riegos con mayor humedad (25 ml: 2.08 mm y 40 ml: 1.95 mm), en el sustrato a base de turba-agrolita (Figura 11). En esta interacción no se observó diferencia significativa en el sustrato a base de turba-agrolita entre el riego de 25 y 40 ml.

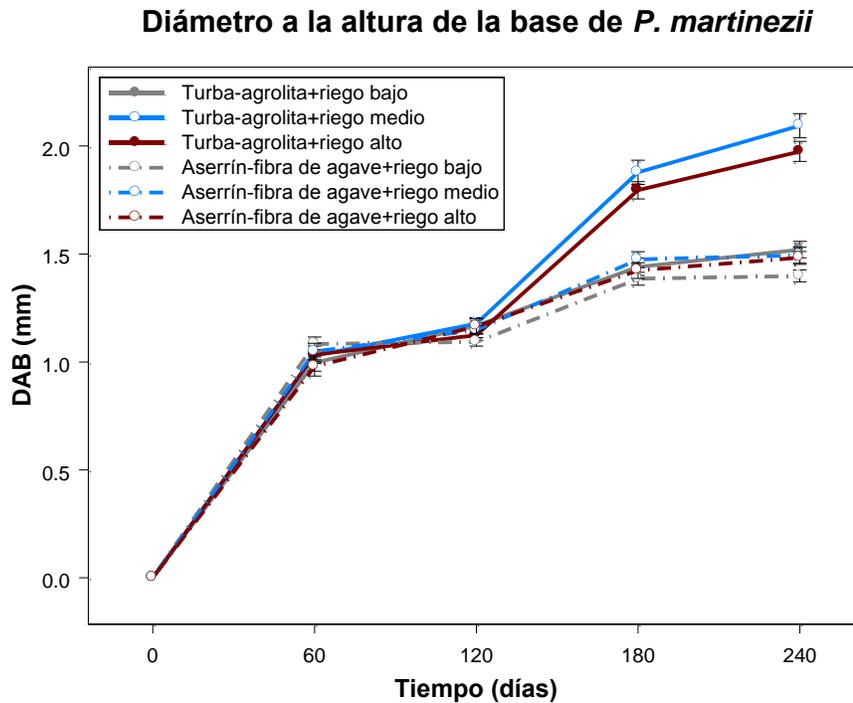


Figura 11. Diámetro a la altura de la base (DAB) de plantas de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en la interacción riego-sustrato. Las barras indican el error estándar.

8.3.3 Cobertura de *P. martinezii*

La cobertura de las plantas varió en relación al nivel de riego, al sustrato y a la interacción de ambos factores (Cuadro 13). El análisis de varianza aplicado a la cobertura, indica que sí hay diferencia significativa en el factor riego a partir de los 60 días, donde se puede observar que los mayores valores en cobertura se observan en el riego con 25 ml (Figura 12). La diferencia observada fue en el riego de 25 ml respecto al de 10 ml y entre 40 y 10 ml no hay diferencia significativa. Los valores de cobertura permanecieron constantes durante el experimento, con

ligeros incrementos después de los 180 días en los niveles de riego de 25 y 40 ml (24.95 cm y 20.81 cm respectivamente), mientras que en las plantas regadas con 10 ml (16.58 cm), se observó una disminución de la cobertura hacia el final del experimento, mostrando diferencia significativa entre los tres niveles de riego a los 240 días.

Cuadro 13. Análisis de varianza de dos vías aplicado a la cobertura de *Pinus martinezii* Larsen por periodo de evaluación que comprende 60, 120, 180 y 240 días.

Factor	G.L.	S.C.	C.M.	F calculada	P
Cobertura a los 60 días					
Riego	2	809.05	404.524	6.893	0.001
Sustrato	1	45.78	45.775	0.780	0.377
Riego-Sustrato	2	206.86	103.431	1.762	0.173
Cobertura a los 120 días					
Riego	2	467.75	233.874	4.594	0.01
Sustrato	1	151.23	151.229	2.970	0.086
Riego-Sustrato	2	186.93	93.466	1.836	0.162
Cobertura a los 180 días					
Riego	2	1385.08	692.539	9.448	0.0001
Sustrato	1	4892.16	4892.163	66.745	0.0001
Riego-Sustrato	2	747.25	373.626	5.097	0.001
Cobertura a los 240 días					
Riego	2	3627.24	1813.62	9.009	0.0001
Sustrato	1	14647.10	14647.10	72.760	0.0001
Riego-Sustrato	2	3123.78	1561.89	7.758	0.0001

G.L. grados de libertad, S.C. suma de cuadrados, C.M. cuadrados medios, F calculada, P probabilidad.

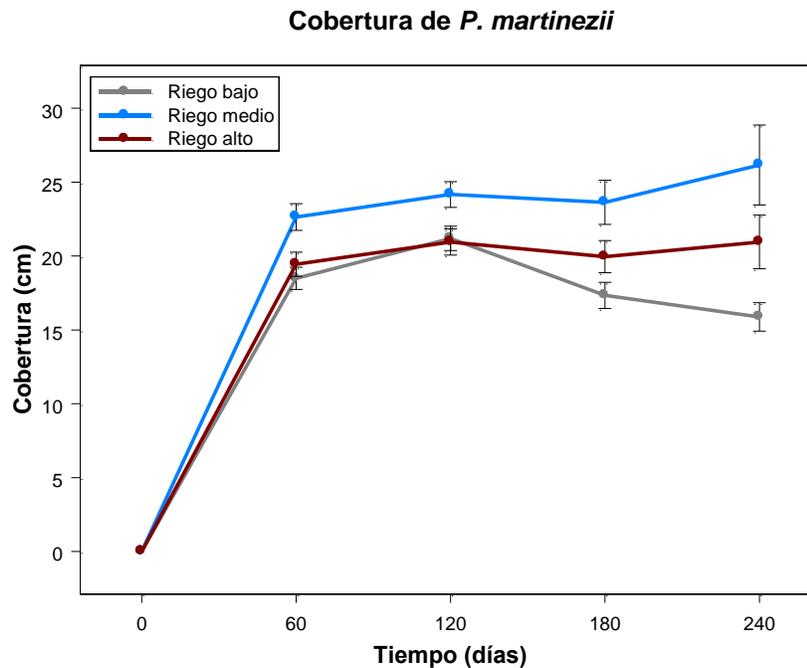


Figura 12. Cobertura de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los tres niveles de riego. Bajo: 10 ml, Medio: 25 ml, Alto: 40 ml. Las barras indican el error estándar.

Además, en la variable cobertura en relación al factor sustrato se observan diferencias significativas a partir de los 180 días, donde las mayores coberturas se observaron en el sustrato a base de turba-agrolita (28.92 cm) y las menores en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave (12.64 cm), (Figura 13). Por otro lado, se observa una disminución de la cobertura en el riego con menor humedad y en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave, debido a que la longitud de las hojas en los rebrotes de las plantas, que fue menor comparado con las hojas primarias.

En la interacción de los dos factores, la diferencia se observa partir de los 180 días. Los mayores valores en cobertura se observan en el sustrato a base de turba-agrolita con 25 ml (Figura 14). La diferencia significativa fue en el riego de 25 ml (38.01 cm) respecto al de 40 ml (28.47 cm), éste a su vez al de 10 ml (20.29 cm), y éste último fue diferente al resto de los tratamientos en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave.

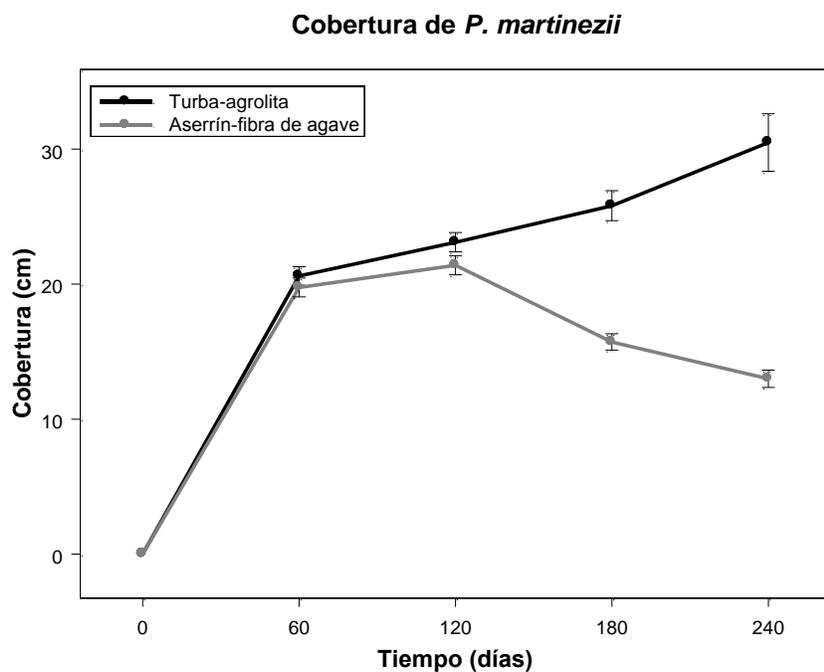


Figura 13. Cobertura de *Pinus martinezii* Larsen a través del tiempo en los sustratos turba-agrolita y aserrín-fibra de agave. Las barras indican el error estándar.

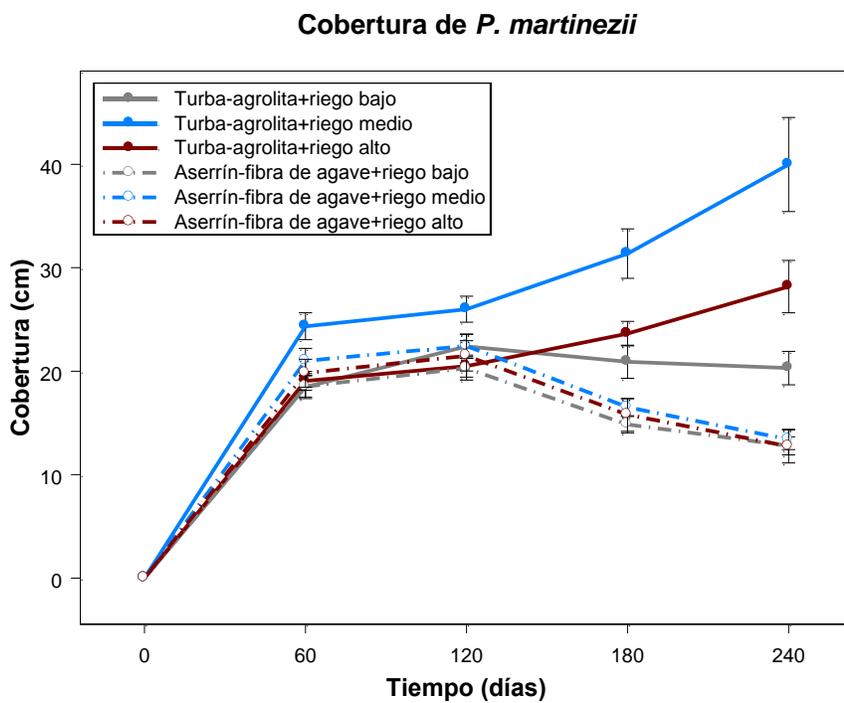


Figura 14. Cobertura de *Pinus martinezii* Larsen en la interacción riego-sustrato a través del tiempo. Las barras indican el error estándar.

8.4 Sobrevivencia

También se evaluó la sobrevivencia en relación al régimen de riego al final del experimento (240 días), observando una mayor sobrevivencia en el riego con 25 ml (79.28 %), seguida del riego con 10 ml (72.28 %) y por ultimo el riego con 40 ml (71.32 %), aunque no existe diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 15). *P. martinezii* sobrevive más con riego medio, por lo tanto, no es necesario una mayor cantidad de humedad ya que ésta afecta directamente la tasa de sobrevivencia.

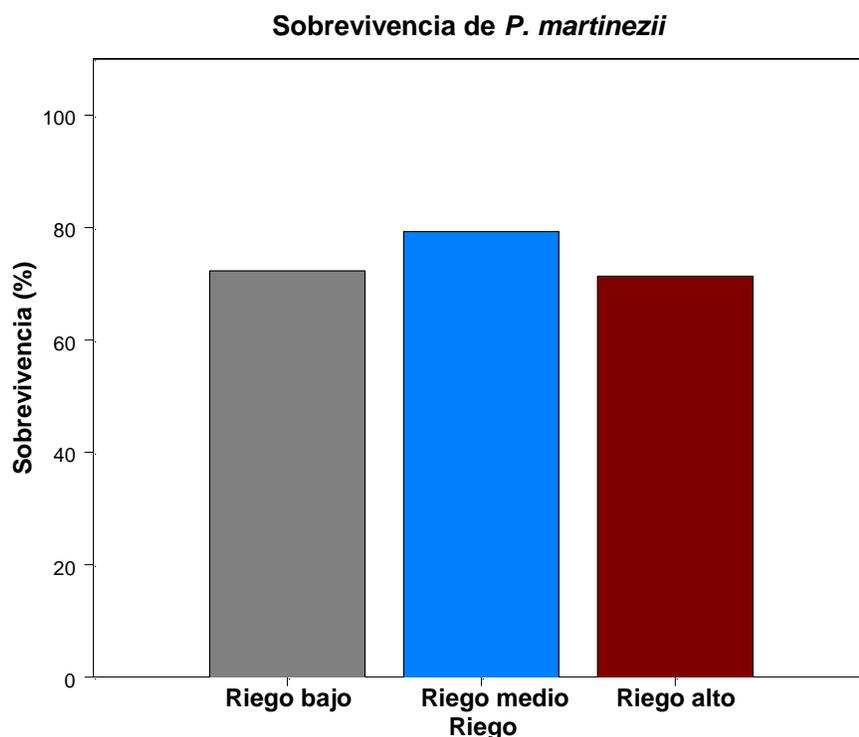


Figura 15. Sobrevivencia de plantas de *Pinus martinezii* Larsen en los tres niveles de riego: bajo: 10 ml, medio: 25 ml, alto: 40 ml.

Por otro lado, la sobrevivencia en relación al sustrato, se observa una mayor tasa de sobrevivencia en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave con un 80.23 % y en el sustrato a base de turba-agrolita 73 % de sobrevivencia, no habiendo diferencia significativa entre sustratos (Figura 16).

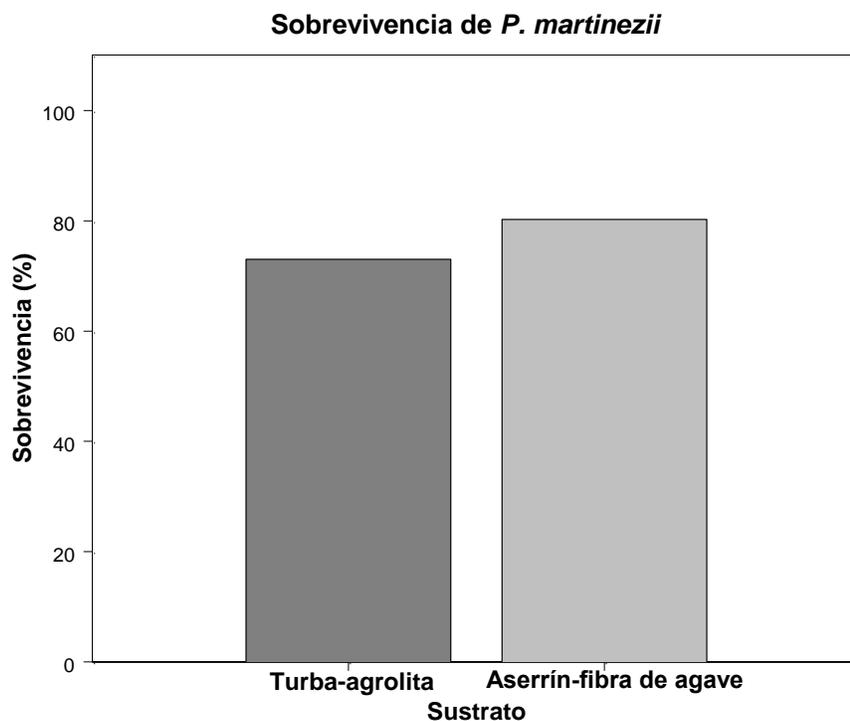


Figura 16. Sobrevivencia de plantas *Pinus martinezii* Larsen en los sustratos sustrato a base de turba-agrolita y aserrín-fibra de agave a los 240 días.

Igualmente se evaluó la sobrevivencia en la interacción de los dos factores, donde se observó una mayor sobrevivencia en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave con 25 y 10 ml de riego con 90 y 84 % de sobrevivencia respectivamente. En sustrato a base de turba-agrolita con 25 ml de riego se observó un 81 % de sobrevivencia, mientras que en con 40 ml un 76 % de sobrevivencia (Figura 17). La menor sobrevivencia se presentó en el sustrato a base de turba-agrolita con 10 ml de riego y en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave con 40 ml de riego, el análisis estadístico aplicado indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos.

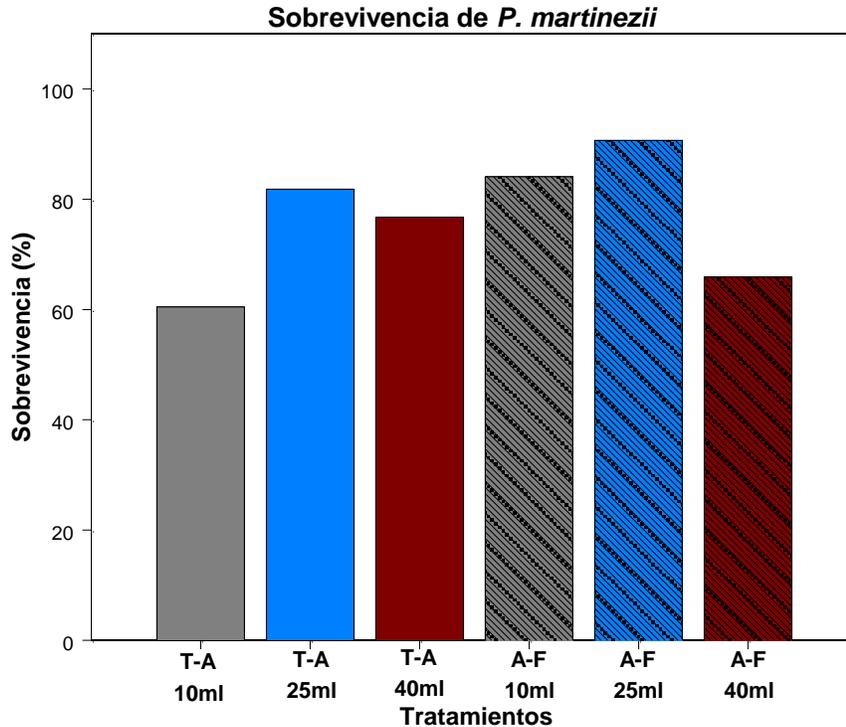


Figura 17. Sobrevivencia de *Pinus martinezii* Larsen en la interacción sustrato-riego a los 240 días. T-A: turba-agrolita; A-F: aserrín-fibra de agave.

8.5 Parámetros fisiológicos por el método destructivo en biomasa aérea

El análisis de varianza aplicado a la biomasa aérea indica que sí hay diferencia significativa en el riego, sustrato y la interacción de ambos factores (Cuadro 14), las plantas que fueron regadas con 25 ml de agua y que crecieron en el sustrato a base de turba-agrolita, así como en la interacción de ambos presentaron los mayores valores en altura, peso fresco y peso seco. En relación al riego, el incremento del riego de 25 ml en comparación del riego de 10 ml fue de 83 y 71 % para peso fresco y seco respectivamente. Mientras que el incremento en peso fresco y seco de acuerdo al tipo de sustrato fue de 161 y 125 % respectivamente, siendo menor en ambos casos las plantas crecidas en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave.

Cuadro 14. Análisis de varianza de dos vías aplicado a la biomasa aérea en plantas de *Pinus martinezii* Larsen a los 240 días. Los parámetros considerados son altura de la planta, peso fresco y seco de la parte aérea.

	Altura de la planta (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
Riego (ml)						
10	4.68 ± 0.142	b	0.53 ± 0.17	c	0.14 ± 0.04	c
25	6.16 ± 0.224	a	0.97 ± 0.62	a	0.24 ± 0.13	a
40	5.80 ± 0.202	a	0.78 ± 0.40	b	0.20 ± 0.09	b
Sustrato						
T-A	6.67 ± 0.162	a	1.10 ± 0.12	a	0.27 ± 0.06	a
A-F	4.42 ± 0.103	b	0.42 ± 0.04	b	0.12 ± 0.02	b
Interacción						
T-A 10	5.42 ± 0.160	c	0.65 ± 0.175	c	0.16 ± 0.469	c
T-A 25	7.85 ± 0.253	a	1.51 ± 0.409	a	0.36 ± 0.101	a
T-A 40	6.74 ± 0.238	b	1.15 ± 0.211	b	0.28 ± 0.052	b
A-F 10	3.94 ± 0.159	e	0.41 ± 0.061	d	0.11 ± 0.019	d
A-F 25	4.46 ± 0.171	de	0.43 ± 0.141	d	0.13 ± 0.041	d
A-F 40	4.87 ± 0.183	d	0.42 ± 0.088	d	0.12 ± 0.025	d

Promedios para la altura de planta, peso fresco, peso seco. ±: Desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey.

8.6 Parámetros fisiológicos por el método destructivo en biomasa de raíz

El análisis de varianza aplicado a la biomasa de raíz indica que sí existe diferencia significativa en los dos factores y en la interacción, excepto en la longitud de raíz (Cuadro 15). En este sentido se pudo observar que con los regímenes más altos de humedad se obtuvieron los mayores valores en la longitud de raíz, peso fresco y peso seco, mientras que las plantas que se encontraban en el sustrato a base de turba-agrolita presentaron los valores más altos en las variables evaluadas. La variable longitud de raíz en la interacción no hubo diferencia significativa, no así para el resto de las variables.

Cuadro 15. Análisis de varianza de dos vías aplicado a la biomasa de raíz en plantas de *Pinus martinezii* Larsen a los 240 días. Los parámetros considerados son longitud, peso fresco y seco de raíz.

	Longitud de raíz (cm)		Peso fresco (g)		Peso seco (g)	
Riego (ml)						
10	18.04 ± 3.69	b	0.55 ± 0.24	b	0.11 ± 0.04	c
25	21.67 ± 4.29	a	0.94 ± 0.52	a	0.18 ± 0.09	a
40	22.06 ± 2.66	a	0.81 ± 0.45	a	0.14 ± 0.06	b
Sustrato						
T-A	22.59 ± 0.91	a	1.10 ± 0.06	a	0.20 ± 0.01	a
A-F	18.59 ± 1.08	b	0.43 ± 0.04	b	0.09 ± 0.009	b
Interacción						
T-A 10	20.35 ± 2.73	ns	0.72 ± 0.2	b	0.14 ± 0.03	c
T-A 25	23.58 ± 4.04	ns	1.38 ± 0.33	a	0.27 ± 0.06	a
T-A 40	23.85 ± 2.27	ns	1.19 ± 0.30	a	0.20 ± 0.04	b
A-F 10	15.73 ± 3.06	ns	0.37 ± 0.09	c	0.08 ± 0.02	d
A-F 25	19.77 ± 3.76	ns	0.50 ± 0.17	c	0.10 ± 0.03	d
A-F 40	20.27 ± 1.62	ns	0.43 ± 0.13	c	0.09 ± 0.03	d

Promedios para la longitud de raíz, peso fresco, peso seco y volumen de raíz. ± Desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey.

Los incrementos del régimen de riego de 25 ml en comparación de 10 ml van de 20, 70 y 63 % para longitud, peso fresco y seco de raíz. También se logró observar una diferencia significativa entre el riego de 25 ml en comparación con el de 40 ml, observando un incremento del 25 % en la acumulación de materia seca. Respecto al sustrato, los incrementos entre las plantas crecidas en el sustrato a base de turba-agrolita en comparación con el sustrato a base de aserrín-fibra de agave van de 20, 155 y 122 % para longitud, peso fresco y seco de raíz.

Otros parámetros considerados fueron la longitud específica de raíz (LER), el volumen de raíz y la proporción parte aérea/raíz. El análisis de varianza aplicado a estos parámetros indica que

sí hay diferencia significativa en el riego, sustrato y la interacción de ambos factores, excepto para la relación parte aérea/raíz (Cuadro 16). Las plantas regadas con 25 ml de agua y crecidas en el sustrato a base de turba-agrolita presentaron un menor valor de longitud específica en comparación con el resto de las plantas. Entendiendo que la LER es un indicativo inverso de la cantidad de raíces laterales, se pudo observar que con menor cantidad de agua y en el sustrato a base de turba-agrolita desarrollaron más raíces laterales respecto a los demás tratamientos, así como un mayor volumen de raíz. Mientras que para la variable relación parte aérea/raíz no presentó diferencia significativa en ningún factor, ni en la interacción de ambos.

Cuadro 16. Análisis de varianza de dos vías aplicado a la longitud específica de raíz, volumen de raíz y la relación parte aérea/raíz en plantas de *Pinus martinezii* Larsen a los 240 días.

	Longitud específica de raíz (g/cm ²)		Volumen de raíz (ml)		Relación parte aérea/raíz	
Riego (ml)						
10	179.25 ± 52.33	ab	0.53 ± 0.11	c	1.31 ± 0.33	ns
25	150.08 ± 70.99	b	0.92 ± 0.54	a	1.32 ± 0.31	ns
40	193.02 ± 90.26	a	0.71 ± 0.24	b	1.47 ± 0.41	ns
Sustrato						
T-A	124.00 ± 11.02	b	0.96 ± 0.05	a	1.33 ± 0.11	ns
A-F	224.23 ± 17.81	a	0.47 ± 0.05	b	1.41 ± 0.01	ns
Interacción						
T-A 10	152.88 ± 45.67	c	0.57 ± 0.11	c	1.15 ± 0.24	ns
T-A 25	93.47 ± 25.84	d	1.41 ± 0.22	a	1.35 ± 0.29	ns
T-A 40	125.67 ± 27.39	cd	0.91 ± 0.12	b	1.48 ± 0.47	ns
A-F 10	205.63 ± 45.96	b	0.48 ± 0.08	d	1.46 ± 0.34	ns
A-F 25	206.70 ± 53.74	b	0.43 ± 0.19	d	1.29 ± 0.34	ns
A-F 40	260.37 ± 79.96	a	0.51 ± 0.14	d	1.46 ± 0.37	ns

Promedios para la longitud específica de raíz, volumen de raíz y relación parte aérea/raíz. ± Desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa de acuerdo a la prueba de Tukey.

8.7 Uso efectivo del agua

Las plantas de *P. martinezii* tienen un uso efectivo del agua (UEA) alto, ya que al disminuir la cantidad de agua adicionada se produce mayor biomasa, este patrón se puede observar en los dos sustratos (Figura 18). A nivel de sustrato, el UEA en el sustrato a base de turba-agrolita mostró mayores valores en comparación con el sustrato a base de aserrín-fibra de agave en todos los regímenes de agua. En el sustrato a base de turba-agrolita con 10 ml se observó la mayor cantidad de biomasa producida. La diferencia del UEA en relación a los sustratos va de 50 % en el riego de 10 ml, 166 % en el riego de 25 ml y 80 % en el riego de 40 ml. La biomasa es una variable que refleja la productividad en relación al agua, como indican nuestros resultados, para esta especie no es necesario agregar una mayor cantidad de agua ya que el incremento del UEA con 40 ml se presentó similar al de 10 ml.

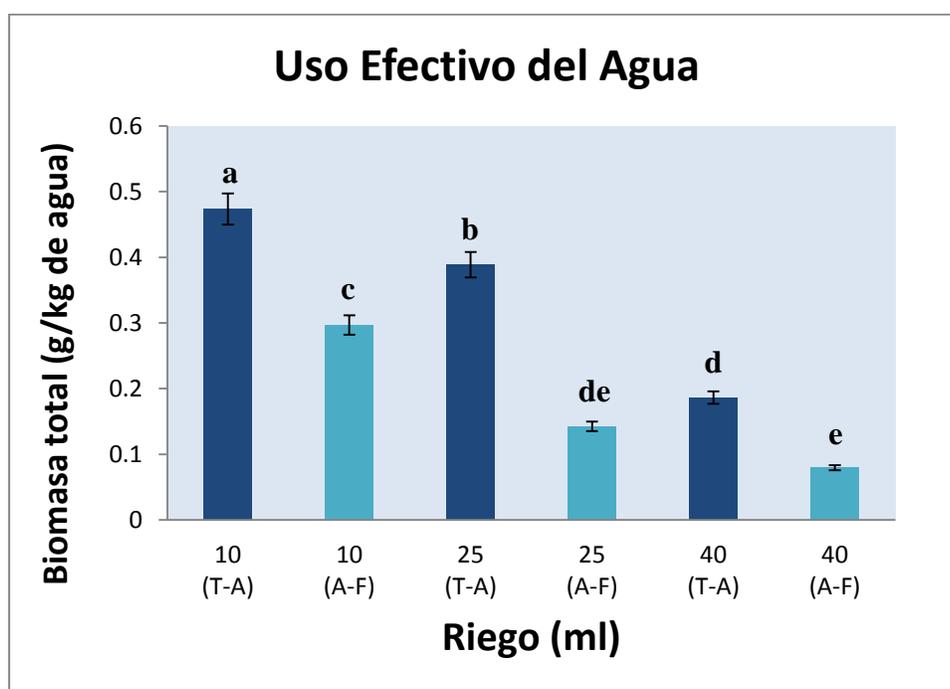


Figura 18. Promedio de la biomasa producida en base a la cantidad de agua adicionada en plantas de *Pinus martinezii* Larsen. T-A: turba-agrolita, A-F: aserrín-fibra de agave. Las barras indican la desviación estándar.

IX. DISCUSIÓN

9.1 Caracterización macroscópica de las semillas

La semilla es el medio principal para perpetuar las generaciones de la mayoría de las plantas y están consideradas como una de las fuentes más importantes de germoplasma, motivo por el cual las investigaciones sobre su morfología resultan prioritarias (Castillo *et al.*, 2004). En este sentido, el tamaño y peso de las semillas pueden afectar la distancia de dispersión, la penetración en el piso forestal y los requerimientos internos para romper el estado latente o para el crecimiento (Spurr y Barnes, 1982). Sin embargo, en especies de pinos, se ha observado que éstas características no afectan la distancia de dispersión o la elección del sustrato (Vander Wall, 2003). Por lo que la disminución de las poblaciones de *P. martinezii* no se podría relacionar con estos parámetros.

Específicamente el peso de la semilla es un parámetro que ha sido relacionado con el número de semillas, encontrando una relación negativa en pasto (Jakobsson and Eriksson, 2000), y con una relación positiva con la calidad de planta en *Pinus taeda* L. (Dunlap y Barnett, 1983; Barnett, 1997) y *Pinus sylvestris* L. (Castro *et al.*, 2008). En este experimento se observa que el número de semillas y el peso de las mismas, tienen una relación no significativa de 0.57, mientras que la relación con calidad de planta no fue realizada por no disponer de suficientes semillas para cada árbol. No obstante, se observa que la correlación entre el total de semillas precipitadas y el número total de semillas producidas fue de 0.94 siendo significativo, lo cual sugiere que los árboles localizados en Los Azufres que producen mayor cantidad de semilla podrían ser considerados como agentes de mayor producción de plantas de calidad.

La germinación por árbol dio como resultado que el árbol marcado como cinco fue el que mayor porcentaje de germinación presentó con el tratamiento pregerminativo de estratificación, seguido del árbol tres y seis. La germinación en *Pinus taeda* L. (Dunlap y Barnett, 1983; Barnett, 1997), *Pinus wallichiana* (Singh and Thapliyal, 2012), en encinos (Tripathi y Khan, 1990), *Castanea sativa* Mill (Cicek y Tilki, 2007), *Alangium lamarckii* (Ahirwar, 2012) y otras especies (Cordazzo, 2002), han mostrado que las semillas con mayor peso tienen un mayor porcentaje de germinación y en contrario también disminuye significativamente el porcentaje de germinación. Los resultados obtenidos no coinciden con

dichos reportes, dado que el coeficiente de correlación de Pearson entre el peso de semilla por árbol y el porcentaje de germinación por árbol es nulo (0.03). Este mismo patrón ha sido observado en *Pinus pinaster* (Wahid and Bounoua, 2013). Por lo que la selección de semillas de *P. martinezii* tomando en consideración el peso no es recomendable para este sitio.

Las semillas del pino tarasco presentaron una longitud media de 5.8 mm, con un intervalo que va de 5.28 a 6.60 mm de largo, el ancho promedio de la semilla fue de 4.58 mm con un rango de 4.19 a 4.87. El espesor promedio de las semillas fue de 2.66 mm y valores extremos de 2.47 a 2.85 mm y el valor promedio del peso fue de 0.024 g con un rango de 0.021 a 0.033 g. Hasta nuestro conocimiento no se tienen datos de estas características de la especie en cuestión. Tomando en consideración los valores obtenidos, se puede observar gran variación entre las semillas, lo cual es congruente con Spurr y Barnes (1982), quienes mencionan variación de las semillas a nivel inter e intra especies, así como variación a nivel de sitios. Las diferencias pueden ser producto de las condiciones ambientales de cada sitio y genéticas de cada especie (Aparicio *et al.*, 1999).

Las especies con semillas de mayor tamaño han mostrado que tienen una mayor probabilidad de establecimiento de las plantas (Moles and Westoby, 2004). En especies pioneras, el peso de la semilla presentó una relación directa con la supervivencia de las plantas (Dalling and Hubbell, 2002). A pesar de que no se logró evaluar la relación entre el peso y la sobrevivencia en vivero, los resultados obtenidos sobre peso y germinación sugieren que el tamaño medio de *P. martinezii* lo ubica como una especie con pocas probabilidades de establecerse en su medio natural.

En comparación con *P. greggii*, las semillas del pino tarasco son similares respecto a la longitud, mientras que el ancho y el peso resultó tener valores mayores *P. martinezii* que *P. greggii* (Morante *et al.*, 2005), pero con *P. chiapensis* presenta valores similares en longitud como en ancho de la semilla (Eguiluz, 1985). Mientras que las semillas de *Pinus oaxacana* (Méndez-Guzmán *et al.*, 2001) y de *P. patula* tienen valores más bajos en longitud, ancho y peso (Castillo *et al.*, 2004), comparado con las semillas de *P. martinezii*. Con respecto a las semillas de *P. cembroides* y *P. ayacahuite* las semillas del pino tarasco presenta valores menores en las características evaluadas (Sánchez Tamayo *et al.*, 2002; Munive *et al.*, 2008).

En base a lo anterior, las semillas de *P. martinezii* de Los Azufres se pueden considerar como de tamaño medio. Estas características son de gran utilidad para la descripción de esta especie, no así para describir el comportamiento ante las reducidas poblaciones. Lo anterior debido a que las características macroscópicas de las semillas como ancho y longitud de ala y semilla, han sido relacionadas con las características de los padres, tal como se ha mostrado para *Pinus halapensis* (Matziris, 1998).

9.2 Germinación y tratamientos pregerminativos

La importancia de las semillas radica esencialmente en ser el principal mecanismo de reproducción de la mayoría de las plantas. Para germinar deben encontrarse en condiciones ambientales de temperatura, humedad y concentración de oxígeno adecuadas. No obstante, en muchas especies, aun dándose estas condiciones, la germinación no tiene lugar, ello está motivado por un estado fisiológico de la semilla denominado latencia (Pérez y Pita, 1999). Para enfrentar los problemas de latencia, se han desarrollado diversas técnicas de pregerminación, dichas técnicas han permitido obtener una germinación rápida y más o menos uniforme. Algunos tratamientos que promueven la germinación en el género *Pinus* son: el remojo en agua oxigenada al 3 % por 12 horas en *Pinus arizonica* (Meraz y Bonilla, 2000) y remojo en agua durante 12 horas en *Pinus maximinoi* y *P. tecunumanii* (Valdés-Cancinos, 2005).

En *P. martinezii* ninguno de los tratamientos incrementó de forma significativa el porcentaje de germinación, más bien se logró observar una disminución significativa para los tratamientos de remojo en agua, escarificación ácida y una combinación de remojo y estratificación. No obstante, el tratamiento pregerminativo que aceleró considerablemente la velocidad de germinación fue la estratificación, obteniendo más del 50% de germinación a los seis días, mientras que el resto de los tratamientos presentó menos del 15% de germinación al mismo tiempo. Al igual que para las características macroscópicas, no se tienen reportes sobre tratamientos pregerminativos en la especie de estudio. Sin embargo, nuestros resultados coinciden con los reportados en *P. ponderosa* (Quiroz y Rojas, 2003), en *Pinus pinaster* (Fernández *et al.*, 1996), en *Ptelea trifoliata* L. (Hernández, 2011), quienes observaron una mayor velocidad de germinación bajo el mismo tratamiento. En nuestros resultados la estratificación aumentó la germinación aunque no hubo diferencia significativa con el control,

sin embargo se ha reportado que éste tratamiento incrementó el porcentaje de germinación en semillas de *Pinus taeda* L. (Belcher, 1995), en *Pinus roxburghii* Sargent (Ghildiyal *et al.*, 2009) y en otras especies como: *Argania spinosa* L. (Alouani y Bani, 2004), y *Echinocactus horzonthalonius* (Arredondo *et al.*, 2007) y en *Fagus silvatica* L. (Bilbao, 2010).

Recientemente se ha reportado que los tratamientos de hidratación incrementan el porcentaje de germinación (González *et al.*, 2008; Rodríguez *et al.*, 2012), los resultados obtenidos para *Pinus martinezii* en este trabajo no coinciden con dichos estudios, dado que el tratamiento de imbibición redujo la germinación, este comportamiento también fue observado por Araoz y Del Longo (2006) en semillas de mistol (*Ziziphus mistol*), en *Olneya tesota* (Sañudo *et al.*, 2009), donde la hidratación no produjo efectos sobre la germinación. El contenido de humedad óptimo para la germinación parece que varía en cada especie, observando que 24 horas de hidratación excedió el contenido de humedad óptima para la germinación en esta especie, por lo que se recomienda en futuros estudios considerar la evaluación del contenido de humedad óptimo para la germinación de *P. martinezii*.

En la escarificación con ácido sulfúrico se obtuvo, al igual que en el tratamiento de hidratación, un menor porcentaje de germinación respecto al control, probablemente se deba al tiempo de exposición en el ácido sulfúrico, el cual provocó la muerte del embrión, ya que éste tratamiento pregerminativo se ha aplicado normalmente a semillas de testa dura y resistentes a la desecación (Reza and Mohammad, 2006; Alderete *et al.*, 2010; Alderete *et al.*, 2010 b) en las cuales han respondido positivamente incrementando la germinación.

Probablemente las semillas de *P. martinezii* carecen de latencia embrionaria y de la testa, lo cual se soporta con lo visto en los diferentes tratamientos pregerminativos. Para el remojo en agua, la disminución de la germinación fue debido al exceso de hidratación alcanzada en solo 24 hrs y con respecto a la escarificación con ácido sulfúrico, probablemente se dañó el embrión por exceso de exposición a este tratamiento. Esta falta de latencia, se debe probablemente a que en las condiciones naturales del sitio donde se colectaron las semillas existe una alta humedad relativa. En este sentido, Vozzo (2010) ha observado por ejemplo que en especies tropicales desarrolladas en condiciones de alta humedad las semillas por éstas producidas no presentan latencia.

Otro aspecto que sugiere que *P. martinezii* probablemente no presenta latencia fue el resultado en el tratamiento control, el cual tuvo un alto porcentaje de germinación respecto a los demás tratamientos, excepto con la estratificación, aunque con éste último no hubo diferencia significativa. En *Pinus arizonica* y *P. durangensis* (Meraz y Bonilla, 2000), se observó un alto porcentaje de germinación en el control respecto a los demás tratamientos, lo cual coincide con los resultados observados en este experimento.

Las semillas de *P. martinezii* fueron almacenadas en refrigeración a 4 °C y durante el experimento se realizaron tres ensayos de germinación, en el primer ensayo a los 112 días de almacenamiento presentó 85 % de germinación, mientras que a los 153 días en un ensayo de germinación por árbol se obtuvo un 45 % de germinación y en un tercer ensayo a los 243 días de almacenamiento se observó un 58 % de germinación. Estos resultados muestran una disminución de la germinación debido al periodo de almacenamiento, probablemente las semillas de *P. martinezii* pierdan viabilidad rápidamente a través del tiempo. Nuestros resultados coinciden con lo reportado por Enríquez y col. (2004) en semillas de *Taxodium mucronatum* y en otras especies arbóreas (Orantes, 2013). Sin embargo, en el género *Pinus* no se conocen reportes de disminución del porcentaje de germinación en pocos días. Otros factores que pueden afectar la disminución de la germinación en las semillas aparte del tiempo de almacenamiento son la temperatura y la humedad relativa, así como el material de almacenamiento (Alfaro, 2010; Kandil *et al.*, 2013). En algunas especies la rápida disminución de la viabilidad de la semilla requiere nuevos métodos de almacenamiento como la criopreservación (Pita *et al.*, 1998; Chmielarz, 2009), este método ofrece una gran promesa para el almacenamiento a largo plazo de semillas de árboles forestales con características similares a *P. martinezii*.

De acuerdo a nuestros resultados *P. martinezii* no tiene latencia, probablemente pertenezca a las semillas recalcitrantes de acuerdo con la clasificación de Vozzo (2010), que se basa en el tiempo de viabilidad afectado por el contenido de humedad de la semilla. La falta de latencia en esta especie podría ser un factor de la disminución de la regeneración natural en Los azufres. Lo anterior se soporta con el resultado del menor porcentaje de germinación en el remojo en agua y en el pre tratamiento de escarificación ácida, considerando que en dicho sitio existe una alta humedad relativa y un pH ácido debido a las actividades geotérmicas. La

pérdida de viabilidad de la semilla en corto tiempo es otro aspecto que soporta la idea de que la disminución de las poblaciones se debe a la falta de latencia de la semilla. Por lo tanto se sugiere estudiar otros sitios donde se distribuye esta especie y comparar con lo obtenido en este estudio.

9.3 Crecimiento y supervivencia de *P. martinezii*

La productividad de un sustrato está ampliamente correlacionada con su fertilidad, siempre y cuando otros factores esenciales como la humedad, luz y temperatura sean favorables (Arteaga y Zenil, 2005). En el sustrato a base de turba-agrolita se pudieron observar los valores más altos de las variables de crecimiento de las plantas evaluadas del pino tarasco, comparados con los obtenidos en las plantas crecidas en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave. La utilización de turba ha mostrado beneficios para el crecimiento de plantas de pino tanto en forma individual (Olivo y Buduba, 2006; Aklibasinda *et al.*, 2011) como combinada con otros materiales, siendo en ambos casos enriquecida con solución nutritiva. En este experimento no se le adicionó nutrientes, por lo que la tasa de crecimiento pudo ser afectada. El contenido de nitrógeno y fósforo en la mezcla el sustrato a base de aserrín-fibra de agave fue de 0.56 % de nitrógeno total y 0.18 ppm de fósforo. Considerando que el nitrógeno representa entre 3 y 5 % en suelos con presencia de materia orgánica y un 0.14 % en suelos minerales, mientras que el fósforo puede presentarse desde 0.1 a 1 ppm, se podría decir que este sustrato es pobre en nutrientes reflejando en el crecimiento de las plantas ya que la tasa de crecimiento mensual en altura en promedio para el pino tarasco fue de 0.694 cm. Comparado con otras especies de pinos como *P. rudis* presentó 1.49 cm (Altamirano y Aparicio, 2002), *P. halepensis* presentó 1.92 cm (Royo *et al.*, 2001), *P. pseudostrobus* presentó 2.20 cm (Reyes *et al.*, 2005), *P. cembroides* presentó 2.62 cm (Sandoval *et al.*, 2000), en base a lo anterior se podría decir que *P. martinezii* es de lento crecimiento.

Los resultados de las diferentes mezclas a base de turba son variados. Las mezclas que han mostrado beneficios son turba-residuos de arroz (Tsakaldimi, 2006; Aklibasinda *et al.*, 2011); turba cenizas de madera (Rikala y Jozefek, 1990), turba-aserrín (Reyes *et al.*, 2005), turba-suelo (Sandoval *et al.*, 2000). Mientras que un efecto negativo se ha observado mezclando turba-corteza de pino en presencia de nutrientes (Rincón *et al.*, 2005), turba-perlita (Olivo y Buduba, 2006).

Otros sustratos que han sido empleados para el crecimiento de plantas de pino son corteza de pino y composta, observado que con la corteza se presenta menor crecimiento (Guerrero *et al.*, 2002), mientras que con suelo-hoja de encino (Arteaga *et al.*, 2003), fibra de coco (Campoverde, 2007), corteza de pino-aserrín-hidrogel (Maldonado *et al.*, 2010), arena-suelo-lombricomposta (Altamirano y Aparicio, 2002) y composta-suelo (Mañas, *et al.*, 2009) presentan un mayor crecimiento. También sustratos como la lombricomposta han dado buenos resultados en el crecimiento de *Carica papaya* L. (Acevedo y Pire, 2004), turba rubia en *Carica papaya* (Gil y Miranda, 2007), suelo, arena-suelo en *Psidium guajava* L. (Méndez *et al.*, 2009), aserrín-composta en *Lycopersicum esculentum* Mill (Ortega *et al.*, 2010), fibra de coco en *Capsicum annum* L. (Valles *et al.*, 2009), suelo-composta en algunas especies tropicales (Negreros *et al.*, 2010). En todos estos casos se ha observado que el crecimiento es dependiente del tipo de sustrato o combinación de sustratos y que está directamente relacionado con factores físico-químicos y cantidad de nutrientes. Sin embargo, otro factor que puede afectar el crecimiento de las plantas son los microorganismos del suelo como las bacterias (López, 2011; Camelo *et al.*, 2011) y los hongos (Probanza *et al.*, 2001).

Uno de los problemas más importantes para las plantas terrestres es evitar la deshidratación, dado que la disponibilidad de agua es uno de los principales factores limitantes de la actividad y producción de las plantas (Lena *et al.*, 2007). En especies del género *Pinus* la restricción de la humedad o riego limitado ha afectado negativamente las tasas de crecimiento (Timmer y Armstrong, 1989; Miller y Timmer, 1994; Royo *et al.*, 2001; Prieto *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2010; Maldonado *et al.*, 2011; Wertin *et al.*, 2012; Taeger *et al.*, 2013; Lindsey y Kilgore, 2013 y Bauweraerts *et al.*, 2014), mientras que con una mayor disponibilidad de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores. Estos reportes coinciden con los resultados obtenidos en este estudio, ya que las plantas que fueron regadas con el régimen de agua más bajo presentaron los valores menores en todas las variables evaluadas y las plantas que fueron regadas con niveles mayores presentaron un mejor crecimiento.

Los parámetros altura y cobertura fueron los más sensibles a la disponibilidad de agua durante y al final del experimento, dado que desde los 60 días se observó diferencia significativa en los tratamientos con mayor y menor cantidad de agua. En el caso particular de cobertura, las plantas con el régimen de riego menor (10 ml) presentaron una disminución significativa en

comparación de los otros niveles de riego mayores al final del experimento. Este menor crecimiento en las plantas regadas con menor cantidad de agua se debe probablemente a la disminución en la absorción de nutrientes, tal como se ha observado en otros experimentos (Timmer y Miller, 1991). La disminución del crecimiento de plantas ha sido observada como independiente de la temperatura y de las condiciones de dióxido de carbono (Wertin *et al.*, 2012) y los resultados obtenidos en este experimento sugieren que la disminución de crecimiento en plantas de pino es independiente también del tipo de sustrato, este comportamiento también fue observado en *Pinus greggii* (Maldonado, 2011).

9.4 Supervivencia de *P. martinezii*

La fertilidad del suelo y la disponibilidad del agua son los principales factores limitantes del crecimiento de una planta (Guehl *et al.*, 1995), afectando también la supervivencia (Livingston y Black 1987). En algunas especies del género *Pinus* se ha observado que las cantidades de riego afectan la sobrevivencia (Fernandez *et al.*, 1996; Sandoval *et al.*, 2000; Atala *et al.*, 2012). Los resultados en este experimento muestran que la sobrevivencia del pino tarasco varía en función de la cantidad de agua, aunque no existe diferencia significativa. La menor sobrevivencia se tuvo con la mayor y la menor cantidad de agua (20 y 80 ml por semana). Caso contrario con lo que sucedió con *P. cembroides*, donde se observó una menor mortalidad en riego con 80 ml por semana (Sandoval *et al.*, 2000). Nuestros resultados sugieren que *P. martinezii* no tolera condiciones extremas de humedad en el suelo, esto es, condiciones limitantes y condiciones de saturación. Las condiciones de humedad del sitio de colecta son muy homogéneas durante el año, por lo que la sobrevivencia de esta especie en vivero podría estar íntimamente relacionada a condiciones ambientales de desarrollo. Las relaciones entre las condiciones del hábitat y la dormancia de las especies en condiciones *ex situ* han sido documentadas (Meyer y Kitchen, 1994; Vandeloek *et al.*, 2008). Sin embargo, el comportamiento a nivel de sobrevivencia y las condiciones del hábitat no han sido documentados.

La restricción del agua en el sitio de desarrollo, ayuda a formar especies con cierta capacidad a tolerar el estrés hídrico y a la sobrevivencia en campo (Maldonado, 2010) y dichas especies que se adaptan al estrés hídrico, pueden usarse en programas de conservación y restauración (Mantiñón *et al.*, 2010). Por lo tanto, las semillas colectadas en la localidad de Los Azufres no

se recomiendan para estos tipos de programas en sitios perturbados o con alta capacidad de retención de agua. Sin embargo, para programas de conservación en sitios no perturbados se podría propagar *P. martinezii* con riego medio, dado que no es necesario una mayor cantidad de humedad ya que ésta afecta directamente la tasa de sobrevivencia.

La altura, diámetro a la altura de la base y la cobertura de las plantas de *Pinus martinezii* al final del experimento (6.67 cm, 1.85 mm y 28.93 cm respectivamente) fue mayor en el sustrato a base de turba-agrolita independiente del régimen de agua. La mezcla a base de turba ha mostrado mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que la mezcla a base de aserrín (Sánchez-Córdoba *et al.*, 2008; Maldonado, 2010). Además, se observó que el aserrín puede considerarse como medio de crecimiento de plantas con la adición de materiales que subsanen la falta de nutrientes (Cheng, 1987; Reyes *et al.*, 2005). Por lo tanto, el menor crecimiento de las plantas en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave se podría explicar mediante la menor CIC y la falta de nutrientes (0.56 % de nitrógeno total y 0.18 ppm de fósforo). A pesar del menor crecimiento de las plantas, la mezcla el sustrato a base de aserrín-fibra de agave podría considerarse para crecimiento de plantas forestales con la mezcla de otros sustratos para compensar los requerimientos nutritivos, ya que presentó mayor sobrevivencia al final del experimento.

Los productos de árboles forestales para crecimiento de plantas han sido utilizados exitosamente y se ha observado que la variación del crecimiento de acuerdo al tipo de sustrato podría ser de acuerdo a la especie. En algunas especies se ha observado un crecimiento directamente proporcional a la cantidad de corteza de pino (García *et al.*, 2001; Rivas *et al.*, 2010, Gómez y Robbins, 2011). La posible razón de tener un mayor crecimiento ha sido atribuido a la mejor capacidad de intercambio catiónico de la corteza de pino en comparación con otros sustratos utilizados. Por lo que en trabajos futuros se sugiere que se determinen también propiedades del sustrato como CIC.

El crecimiento de *P. martinezii* de manera general es lento, ya que a partir de los 180 días el crecimiento no es tan pronunciado, es decir se mantiene constante. Probablemente este lento crecimiento se deba a una menor disponibilidad de nutrientes en el sustrato, tal y como se ha observado en coníferas (Eckhard *et al.*, 1997), en donde una baja disponibilidad de nutrientes modifica el sistema radical y disminuye la biomasa aérea. Esto puede ser por una disminución

en la absorción, ya que los nutrientes dentro del suelo se mueven a la superficie de la raíz por flujo de masa o por difusión. En el flujo de masa, los nutrientes son llevados por el movimiento del agua a través del suelo hacia la raíz. La cantidad de nutrientes que llega a la raíz por flujo de masa depende de la velocidad del flujo de agua a través del suelo hacia la planta, el cual depende a su vez de la velocidad de transpiración y de los niveles de nutrientes en la solución del suelo y en consecuencia cuando un suelo se seca, la resistencia al flujo del agua incrementa (Reynaldo, 2002).

La falta o escasez de agua, es uno de los factores con mayor peso en la limitación del crecimiento. En plantas de *Pinus martinezii* la variabilidad del crecimiento fue influenciada por los niveles de riego, obteniendo mayores valores en altura, diámetro a la altura de la base y la cobertura de las plantas durante y al final del experimento en el riego con mayor cantidad de agua (25 y 40 ml), mientras que con un régimen bajo, el crecimiento fue menor. En especies del género *Pinus* se han observado tasas de crecimiento altas con mayor disponibilidad de agua o con mayores frecuencias de riego (Fernandez *et al.*, 1996; Prieto *et al.*, 2007; Lindsey and Kilgore, 2013) y menor crecimiento con regímenes de agua limitada, este patrón también ha sido observado en otras especies (Casierra y Roa, 2006; May *et al.*, 2011). La disponibilidad de agua tiene el efecto directo de disminuir la turgencia y el cierre de estomas provocando una menor área foliar e indirectamente limitando el incremento de biomasa (May *et al.*, 2011; Gómez-Romero *et al.*, 2013). La disminución del crecimiento también es atribuido por un desorden enzimático causado por la limitación de agua, lo cual explica el menor crecimiento de este pino. Cuando se incrementó de 25 a 40 ml el régimen de riego, no se observó un mayor crecimiento en las plantas de pinos. Las necesidades fisiológicas de las plantas varían en función de la especie, ya que en algunos casos (Luna *et al.*, 2012) las variables de crecimiento no fueron afectadas por la disponibilidad de agua. Por lo tanto, las condiciones óptimas de riego para esta especie de pino son a capacidad media de campo.

9.5 Relación parte aérea/raíz de *P. martinezii*

Las plantas en general responden de diferente manera a sustratos ricos o pobres en nutrientes, mayor o menor cantidad de agua, dependiendo en la mayoría de los casos de la especie, teniendo un crecimiento que puede ser más pronunciado en la parte aérea o con un aumento de la raíz y también puede que no se produzca ninguna respuesta (Eckhard *et al.*, 1997). Al igual

que en este estudio, en *P. pinaster* (Fernandez *et al.*, 1996) y *Pinus taeda* (Torreano and Morris, 1998) no encontraron diferencias significativas entre los tratamientos de riego para la relación parte aérea/raíz, es decir, la distribución de carbono destinado para crecimiento de ambas partes no fue afectada por el nivel de agua. Mientras que en *Pinus pinceana* (Martíñon *et al.*, 2010; Córdoba *et al.*, 2011), *P. ponderosa* (Mcmillin y Wagner, 1995), *P. greggii* (Hernández *et al.*, 2001) y *P. leiophylla* (Martínez *et al.*, 2002) han reportado una reducción en la relación parte aérea/raíz con la restricción del riego, lo cual es indicativo de mayor distribución de carbono asimilado hacia la raíz.

En otras especies se ha observado de igual manera una disminución de la proporción parte aérea/raíz con la limitación de agua (Casierra y Roa, 2006). Por otro lado, la distribución de carbón en la planta cambia en función del CO₂ (Callaway *et al.*, 1994; Prior *et al.*, 1997), sin embargo, bajo condiciones ilimitadas de nutrientes, esta distribución permanece sin cambios (Eamus y Jarvis, 1989). También se ha observado que la proporción raíz/parte aérea disminuye con la aplicación de fertilizante, esto es, aumenta el carbón destinado a la parte aérea (Wang *et al.*, 1988; Guehl *et al.*, 1995; Stoval, 2012). Otro factor que ha sido estudiado es la procedencia y en este caso, las plantas que proceden de sitios secos presentan menor proporción parte aérea/raíz y los que proceden de sitios húmedos destinan mayor cantidad de carbón a la parte aérea (mayor proporción parte aérea/raíz) (Bongarten y Teskey, 1987; Cregg 1994; Hernández *et al.*, 2001).

La reducción de la relación parte aérea/raíz es un mecanismo que utilizan las plantas en condiciones de estrés hídrico para mantener un equilibrio más favorable entre la capacidad de absorción y uso del agua (Cregg, 1994). Esta situación se presenta probablemente cuando existe una mayor disponibilidad de nutrientes. Por tanto, en la especie en cuestión, la falta de diferencias en la proporción de parte aérea/raíz con diferentes niveles de riego es probablemente debida a la falta de nutrientes de los sustratos. Con estos resultados se podría decir que *P. martinezii* probablemente no tiene capacidad de adaptarse a condiciones de estrés dado que no hay un cambio en la distribución de materia seca hacia la raíz. Sin embargo, se recomienda hacer un estudio sobre el efecto de los niveles de agua considerando diferentes niveles de nutrición.

9.6 Crecimiento de raíz de *P. martinezii*

La distribución de carbono asimilado en una planta varía en respuesta a limitaciones en la disponibilidad de agua (Córdoba *et al.*, 2011; Maldonado *et al.*, 2011). En especies de pino se ha observado que un incremento en la disponibilidad de agua provoca un incremento significativo en la longitud y peso seco de raíz (Prieto *et al.*, 2007; Lindsey y Kilgore, 2013). En el caso del pino de este estudio, también se pudo observar un incremento significativo en la longitud y peso seco de la raíz bajo diferentes niveles de riego. Sin embargo, cuando las plantas se sometieron a condiciones de alta humedad (80 ml por semana), no se presentó un incremento significativo en relación al nivel de agua inmediato anterior, esto es, no hubo diferencia significativa entre 50 y 80 ml por semana. Por lo tanto, los resultados entre estos dos niveles de riego sugieren que los sustratos no tenían suficiente cantidad de nutrientes para soportar un mayor crecimiento. Lo anterior en base a resultados mostrados por Eckhard y colaboradores (1997), quienes observaron un incremento significativo en longitud y peso seco de raíz para *Pinus sylvestris* en el tratamiento que recibió un alto contenido de nutrientes.

En otras especies, se ha observado que bajo condiciones limitantes de agua la mayoría de las plantas reducen el crecimiento de los órganos aéreos, para favorecer el crecimiento de la raíz (Casierra y Roa, 2006), con lo cual tendrán una mayor superficie de contacto con las partículas del suelo y mayor posibilidad de toma de agua. Este comportamiento no fue apreciado en pino tarasco, lo cual sugiere que muchos aspectos relativos a parámetros fisiológicos de esta especie, están altamente gobernados por la disponibilidad de nutrientes y que el nivel de agua y el tipo de sustrato son factores secundarios.

9.7 Longitud específica de raíz

La longitud específica de raíz (LER) disminuyó significativamente en relación al tipo de sustrato, mientras que el patrón de comportamiento en relación al nivel de riego no es claro. Dentro de los factores que afectan la LER se encuentran la fertilización y la presencia de elementos que afectan el pH, mientras que factores como sequía, irrigación, elevadas cantidad de CO₂, sombra, perturbación de suelo y profundidad de suelo no afectan significativamente la LER (Zhou y Shangguan, 2007; Ostonen *et al.*, 2007). Los resultados muestran que el régimen de agua no afectó la LER de las plantas de *P. martinezii*, dado que las plantas regadas con 20

ml por semana no tienen una menor LER significativamente en comparación con las plantas regadas con 50 y 80 ml por semana, lo cual coincide con lo antes mencionado.

En los datos de LER en relación al factor sustrato, se observó una disminución significativa en el sustrato a base de turba-agrolita en relación al sustrato a base de aserrín-fibra de agave, lo cual podría indicar que a pesar de ser ambos sustratos carentes de nutrientes, el sustrato a base de turba-agrolita cuenta con algunas mínimas reservas de nutrientes en relación al otro sustrato utilizado. La disponibilidad de nitrógeno ha mostrado un efecto inverso en la LER (Gebauer *et al.*, 1996), lo cual soporta la idea de que la el sustrato a base de turba-agrolita tiene mayor disponibilidad de nutrientes. A pesar de encontrar cerca de 0.56 % de nitrógeno total en el sustrato a base de aserrín-fibra de agave, se observó una menor LER, lo cual indica que no se encuentra disponible. Por tanto, se recomienda adicionar algún material para compensar la deficiencia de algunos nutrientes y el mecanismo de poner disponible el nitrógeno.

9.8 Uso Efectivo del Agua (UEA)

El uso efectivo del agua UEA o la eficiencia en el uso del agua (EUA) son definidos como la cantidad de carbono fijado expresado ya sea en CO₂ asimilado, en biomasa total o en producción de semillas, en relación al agua consumida medida a través de la transpiración, por la evapotranspiración o bien por el aporte total de agua al sistema (Silva y Acevedo, 1995). En el caso de EUA se podría indicar como eficiencia de la transpiración y el segundo representa en mayor medida la eficiencia del uso de agua (Blum, 2009). Por lo que en este trabajo se hace referencia al UEA.

Pinus martinezii presenta en promedio un UEA de 0.26 g kg⁻¹ H₂O utilizada, en esta especie se observó que al tener una limitación de agua ésta incrementa la eficiencia en el uso del agua, es decir, una menor disponibilidad de agua tiene un efecto mayor sobre la producción, este patrón se pudo observar en ambos sustratos. Siendo más evidente en el sustrato a base de turba-agrolita, probablemente porque presentaba más nutrientes disponibles que el sustrato a base de aserrín-fibra de agave. Los estudios en relación al uso de agua por las plantas forestales han sido reportados como la cantidad de CO₂ asimilado en función del agua transpirada (conductancia estomal) (Knapp y Soulé, 2010; Matín-Benito *et al.*, 2010; Sun *et al.*, 2010; De Miguel *et al.*, 2011; Nock *et al.*, 2011) y muy escasamente como la cantidad de materia seca

producida por unidad de agua adicionada al contenedor. En plántulas de *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus contorta* (Smit y Van Den Driessche (1992) obtuvieron una EUA de 5.4 g kg⁻¹ H₂O para el pino y de 6.1 g kg⁻¹ H₂O para el abeto con la adición de nutrientes. Mientras que Linderson y colaboradores (2007), obtuvieron un promedio de la EUA en tres especies del genero *Salix* de 5.3 g kg⁻¹ H₂O. Los valores del pino tarasco respecto al UEA son muy bajos en comparación con los del pino y el abeto, sin embargo, estos valores fueron afectados por la baja disponibilidad de nutrientes. Esta idea es soportada por algunos reportes, en los cuales se ha observado que la EUA es incrementada por la fertilización (Sheriff *et al.*, 1986; Guehl *et al.*, 1995; Ripullone *et al.*, 2004).

Independiente del sustrato, el UEA fue sensitivo a la disponibilidad de agua. Lo cual corrobora que el sitio de colecta tiene condiciones de alta disponibilidad de agua. En este sentido se ha observado que las plantas de *P. sylvestris* procedentes de sitios con ciclos largos de sequía son menos sensitivas a la disminución de agua (Taeger *et al.*, 2013).

X. CONCLUSIONES

- ✓ Las características macroscópicas evaluadas en semillas de *P. martinezii* aparentemente no tienen efecto sobre la germinación, ya que no se encontró alguna relación entre el tamaño y peso de la semilla con el porcentaje de germinación por árbol, indicando que son características hereditarias.
- ✓ El mejor tratamiento pregerminativo fue la estratificación, ya que éste incrementó considerablemente la velocidad de germinación respecto a los demás tratamientos, observado hasta un 50% de germinación al sexto día.
- ✓ *P. martinezii* presenta lento crecimiento en comparación con otras especies.
- ✓ A pesar de que esta especie tuvo mayor crecimiento en altura en el sustrato a base de turba-agrolita, se podría considerar el sustrato a base de aserrín-fibra de agave en producción a gran escala debido a que tiene una mayor sobrevivencia.
- ✓ *P. martinezii* mostró un mayor uso efectivo del agua bajo condiciones limitantes de humedad.
- ✓ Los resultados obtenidos en este estudio, contribuyen al conocimiento sobre la germinación y propagación de *P. martinezii*, ya que es una especie registrada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, como una especie endémica sujeta a protección especial y hasta donde se tiene conocimiento, la información sobre su manejo integral es nula.
- ✓ Las semillas del género *Pinus* se consideran como ortodoxos, sin embargo, en base a los resultados de germinación y tratamientos pregerminativos, la semilla de *Pinus martinezii* se podría clasificar como recalcitrante, sin embargo, podría ser el efecto del estrés al que están sometidas las poblaciones.

XI. RECOMENDACIONES

11.1 Estrategia de propagación de *Pinus martinezii* a nivel de vivero

- . Teniendo las semillas se recomienda aplicarles la prueba de flotabilidad, para separar las semillas vanas de las posibles viables, seguida de una estratificación en frío a 4°C por 15 días, para incrementar y acelerar la germinación, posteriormente se recomienda como sustrato de propagación la mezcla turba-agrolita (1:2 v/v), con un riego de 25 ml con agua corriente dos veces por semana, siguiendo dicha estrategia se podría obtener plantas de mejor calidad.
- . Considerando el sustrato a base de aserrín-fibra de agave como un sustrato alternativo se recomienda agregar alguna fuente de nutrientes para obtener plantas de calidad.
- . Valorar la porosidad de los sustratos a través del tiempo.
- . Para estudios posteriores relacionados con el uso efectivo del agua se recomienda utilizar sustratos con mayor facilidad de humectación.
- . Acciones de reforestación en los sitios recomendados por Leal-Nares *et al.*, (2012).

XII. BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, C. y R. Pire. 2004. Efectos del lombricomposta como enmienda de un sustrato para el crecimiento del Lechoso (*Carica papaya* L.). *Interciencia*. 29 (5): 274-279.
- Ahirwar, J. R. 2012. Effect of seed size and weight on seed germination of *Alangium lamarckii*, Akola, India. *Research Journal of Recent Sciences*. 1: 320-322.
- Alderete, C. A., D.A. Rodríguez-Trejo, V. Espinosa-Hernández, E. Ojeda-Trejo and N. De la Cruz-Landero, 2010. Effects of Different Scarification Treatments on the Germination of *Lupinus leptophyllus* Seeds. *International Journal of Botany*, 6: 64-68.
- Alderete, C. A., L. Aguilar-Marín, N. De la Cruz-Landero, J.J. Guerra-Santos, R. Brito, E. Guevara and R. Gelabert, 2010. Effects of Scarification Chemical Treatments on the Germination of *Crotalaria retusa* L. Seeds. *Journal of Biological Sciences*. 10: 541-544.
- Alfaro, J. 2010. Evaluación de tres sistemas de almacenamiento de semilla de sorgo (*Sorghum bicolor*) variedad Sureño, en Zamorano. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras. 21 pp.
- Alouani, M. and F. Bani-Aameur. 2004. Argan (*Argania spinosa* (L.) Skeels) seed germination under nursery conditions: Effect of cold storage, gibberellic acid and mother-tree genotype. *Ann. For. Sci.* 61: 191–194.
- Altamirano, Q. M. T. y A. Aparicio-Rentería. 2002. Efecto de la lombricomposta como sustrato alternativo en la germinación y crecimiento inicial de *Pinus oaxacana* Mirov., y *P. rudis* Endl. *Foresta veracruzana*. 4 (1): 35-40.
- Álvarez-Moreno, R. J. 1987. Anatomía y secado en árboles resinados y no resinados de *Pinus martinezii* Larsen. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. U.M.S.N.H. 63 pp.
- Aparicio-Rentería A., H. Cruz Jiménez y J. Alba Landa. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* SCH. ET CHAM, *P. montezumae* Lamb. Y *P. Pseudostrobus* Lindl., en condiciones de vivero. *Foresta veracruzana*. 1: 31-34.
- Araoz, S. D. y O. T. Del Longo. 2006 Tratamientos pregerminativos para romper la dormición física impuesta por el endocarpo en *Ziziphus mistol* Griseb. *Quebracho*. 13: 56-65.
- Arredondo, G. A., A. Rocha Ruiz y D. J. Flores Rivas. 2007. Rompimiento de latencia en semillas de cinco especies de cactáceas del desierto Chihuahuense. *Campo Experimental San Luis*. CIRNE-INIFAP. San Luis Potosí, México. Folleto Técnico Núm. 32. 19 p.
- Arteaga, M. B. y J. Zenil Rubio. 2005. Fertilización en vivero de *Pseudotsuga macrolepis* Flous. *Foresta Veracruzana*. 7 (1): 41-45.

- Arteaga, M. B., S. León y C. Amador. 2003. Efecto de la mezcla de sustratos y fertilización sobre el crecimiento de *Pinus durangensis* Martínez en vivero. *Foresta veracruzana*. 5: 9-16.
- Atala, C., E. Muñoz-Capponi, G. Pereira, E. Navarrete, R. Oses and M. Molina-Montenegro. 2012. Impact of mycorrhizae and irrigation in the survival of seedlings of *Pinus radiata* D. Don subject to drought. *Gayana Bot.* 69(2): 296-304.
- Bacchetta, G., A. Bueno-Sánchez, G. Fenu, B. Jiménez-Alfaro, E. Mattana, B. Piotto y M. Virevaire. 2008. Conservación *ex situ* de plantas silvestres. Principado de Asturias / La Caixa. 378 pp.
- Baena, M., S. Jaramillo y J. E. Montoya. (2003). Material de apoyo a la capacitación en conservación *in situ* de la diversidad vegetal en áreas protegidas y en fincas. Bioersivity International. 130 pp.
- Barnett, J. P. 1997. Relating pine seed coat characteristics to speed of germination, geographic variation, and seedling development. *Tree Planters' Notes* 48: 38-42.
- Belcher, E. W. 1995. Effect of seed condition, stratification, and germination temperature on the laboratory germination of Loblolly Pine Seed. *Tree Planters' Notes*. 46 (4): 139-142.
- Bezaury-Creel, J. E. 2009. El Valor de los Bienes y Servicios que las Áreas Naturales Protegidas Proveen a los Mexicanos. The Nature Conservancy Programa México - Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. México. 36 pp.
- Bilbao, L. E. 2010. Estudio de tratamientos pregerminativos en semilla de *Fagus silvatica* L. Tesis profesional. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Pública de Navarra. 67 pp.
- Camelo, R. M., P. Vera y R. Bonilla. 2011. Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. Manejo y conservación de suelos y agua. *Ciencia y tecnología agropecuaria*. 12 (2): 159-166.
- Campoverde, M. J. 2007. Efecto del sustrato y la fertilización en el crecimiento de *Pinus patula* Schl. Et Cham., en vivero. Tesis de Maestría. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 113 pp.
- Casierra, P. F. y H. A. Roa. 2006. Effect of moderate soil water deficit on growth and dry matter partitioning of granadilla plants (*Passiflora ligularis* Juss). *Actualidad y divulgación científica*. 9 (2): 169-180.
- Castillo, T. J., L. Mendizábal-Hernández, y E. Ramírez-García. 2004. Variación de semillas de *Pinus patula* Schl. Et Cham procedentes de un huerto semillero de tercera generación en Orizaba, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 6 (2):27-30.
- Castro, J., P. B. Reich, Á. Sánchez-Miranda and J. D. Guerrero. 2008. Evidence that the negative relationship between seed mass and relative growth rate is not physiological

- but linked to species identity: a within-family analysis of Scots pine. *Tree Physiology*. 28: 1077–1082.
- CDB (Convenio sobre la Diversidad Biológica) 2014. <http://www.cbd.int/convention/>. (Consulta en Mayo de 2014).
- Chávez-Anaya, J. M., J. J. Godínez Herrera, S. L. Toledo González, A. Peña Zepeda y A. Rentería García. 2007. Germinación en semillas de *Pinus devoniana* Lindl. (Pinaceae), en nueve tipos de mezclas de sustratos. VIII Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Morelia, Michoacán, México. Octubre 2007.
- Chmielarz, P. 2009. Cryopreservation of dormant orthodox seeds of forest trees: mazzard cherry (*Prunus avium* L.). *Ann. For. Sci.* 66: 405-414.
- Cicek, E. and F. Tilki. 2007. Seed size effects on germination, survival and seedling growth of *Castanea sativa* Mill. *Journal of Biological Sciences*. 7 (2): 438-441.
- COFOM (Comisión Forestal del Estado de Michoacán). 2000. Las coníferas de Michoacán. 67 pp.
- Conabio, 2000. Estrategia nacional sobre biodiversidad de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas). 2013. <http://www.conanp.gob.mx> (Consulta en Abril de 2014).
- Cordazzo, C. V. 2002. Effect of seed mass on germination and growth in three dominant species in Southern Brazilian coastal dunes. *Braz. J. Biol.* 62(3): 427-435.
- Córdoba, R. D., J. Vargas-Hernández¹, J. López-Upton, A. Muñoz-Orozco. 2011. Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia* 45 (4): 493-506.
- Cregg, B. M. (1994) Carbon allocation, gas exchange and needle morphology of *Pinus ponderosa* genotypes known to differ in growth and survival under imposed drought. *Tree Physiol.* 14: 883-898.
- Dalling, J. W. and S. P. Hubbell. 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *Journal of Ecology*. 90: 557–568.
- Eguiluz, P, T. 1985. Descripción botánica de los pinos mexicanos. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. 45 pp.
- Enríquez P. E. G., H. Suzán-Azpiri and G. Malda-Barrera. 2004. Seed viability and germination of *Taxodium mucronatum* (ten.) in the State of Querétaro, México. *Agrociencia*. 38 (3): 375-381.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2013. <http://www.fao.org/docrep/006/u8560s/U8560S02.htm#ch2>. (Consulta en Febrero de 2014).
- Fernández, M., L. Gil y J. A. Pardos. 1996. Supervivencia y crecimiento en vivero de plantas de cinco procedencias de *Pinus pinaster* Ait., bajo diferentes regímenes hídricos. Sist. Recur. For. 5 (1): 19-44.
- García C. O., G. Alcántar, R.I. Cabrera, F. Gavi y V. Volke. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. Terra. 19 (3): 249-258.
- García H., L. A. Moreno, C. Londoño y C. Sofrony. 2010. Estrategia Nacional para la Conservación de Plantas: actualización de los antecedentes normativos y políticos, y revisión de avances. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y Red Nacional de Jardines Botánicos. Bogotá, D.C. 160 pp.
- Ghildiyal, S. K., C. M. Sharma and Sumeet Gairola. 2009. Effect of cold stratification on the germination of seeds of Chirpine (*Pinus roxburghii* Sargent) from Indian Himalayan Region. Nature and Science. 7 (8): 36-43.
- Gil, A. I. y D. Miranda. 2007. Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. 1 (2): 142-153.
- Gómez-Romero, M., J. Villegas, C. Sáenz-Romero y R. Lindig-Cisneros. 2013. Efecto de la micorrización en el establecimiento de *Pinus pseudostrobus* en cárcavas. Madera y Bosques. 19 (3): 51-63.
- González, Y., J. A. Sánchez, J. Reino, B. Muñoz y L. Montejó. 2008. Combined effects of scarification and partial hydration on the germination of fresh legume seeds. Pastos y forrajes. Matanzas. 31(4): 321.
- Guehl, J. M., C. Fort and A. Ferhi. 1995. Differential response of leaf conductance, carbon isotope discrimination and water use efficiency to nitrogen deficiency in maritime pine and pedunculate oak plants. New Phytol. 131: 149-157.
- Hernández, P. C., J. Vargas Hernández, C. Ramírez Herrera y A. Muñoz Orozco. 2001. Variación geográfica en la respuesta a la sequía en plántulas de *Pinus greggii* Engelm. Rev, Ciencia Forestal en México. 26 (89): 61-79.
- Hernández-Oria, J. G. 2011. Efecto de dos tratamientos pregerminativos en las semillas de *Celtis caudata* Planch., y *Ptelea trifoliata* L., especies nativas de la vegetación del Bajío Queretano, México. Foresta Veracruzana 13 (2): 7-12.
- Hidalgo, R. 1994. Conservación ex situ. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Unidad de Recursos Genéticos. 11 pp. http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/66802_Conservaci%C3%B3n_ex-situ.pdf.

- Jakobsson, A. and O. Eriksson. 2000. A comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants. *Oikos*. 88: 494–502.
- Kandil, A. A., A. E. Sharief and M. S. Sheteiwy. 2013. Effect of Seed Storage Periods, Conditions and Materials on Germination of Some Soybean Seed Cultivars. *American Journal of Experimental Agriculture*. 3 (4): 1020-1043.
- Knapp P. A. and P. S o u l e. 2010. Increasing water-use efficiency and age-specific growth responses of old-growth ponderosa pine trees in the Northern Rockies. *Global Change Biology*. 17: 631–641.
- Lascuráin, M., R. List, L. Barraza, E. Díaz Pardo, F. Gual Sill, M. Maunder, J. Dorantes y V. E. Luna. 2009. Conservación de especies *ex situ*, en *Capital natural de México*, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, pp. 517-544.
- Leal-Nares O. A. 2009. Aspectos ecológicos y patrones de distribución de *Pinus Martinezii* Larsen, en la cuenca del lago de Cuitzeo, México: Un modelo de distribución potencial aplicado a la conservación. Tesis de maestría. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 182 pp.
- Leal-Nares, O., M.E. Mendoza, D. Pérez-Salicrup, D. Geneletti, E. López-Granados y E. Carranza. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83: 1162-1170.
- LEGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente) 2014. Última reforma DOF 16-01-2014. <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148.pdf> (Consulta en Marzo de 2014).
- Linderson, M. L., Z. Iritz, A. Lindroth. 2007. The effect of water availability on stand-level productivity, transpiration, water use efficiency and radiation use efficiency of field-grown willow clones. *Biomass and Bioenergy*. 31: 460-468.
- Lindsey, A. J. and J. S. Kilgore. 2013. Soil type affects *Pinus ponderosa* var. *scopulorum* (Pinaceae) seedling growth in simulated drought experiments. *Applications in Plant Sciences*. 1(8).
- Livingston, N.J. and T.A. Black. 1987. Water stress and survival of three species of conifer seedlings planted on a high elevation south-facing clear-cut. *Can. J. For. Res.* 17 (9):1115-1123.
- López, C. F. 2011. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento en cuatro especies leñosas de selva baja caducifolia. Trabajo de experiencia recepcional. Universidad veracruzana. Facultad de Ciencias Agrícolas. Xalapa, Veracruz. 38pp.
- López-Urquiza, M. E. 1999. Optimización de las condiciones de obtención de pulpa organosolv a partir de *Pinus martinezii* Larsen. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. U.M.S.N.H. 92 pp.

- Ludeña-Velásquez, J.C. 2012. Efecto de dos tratamientos pregerminativos en semillas de Aliso (*Alnus acuminata*) y Pino (*Pinus patula*), Cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Tesis profesional. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Ingeniería forestal. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 98 pp.
- Luna, F. W., H. Estrada-Medina, J.J. Jiménez-Osornio y L. L. Pinzón-López. 2012. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento y eficiencia del uso del agua en plántulas de tres especies arbóreas caducifolias. *Terra Latinoamericana*. 30: 343-353.
- Madrigal, X. 1982. Claves para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Boletín Divulgativo No. 58. INIF México. 100 pp.
- Maldonado-Benítez, K. R. 2010. Sustratos alternativos para la producción de *Pinus greggii* Engelm., en vivero. Tesis de maestría. Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. Colegio de Posgraduados. Colegio de postgraduados. Campus montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 115 pp.
- Maldonado-Benítez, K. R., A. Aldrete, J. López-Upton, H. Vaquera-Huerta, V. M. Cetina-Alcalá. 2011. Producción de *Pinus greggii* Engelm., en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*. 45: 389-398.
- Mañas, P., E. Castro and J. De las Heras. 2009. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests*. 37: 295-311.
- Marroquín-Flores, R. A. 2007. Regeneración de *Pinus pseudostrabus* Lindl., en zonas degradadas por incendio en la Sierra Madre Oriental, en el Estado de Nuevo León, México. Tesis de grado de Doctorado. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México. 185 pp.
- Martínez, T. T., J. J. Vargas-Hernández, A. Muñoz-Orozco y J. López-Upton. 2002. Respuesta al déficit hídrico en *Pinus leiophylla*: consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* 36 (3): 365-376.
- Martiñón, M. R., J. Vargas Hernández, J. López Upton, A. Gómez Guerrero y H. Vaquera-Huerta. 2010. Respuesta de *Pinus pinceana* Gordon., a estrés por sequía y altas temperaturas. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 33 (3): 239-248.
- Matziris, D. 1998. Genetic variation in cone and seed characteristics in a clonal seed orchard of Aleppo Pine grown in Greece. *Silvae Genetica*. 47 (1): 37-41.
- May, L. C., A. Pérez-Gutiérrez, E. Ruiz-Sánchez, A. E. Ic-Caamal y A. García-Ramírez. 2011. Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de *Capsicum chinense* Jacq., y su relación con el desarrollo de *Bemisia tabaci* Genn. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 14: 1039-1045.
- McMillin, J. D. and M. R. Wagner (1995). Effects of water stress on biomass partitioning of *Ponderosa pine* seedlings during primary root growth and shoot growth periods. *For. Sci.* 41: 594-610.

- Medrano, H., J. Bota, J. Cifre, J. Flexas, M. Ribas y J. Gulías. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas*. 43:63-84.
- Méndez, N. J., M. J. Moreno y J. F. Moya. 2009. Efecto de diferentes combinaciones de sustratos (arena, suelo y/o bagazo de caña de azúcar) sobre la germinación de semillas y altura de plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Agrícola*. 9 (1): 121-125.
- Méndez-Guzmán, M., L. Mendizábal-Hernández y J. Alba-Landa. 2001. Variación de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov procedentes de dos colectas de una población natural del Estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 3 (2): 19-24.
- Meraz, G. G. y R. Bonilla-Beas. 2000. Análisis y tratamientos pregerminativos en semillas de *Pinus arizonica* Engelm., y *Pinus durangensis* Mart. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 6 (1): 15-20.
- Meyer, S.E. y S.G. Kitchen. 1994. Habitat-correlated variation in seed germination response to chilling in *Penstemon* section *glabri* (*Scrophulariaceae*). *Am. Midl. Nat.* 132: 349-365.
- Moles, A. T. and M. Westoby. 2004. Seedling survival and seed size: a synthesis of the literature. *Journal of Ecology*. 92: 372-383.
- Morante, C. J., J. Alba Landa y L. Mendizábal Hernández. 2005. Estudio de conos, semillas y plántulas de *Pinus greggii* Engelm., de una población del Estado de Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 7 (2): 23-31.
- Munive, M. E., O. Vázquez Cuecuecha, E. Zamora-Campos, E. Fernández Pedraza y E. García Gallegos. 2008. Variación de conos y semillas de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw de dos procedencias del Estado de Tlaxcala. *Foresta Veracruzana* 10 (01): 39-46.
- Muñiz-Ramírez, A. 2000. Determinación de las condiciones óptimas para la obtención de pulpa al sulfito alcalino a partir de *Pinus martinezii* Larsen. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. U.M.S.N.H. 61 pp.
- Negreros, C. P., M. Apodaca-Martinez y C. W. Mize. 2010. Efecto de sustrato y densidad en la calidad de plántulas de cedro, caoba y roble. *Madera y Bosques* 16 (2): 7-18.
- Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. Segunda sección. 2010.
- Olalde, G.V., J. A. Escalante, P. Sánchez, L. Tijerina, E.M. Engleman y A. Mastache. 2000. Eficiencia en el uso del agua y del nitrógeno, y rendimiento del girasol, en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra* 18 (1): 51-59.
- Olivo, V. y C. Buduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque*. 27: 267-271.

- Orantes, G. C., M. Á. Pérez-Farrera, T. M. Rioja-Paradela y E. R. Garrido- Ramírez. 2013. Viabilidad y germinación de semillas de tres especies arbóreas nativas de la selva tropical, Chiapas, México. *Polibotánica*. (36): 117-127.
- Ortega, M. L., J. Sánchez-Olarte, J. Ocampo-Mendoza, E. Sandoval-Castro, B. A. Salcido-Ramos y F. Manzo-Ramos. 2010. Efecto de diferentes sustratos en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicum esculentum* mill) bajo condiciones de invernadero. *Ra Ximhai*. 6 (3): 339-346.
- Ortíz, M. A., A. Moreno-Letelier y D. Piñero. 2008. Fragmentación y expansión demográfica en las Poblaciones Mexicanas de *Pinus ayacahuite* var. *ayacahuite*. *Bol.Soc.Bot.Méx.* 83: 25-36.
- Ostonen, I., U. Puttsepp, C. Biel, O. Alberton, M. R. Bakker, K. lo hmus, H. Majdi, D. Metcalfe, A. F. M. Olsthoorn, A. Pronk, E. Vanguelova, M. Weih and I. Brunner. 2007. Specific root length as an indicator of environmental change. *Plant Biosystems*. 141 (3): 426-442.
- Pérez, G. F. y J. M. Pita Villamil. 1999. Dormición de semillas. Hojas divulgadoras 2103 HD. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 19 pp.
- Pita, J. M., V. Sanz and A. Escudero. 1998. Seed Cryopreservation of Seven Spanish Native Pine Species. *Silvae Genetica*. 47 (4): 220-223.
- Prieto, R. J., E. Cornejo Oviedo, P. Domínguez Calleros, J. Návar Chaidez, J. Marmolejo Moncivais y J. Jiménez Pérez. 2004. Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación agraria. Sistema de Recursos Forestales*. 13: 443-451.
- Prieto, R. J., P. A. Domínguez-Calleros, E. H. Cornejo-Oviedo y J. Návar-Cháidez. 2007. Efecto del envase y del riego en vivero en el establecimiento de *Pinus cooperi* Blanco en dos condiciones de sitio. *Madera y Bosques*. 13 (1): 79-97.
- Prior, S. A., G. B. Runion, R. J. Mitchell, H. H. Rogers and J. S. Amthor. 1997. Effects of atmospheric CO₂ on longleaf pine: productivity and allocation as influenced by nitrogen and water. *Tree Physiology*. 17: 397-405.
- PROAM (Procuraduría de Protección al Ambiente del Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo) 2013. <http://www.proam.michoacan.gob.mx/> (Consulta en Febrero de 2014).
- Probanza, A., J. L. Mateos, J. A. Lucas García, B. Ramos, M. R. de Felipe and F. Gutiérrez Mañero. 2001. Effects of Inoculation with PGPR *Bacillus* and *Pisolithus tinctorius* on *Pinus pinea* L. Growth, Bacterial Rhizosphere Colonization, and Mycorrhizal Infection. *Microbial Ecology*. 41: 140-148.
- Quiroz, M. I. y P. Y. Rojas. 2003. *Pino ponderosa* y *Pino oregón*. Coníferas para el sur de Chile. Instituto Forestal. Valdivia. 316 pp.

- Reyes, R. J., A. Aldrete, V. Cetina Alcalá y J. López Upton. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrabus* var., *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. Revista Chapingo. Series Ciencias Forestales y del Ambiente. 11: 105-110.
- Reynaldo, I. M., I. Pérez, E. Jerez y J. M. Dell'Amico. 2002. Efectos del estrés hídrico en la asimilación del nitrógeno en plantas de tomate CV INCA 9-1. Cultivos Tropicales. 23 (2): 47-50.
- Reza, B. H. and A. M. Modarres Sanavy. 2006. Effect of Gibberellic Acid, Prechilling, Sulfuric Acid and Potassium Nitrate on Seed Germination and Dormancy of Annual Medics. Pakistan Journal of Biological Sciences. 9 (15): 2875-2880.
- Ripullone, F., M. Lauteri, G. Grassi, M. Amato and M. Borghetti. 2004. Variation in nitrogen supply changes water-use efficiency of *Pseudotsuga menziesii* and *Populus × euroamericana*; a comparison of three approaches to determine water-use efficiency. Tree Physiology. 24: 671–679.
- Rivas, F. J., N. Mesa López y D. M. Beltrán. 2010. Utilización de la corteza de pino caribe (*Pinus caribea*) como sustrato en cultivos de clavel hidropónico. Revista Tumbanga. 5: 9-25.
- Rodríguez-Sosa, J., Y. Valdés-Roblejo and R. Rodríguez-Lías. 2012. Seed treatments to improve the germination of *Colubrina ferruginosa* Brong. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 18(1): 27-31.
- Royo, A., L. Gil y J. A. Pardos. 2001. Effect of water stress conditioning on morphology, physiology and field performance of *Pinus halepensis* Mill. seedling. New Forests. 21: 127-140.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp.
- Sáenz-Romero, C., A. E. Snively y R. Lindig-Cisneros. 2003. Conservation and Reforestation of Pine Forest Genetic Resources in México. *Silvae Genetica*. 52: 5-6.
- Sánchez-Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina-Alcalá y J. López-Upton. 2008. Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. *Madera y Bosques*. 14 (2):41-49.
- Sánchez-Tamayo, V., L. Mendizábal-Hernández y V. Rebolledo-Camacho. 2002. Variación en conos y semillas de *Pinus cembroides* subsp. *Orizabensis* D. K. Bailey de las Cuevas, Altzayanca, Tlaxcala. *Foresta Veracruzana* 4 (1) :25-30.
- Sandoval, M. C., V. M. Cetina-Alcalá, R. Yeaton, L. Mohedano-Caballero. 2000. Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc. Bajo condiciones de invernadero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6 (2): 143-150.
- Sañudo-Torres, R., P. Vázquez-Peñate, C. Armenta-López, H. Azpiroz-Rivero, C. Campos-Beltrán, M. Ibarra-Ceceña y J. Félix-Herrán. 2009. Tratamientos pregerminativos en

- semillas de palo fierro (*Olneya tesota* A.Gray) y propagación en sustrato de composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). Ra Ximhai. 5 (3): 329-333.
- Sheriff, D. W., E. K. S. Nambiar and D. N. Fife. 1986. Relationships between nutrient status, carbon assimilation and water use efficiency in *Pinus radiata* (D. Don) needles. Tree Physiology. 2: 73-88.
- Silva, H. y E. Acevedo. 1995. Eficiencia en el uso del agua en diez taxa de *Opuntia* introducidas en la región mediterránea de Chile. Revista Chilena de Historia Natural. 68:271-282.
- Silva-Farías, M. A. 2005. Distribución y aspectos ecológicos de *Pinus Martinezii* Larsen, en el eje Neovolcanico, Estado de Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 88 pp.
- Singh, O. and M. Thapliyal. 2012. Variation in cone and seed characters in blue pine (*Pinus wallichiana*) across natural distribution in western Himalayas. Journal of Forestry Research. 23 (2): 235–239.
- Smit, J. and R. Van Den Driessche. 1992. Root growth and water use efficiency of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and lodgepole pine (*Pinus contorta* Dougl.) seedlings. Tree physiology. 11:401-410.
- Spurr, S. H y B. V. Barnes 1982. Ecología forestal. In: Méndez Guzmán, M., Mendizábal Hernández, L. y Alba Landa, J. (eds.). Variación de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov procedentes de dos colectas de una población natural del estado de Veracruz, México. Foresta veracruzana 3 (2): 19-24.
- Squeo, F.A., G. Arancio y J.R. Gutiérrez (Eds.). 2001. Libro rojo de la flora nativa y de los sitios prioritarios para su conservación: Región de Coquimbo. Ediciones Universidad de la Serena. La Serena, Chile.18:273-280.
- Teixeira, P.C., P. Lelis leal, N.F. Barros y R. Ferreira. 1995. Nutrición potásica y relaciones hídricas en plantas de *Eucalyptus* spp. Bosques. 16 (1): 61-68.
- Toledo, V. M., J. Carabias, C. Toledo y C. González-Pacheco. 1989. La producción rural en México: Alternativas ecológicas. 1ª edición. Fundación Universo Veintiuno, A. C. México. 397 pp.
- Torreano, S. J. and L. A. Morris. 1998. Loblolly pine root growth and distribution under water stress. Soil Science Society of America Journal 62: 818–827.
- Tripathi, R. S. and M. L. Khan. 1990. Effects of seed weight and microsite characteristics on germination and seedling fitness in two species of *Quercus* in a subtropical wet hill forest. Oikos. 57: 289-296.
- Valdez-Cancinos, D. A. 2005. Comportamiento de la viabilidad de las semillas de cuatro especies forestales almacenadas a 5 °C en el banco de semillas forestales del Instituto

- Nacional de Bosques – BanSEFOR – Guatemala. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos Guatemala. 73 pp.
- Valles, R. G., J.G. Lugo González, Z.F. Rodríguez y L.T. Díaz. 2009. Efecto del sustrato y la distancia de siembra entre plantas sobre el crecimiento de plantas de pimentón (*Capsicum annuum* L.) en un sistema hidropónico sin cobertura. Rev. Fac. Agron. 26: 159-178.
- Vander Wall, S. B. 2003. Effects of seed size of wind-dispersed pines (*Pinus*) on secondary seed dispersal and the caching behavior of rodents. Oikos. 100: 25–34.
- Vargas, H. J. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en el norte de México. Documentos de trabajo: Recursos Genéticos Forestales. Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma.
- Villaseñor, G. L. (edit). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Vozzo, J. A. 2010. Manual de semillas de árboles tropicales. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal. 894 pp.
- Wahid, N. and L. Bounoua. 2012. The relationship between seed weight, germination and biochemical reserves of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Morocco. New Forests. 44: 385-397.
- Wang, D., E. P. Bachelard and C. G. Banks. 1988. Growth and water relations of seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. Tree Physiology. 4:129-138.

XIII. ANEXOS

1. Las 30 ANP Estatales se encuentran agrupadas de la siguiente forma (CONANP, 2013).

17 Zonas Sujetas a Preservación Ecológica		
1	Loma de Santa María y Depresiones Aledañas de la Ciudad de Morelia.	Morelia
2	Cerro del Estribo grande.	Pátzcuaro
3	Cerro Pelón	Paracho
4	Laguna de Zacapu y su Rivera Tzacapo Tacannendam	Zacapu
5	Mesa de Tzitzio	Tzitzio
6	La Alberca de los Espinos	Jiménez
7	Chorros del Varal	Los Reyes-Peribán
8	Agua Caliente	Marcos Castellanos
9	La Laguna de Chandio	Apatzingán
10	Los manantiales de Parácuaro	Parácuaro
11	La Chichihua	Coalcomán
12	Parque Ecológico Agua Tibia-Jeroche	Puruándiro
13	Las Tinajas de Huandacareo	Huandacareo
14	Cerro Punhuato	Morelia
15	Cerro Hueco y La alberca	Tacámbaro
16	Ex Escuela Agrícola la Huerta	Morelia
17	Manantial La Mintzita	Morelia
10 Parques urbanos ecológicos		
1	Uruapan	Uruapan
2	Fideicomiso de la Ciudad Industrial de Morelia	Morelia
3	Taquiscuareo	La Piedad
4	Capacuaro	Uruapan
5	Cerrito de la Independencia	Zitácuaro
6	Instituto Tecnológico Agropecuario # 7	Tarímbaro
7	La Eucalera de Paso de Hidalgo	Briseñas
8	Bosque Cuauhtémoc y Parque Juárez	Jiquilpan
9	Lic. Salvador Bernal Murguía	Uruapan
10	Parque Urbano Ecológico Francisco Zarco	Morelia
Reservas Patrimoniales		
1	Volcán El Jorullo	La Huacana y Ario
2	Lagunas costeras y serranías aledañas de la costa de Michoacán	Coahuayana y Aquila
Parque Natural		
1	El Barrancón de las Guacamayas	Chinicuila

2. Áreas Naturales Protegidas Estatales de acuerdo con la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado de Michoacán (PROAM, 2013).

Zonas a sujetas a preservación ecológica

	Nombre	Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	La Laguna de Chandio*	13-01-2004	Apatzingán	V. Tepalcatepec	11.67
2	La Chichihua**	11-11-2004	Coalcomán	IX. Sierra Costa	55.74
3	Las Tinajas de Huandacareo**	26-01-2005	Huandacareo	III. Cuitzeo	254.27
4	La Alberca Los Espinos*	14-03-2003	Jiménez	II. Bajío	142.12
5	Chorros de Varal**	08-01-2004	Los Reyes y Peribán	V. Tepalcatepec	72.77
6	Agua Caliente*	12-01-2004	Marcos Castellanos	I. Lerma-Chapala	38.07
7	Cerro Punhuato*	26-01-2005	Morelia	III. Cuitzeo	118.86
8	Manantial La Mintzita**	31-01-2005	Morelia	III. Cuitzeo	419.6
9	Ex-Escuela Agrícola La Huerta**	31-01-2005	Morelia	III. Cuitzeo	271.48
10	Cerro Pelón*	15-05-1995	Paracho	VI. Purépecha	23.5
11	Los Manantiales de Parácuaro**	14-01-2004	Parácuaro	V. Tepalcatepec	70.13
12	Cerro del Estribo Grande*	19-09-1994	Pátzcuaro	VII. Pátzcuaro-Zirahuén	273.21
13	Cerro Hueco y La Alberca**	28-01-2005	Tacámbaro	VIII. Tierra Caliente	76.71
14	Mesa de Tzitzio*	14-03-2003	Tzitzio	IV. Oriente	212.85
15	Laguna de Zacapu y su Rivera Tzacapo Tacanendam*	07-02-2003	Zacapu	II. Bajío	56.34
16	Parque Ecológico Agua Tibia-Jeroche**	25-01-2005	Puruándiro	II. Bajío	687.11

Parques urbanos ecológicos

	Nombre	Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	La Eucalera de Paso de Hidalgo*	14-03-2003	Briseñas	I. Lerma-Chapala	76.27
2	Bosque Cuauhtémoc y Parque Juárez**	25-01-2005	Jiquilpan	I. Lerma-Chapala	49.92
3	El Manglito**	17-12-2010	Lázaro Cárdenas	IX Sierra Costa	20.77
4	Francisco Zarco**	15-08-2008	Morelia	III. Cuitzeo	17.85
5	Parque de Cd. Industrial de Morelia*	30-06-1995	Morelia	III. Cuitzeo	89.11
6	Instituto Tecnológico Agropecuario No. 7*	04-06-1998	Tacámbaro	VIII. Tierra Caliente	16.94
7	Parque Urbano Ecológico de Uruapan*	12-01-1995	Uruapan	VI. Purépecha	52.41
8	Capacuaro**	18-09-1995	Uruapan	VI. Purépecha	7.59
9	Lic. Salvador Bernal Murguía**	15-06-2006	Uruapan	VI. Purépecha	17
10	Cerrito de la Independencia*	10-02-1997	Zitácuaro	IV. Oriente	2.76
11	Taquiscuareo	14-09-1995	La Piedad	II. Bajío	11.94

Parque natural

	Nombre	Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	El Barrancón de la Guacamayas*	26-12-2005	Chinicuila	IX. Sierra Costa	2260

Reservas patrimoniales

	Nombre	Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	Lagunas Costeras y Serranías aledañas a la Costa Norte de Michoacán**	26-09-2005	Coahuayana y Aquila	IX. Sierra Costa	4306.75
2	Volcán Jorullo*	19-09-2005	La Huacana y Ario de Rosales	X. Infiernillo	3569.5

Zona de restauración y protección ambiental

Nombre		Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	Loma de Santa María y depresiones aledañas*	31-12-2009	Morelia	III. Cuitzeo	170.5
2	Cañadas del Río Chiquito*	29-04-2011	Morelia	III. Cuitzeo	205.087
3	Cerro San Miguel**	26-01-2009	Salvador Escalante y Pátzcuaro	VII. Pátzcuaro-Zirahuén	767.58

Zona de restauración ambiental

Nombre		Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	Estribito del Cerro Colorado**	03-10-2011	Pátzcuaro	VII. Pátzcuaro-Zirahuén	18.05

Zona de protección ambiental

Nombre		Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	El Zapien**	28-07-2010	Uruapan	VI. Purépecha	240.79
2	Pico Azul-La Escalera**	13-09-2011	Charo, Madero y Morelia	III. Cuitzeo-VIII. Tierra Caliente	23 107.48
3	Laguna Costera El Caimán**	03-01-2011	Lázaro Cárdenas	IX. Sierra Costa	1160.121
4	Cañada de los ríos Marques-Cajones y Serranías Aledañas**	27-09-2011	Gabriel Zamora, Nuevo Urecho, La Huacana, Taretan, Uruapan, Parácuaro y Múgica	X. Infiernillo-VI. Purépecha	26 193.56

Área voluntaria para la conservación

	Nombre	Decreto	Municipio	Región	Superficie (ha)
1	Cerro Comburinda	Abril 2001	Tingambato	VI. Purépecha	960
2	Ojo de Agua del Naranjo	Diciembre 2011	Zinapécuaro	III. Cuitzeo	6.8

*Polígono realizado por la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente del Estado

**Polígono realizado por la Procuraduría de Protección al Ambiente del Estado

3. Lista de especies forestales que se manejan en el Banco de Germoplasma de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán ubicado en el vivero José María Morelos de la ciudad de Morelia, Michoacán.

1	<i>Abies religiosa</i>	35	<i>Pinus oocarpa</i>
2	<i>Acacia retinoides</i>	36	<i>Pinus patula</i>
3	<i>Acrocarpus fraxinifolius</i>	37	<i>Pinus pringlei</i>
4	<i>Albizzia plurijuga</i>	38	<i>Pinus pseudostrobus</i>
5	<i>Arbutus xalapensis</i>	39	<i>Pinus radiata</i>
6	<i>Bahuinia spataca</i>	40	<i>Pinus teocote</i>
7	<i>Caesalpineia coriaria</i>	41	<i>Quercus sp.</i>
8	<i>Caesalpineia platyloba</i>	42	<i>Quercus deserticola</i>
9	<i>Casuarina equisetifolia</i>	43	<i>Rosedendrum donell-smith</i>
10	<i>Cedrela odorata</i>	44	<i>Spathodea campanulata</i>
11	<i>Ceiba aesculifolia</i>	45	<i>Swietenia humilis</i>
12	<i>Cordia eleagnoides</i>	46	<i>Tabebuia palmeri</i>
13	<i>Cupressus lindleyi</i>	47	<i>Tabebuia roseae</i>
14	<i>Delonix regia</i>	48	<i>Taxodium mucronatum</i>
15	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	49	<i>Tecoma stans</i>
16	<i>Fraxinus uhdei</i>	50	<i>Tectona grandis</i>
17	<i>Gmelina arborea</i>		
18	<i>Jacaranda mimosaefolia</i>		
19	<i>Jatropha curcas</i>		
20	<i>Leucaena leucocephala</i>		
21	<i>Ligustrum sp.</i>		
22	<i>Lysiloma acapulcensis</i>		
23	<i>Mastichodendrum capiri</i>		
24	<i>Melia azederach</i>		
25	<i>Moringa oleifera</i>		
26	<i>Pinus ayacahuite</i>		
27	<i>Pinus ayacahuite var. veitchii</i>		
28	<i>Pinus hatweggi</i>		
29	<i>Prosopis laevigata</i>		
30	<i>Pinus lawsonii</i>		
31	<i>Pinus leiophylla</i>		
32	<i>Pinus maximartinezii</i>		
33	<i>Pinus michoacana</i>		
34	<i>Pinus montezumae</i>		