



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**Comportamiento Germinativo y Crecimiento en
Vivero de *Pinus maximartinezii* Rzedowski
(Pinaceae).**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL

TÍTULO DE BIÓLOGO

P R E S E N T A :

E d g a r F l o r e s M a r t í n e z

Director de Tesis

M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno



Los Reyes Iztacala, Enero 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A los profesores miembros del comité revisor: Dra. Silvia Romero Rangel, a la M. en C. Leonor Ana María Abundiz Bonilla, Al M. en C. Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, Al Biol. Marcial García Pineda y al M. en C. Ángel Duran Díaz. Por sus valiosas sugerencias y el tiempo invertido en la revisión de esta tesis.

A los profesores Silvia Romero Rangel y Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, por haberme dado la oportunidad de integrarme a su laboratorio y en todas sus actividades, gracias por los consejos, enseñanzas y risas.

Al profesor Ezequiel Carlos Rojas Zenteno, por haber aceptado dirigir el proyecto, por creer en mí y darme todas las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente, gracias por todo su apoyo.

Al Parque Ecológico Xochitla, en especial a la Biol. Maribel Rodríguez por facilitar los medios para la realización de esta investigación.

Y a todos los que directa e indirectamente ayudaron a la realización de este proyecto.

¡¡Infinitamente Gracias!!

Índice general

<i>Resumen</i> _____	- 1 -
<i>Introducción</i> _____	- 2 -
<i>Marco Teórico</i> _____	- 4 -
<i>Características del árbol</i> _____	- 13 -
<i>Requerimientos de cultivo</i> _____	- 18 -
<i>Antecedentes</i> _____	- 19 -
<i>Justificación</i> _____	- 22 -
<i>Objetivo General</i> _____	- 23 -
<i>Objetivos Particulares</i> _____	- 23 -
<i>Área de Estudio</i> _____	- 24 -
<i>Metodología</i> _____	- 27 -
<i>Trabajo de campo</i>	- 27 -
<i>Trabajo de laboratorio</i>	- 27 -
<i>Trabajo de gabinete</i>	- 28 -
<i>Resultados</i> _____	- 31 -
<i>Comportamiento germinativo</i>	- 31 -
<i>Viabilidad</i>	- 32 -
<i>Crecimiento y sobrevivencia en vivero</i>	- 39 -
<i>Descripción morfológica de plantas de Pinus maximartinezii a diferentes edades.</i>	- 43 -

<i>Discusión</i>	- 47 -
<i>Comportamiento germinativo.</i>	- 47 -
<i>Viabilidad</i>	- 52 -
<i>Crecimiento y sobrevivencia en vivero.</i>	- 54 -
<i>Descripción Morfológica de plantas de Pinus maximartinezii a diferentes edades.</i>	- 57 -
<i>Conclusiones</i>	- 59 -
<i>Bibliografía</i>	- 60 -
<i>Biblio-Web</i>	- 72 -
<i>Apéndice I</i>	- 73 -
<i>Apéndice II</i>	- 74 -

Resumen

Los pinares son comunidades vegetales muy características de México y ocupan vastas superficies de su territorio. Los pinos piñoneros tienen alto grado de endemismo en México, algunos con distribución muy restringida como la de *Pinus maximartinezii*. Éste, el pino azul, ha sobrevivido a una restricción genética extrema. El presente trabajo se planeó tomando en cuenta: que existen pocos trabajos de investigación sobre el pino azul; que es endémico de México y que se encuentra dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010 como en peligro de extinción; además tienen un gran valor ornamental y ecológico; así como alimenticio. Debido a que en nuestro país existen pocos lugares con plantaciones de este pino; el sitio donde se trabajó es una de las pocas localidades en México donde se encuentran varios individuos, tal es el caso del Parque Ecológico Xochitla perteneciente al municipio de Tepotzotlán, Estado de México, donde podemos encontrar una pequeña población de un poco más de 100 árboles.

El comportamiento germinativo del pino azul fue del 20.3% al doceavo día, la sobrevivencia en vivero fue del 48%; mientras que para la prueba de viabilidad, las semillas almacenadas por dos meses obtuvieron un valor del 60% a los 15 días, además se encontraron diferencias morfológicas en plantas a diferentes edades en cuanto a tamaño, raíz, cotiledones, hojas primarias y ramillas. De acuerdo al estudio realizado, las raíces al ir creciendo en longitud van disminuyendo en grosor; por lo que se sugiere que en futuros experimentos se observe esta tendencia. Este trabajo aporta información sobre *Pinus maximartinezii* para encontrar mejoras a técnicas futuras de germinación y producción.

Introducción

La importancia económica de los bosques de coníferas en México es muy grande; el género *Pinus* constituye la mayor parte de la riqueza forestal por su amplia distribución (Martínez, 1953). La gran mayoría de los pinos mexicanos posee una distribución geográfica restringida al territorio del país y a algunas áreas vecinas y casi todos constituyen elementos dominantes o codominantes en la vegetación actual. Los pinares son comunidades vegetales muy características de México y ocupan vastas superficies de su territorio (Rzedowski, 1978). Los pinos piñoneros tienen alto grado de endemismo en México. Existen 10 taxa endémicos, algunos con distribución muy restringida como la de *P. culminicola* y *Pinus maximartinezii*. Éste último también conocido como pino azul, ha sobrevivido a una restricción genética extrema ya que ha estado confinado a la población total de menos de 10,000 árboles maduros (IUCN, 2011) en el sur del estado de Zacatecas en un área de 400 ha; se localiza entre 1 600 y 2 250 m de altitud sobre una mesa llamada Cerro Piñones la cual está en el extremo sur de la Sierra de Morones en el estado de Zacatecas, México (Ledig *et al.*, 1999). Recientemente se registró una nueva localidad para esta especie, se encuentra al sur del estado de Durango, se desarrolla en una superficie de aproximadamente 110 ha, con más de 900 individuos maduros formando manchones dispersos, cerca del poblado La Muralla, perteneciente a la comunidad indígena de Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio de El Mezquital, se desarrolla entre los 1750 y 2260 m.s.n.m. sobre laderas escarpadas en una cañada rematada por mesetas angostas (González *et al.*, 2011).

La reproducción o reclutamiento *in situ*, de la especie ha sido difícil debido a que prácticamente todas sus semillas son utilizadas para consumo humano o para el comercio local; además gran parte del bosque original ha sido destruido para

establecer cultivos de temporal. La porción que aún sobrevive se usa como área de pastoreo, además se ve afectada por incendios forestales inducidos, el “ocoteo” de los árboles y los cambios en el uso del suelo (Balleza *et al.*, 2005). El tamaño limitado de la población, su baja tasa de propagación y la dificultad para proteger el territorio en que este piñonero se distribuye, lo sitúan dentro del conjunto de las especies en peligro de extinción (Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010). En estos casos la propagación *in vitro* ha demostrado ser un método exitoso para la conservación y mantenimiento de especies en peligro de extinción (Ojeda *et al.*, 2006). Sin embargo, se han observado diferentes respuestas con la utilización de medios de cultivo y reguladores de crecimiento (Ojeda, 1992).

El uso comercial maderable de los pinos piñoneros no es intenso. La naturaleza de la madera de estas especies limita su uso como madera aserrada, pues resulta de baja calidad para madera contrachapada, siendo poco atractiva para la industria debido a las bajas existencias reales por hectárea y los altos costos de la cosecha. Actualmente estos pinos piñoneros son utilizados para durmientes de ferrocarril, madera para construcción, leña, árboles de navidad y como nuez la semilla de piñón, estos aspectos comerciales son complementados por el valor de los pinos piñoneros como cubierta protectora del suelo para el control de la erosión, la recreación, como alimento y hábitat para la fauna silvestre.

El conocimiento sobre *Pinus maximartinezii* en México es escaso, aún falta mucho por conocer sobre su comportamiento germinativo y su crecimiento en vivero, todo esto para poder llevar a cabo programas de conservación y restauración en áreas perturbadas e inclusive para su reintroducción en su hábitat natural.

Marco Teórico

Las gimnospermas comprenden alrededor de 900 especies, la mayoría localizadas en el hemisferio norte, alrededor de 60% de coníferas (Farjon, 2003; Earle, 2007). El registro fósil muestra que los ancestros de la familia *Pinaceae* evolucionaron hacia finales del Carbonífero, hace aproximadamente 300 millones de años (Hilton *et al.*, 2003) y que el género *Pinus* comenzó su diversificación en el Cretácico inferior (Miller, 1999).

La riqueza aproximada de especies de pinos a nivel mundial es de 111 especies (Price *et al.*, 1998). En México y América Central se localizan alrededor de 46 especies de pinos, con diversas variedades y formas (Perry *et al.*, 1998). México es un centro secundario de diversificación de *Pinus* al contar con cerca del 42% de las especies y un alto porcentaje de endemismos (>55%) concentrados en islas biogeográficas (Dvorak *et al.*, 2000).

En México, los pinos tienen gran importancia ecológica, económica y social. A menudo son el componente dominante de la vegetación, influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre. Tienen un alto valor económico, ya que son fuente de madera, leña, pulpa, resinas, semillas comestibles y otros productos. Además, ofrecen importantes servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional (García y González, 2003; Ramírez Herrera *et al.*, 2005)

Los pinos son árboles o arbustos, monoicos de hasta 40 m, siempre verdes, más o menos resinosos. Hojas lineares o aciculares, solitarias o agrupadas en hasta 8 hojas por fascículo, dispuestas de manera helicoidal o con disposición irregular

sobre las ramas, protegidas en la base por una vaina caediza o persistente (Martínez, 1953). Estróbilos microsporangios agrupados, los esporófilos adnados a 2 esporangios fértiles; estróbilos megasporangios generalmente con las brácteas arregladas en espiral sobre un eje central, cada una sostenida por una escama ovulífera más o menos plana, con 2 óvulos. Cono maduro con escamas, algunas veces deciduas, abriéndose o permaneciendo cerradas (Narave y Taylor, 1997).

Los pinos poseen una semilla generalmente morena o negruzca, oval o vagamente triangular, algunas no tienen ala, sin embargo la mayoría de las especies mexicanas si tienen una ala más o menos desarrollada. Por lo común se encuentran dos semillas en cada escama; pero en ocasiones, cuando se trata de semillas grandes, como el caso de los piñoneros, una de éstas se atrofia (Martínez, 1992). Las semillas de las especies del género *Pinus* son muy diversas en tamaño, forma, peso, textura, color, grosor de los tegumentos, así como en el número y longitud de los cotiledones (Eguiluz *et al.*, 1985).

Hacia el interior de la semilla está revestida por una capa membranosa y translúcida llamada tegmen, que protege directamente a la almendra, la cual está constituida por un albumen grasoso, a veces impregnado de substancia resinosa, y es de color rosado o blanco, comestible en varios casos. El embrión está colocado longitudinalmente en el centro, pudiendo verse fácilmente las hojas cotiledonares, en número de 4 hasta 24; pero no siendo fija la cifra en cada especie, carece de valor sistemático.

El poder germinativo en condiciones favorables puede durar varios años, pero para la propagación conviene usar semillas recientes que se hayan conservado estratificadas en arena (Martínez, 1992).

En la cosecha se eligen conos verdes, cerrados, próximos a la madurez fisiológica. En la producción influyen las condiciones del clima prevaleciente en el período de diferenciación de yemas florales, polinización, maduración del embrión, así como la presencia de plagas y enfermedades presentes. En el género *Pinus* ocurren ciclos definidos de fructificación cada tres, cuatro a cinco años, los cuales varían de acuerdo a la especie (Kanninen y Mastache, 1990). Las semillas colectadas en las mejores cosechas tienen mejor capacidad de germinación y mayor viabilidad.

Según sean las condiciones de calor y humedad, la germinación se efectúa en dos o tres semanas. Aparece la raíz, cuyo eje principal se larga rápidamente, emitiendo poco después raicillas secundarias, y el talluelo brota arrastrando la cáscara, la cual cae al poco tiempo extendiéndose entonces las hojas cotiledonares. En seguida aparecen las hojas primarias, que asumen las funciones foliares y duran de uno a tres años, siendo reemplazadas por brácteas escamosas, en cuyas axilas aparecen las hojas secundarias en grupos llamados fascículos, protegidos en su base por una vaina. Tales son las hojas definitivas que se observan en los árboles adultos, pues las otras son transitorias (Martínez, 1992).

La edad a la que las plantas comienzan a producir semillas varían en las diferentes especies y entre las localidades geográficas (Niembro, 1984). Generalmente la edad reproductiva de los piñoneros se inicia entre los 10 y los 25 años, se han reportado árboles en producción hasta de 300 años. (García, 1985).

De acuerdo con Sánchez (1984), una especie en peligro de extinción será aquella que se encuentre en un hábitat reducido, sea aprovechada intensivamente y presente escasa regeneración. Para Perry (1990) ocho especies del género *Pinus* están consideradas como amenazadas. Entre las que se encuentra *Pinus*

maximartinezii, que se encuentra en peligro de extinción y con severo agotamiento de la poza génica (Stern y Roche, 1974).

Pinus maximartinezii es llamado comúnmente pino azul, piñón azul, maxipiñón, piñonero de Zacatecas, pino de Zacatecas, piñón, ocote, pino de Martínez, piñón de Zacatecas, piñón grande de Martínez, piñón real, (Musalem *et al.*, 2008).

Pinus maximartinezii fue descrito y clasificado botánicamente en México por el investigador Jerzy Rzedowski (1964) del Cerro de Piñones en la Sierra de Morones, al Oeste de Pueblo Viejo, municipio de Juchipila, al sur del estado de Zacatecas y por más de cuatro décadas fue considerado como de distribución restringida a esa localidad. Desde 1964 Rzedowski sugirió la posibilidad de que se encontrara en otros sitios de la región de cañones profundos donde Zacatecas, Jalisco, Nayarit y Durango se unen; la existencia de una segunda población silvestre de *Pinus maximartinezii* fue corroborada en 2010 (González *et al.*, 2011).

La primera población de *Pinus maximartinezii* se ubica en el extremo sureste de la Sierra de Morones, restringida al macizo del Cerro de Piñones en Pueblo Viejo, municipio de Juchipila, Zacatecas, México. Se encuentra en altitudes que van desde 1500 a 2550 m s.n.m., en laderas y cañadas con pendientes pronunciadas y exposiciones Este, Sureste y Suroeste (Arteaga, 1999). El área de dispersión de esta especie está ubicada entre las coordenadas 21° 20' y 21° 23' de latitud norte y de 103° 12' a 103° 15' de longitud oeste. Se extiende desde el sur de la parte conocida como Piñoncitos al norte hasta Lagunillas, por el oriente Los Fresnos, al oeste Piñones y la Mesa de Enmedio (Lara, 1997).

El segundo sitio de *Pinus maximartinezii* se encuentra al sur del estado de Durango, cerca del poblado la Muralla, perteneciente a la comunidad indígena de

Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio del Mezquital, a 190 km al NorOeste de la localidad tipo. Santa María de Ocotán y Xoconoxtle es una comunidad O'dam (Tepehuanes del Sur) organizada en 33 unidades administrativas o anexos conformados por pueblos y rancherías; La Muralla forma parte del anexo de Zalatita. *Pinus maximartinezii* se desarrolla entre los 1750 y 2260 m s.n.m. sobre laderas escarpadas con pendientes de 25 a 80% principalmente en las exposiciones al Este, Norte, y Sur en una cañada rematada por mesetas angostas, con un desnivel de casi 1000 m entre el fondo y las partes altas (de 1373 a 2355 m s.n.m.). El sustrato son litosoles y regosoles sobre roca ígnea. En esta cañada nace el río El Navío, afluente del Huazamota o Jesús María que a su vez es parte de la región hidrológica Lerma-Santiago, a la cual pertenece también el río Juchipila en la localidad tipo en Zacatecas (González *et al.*, 2011).

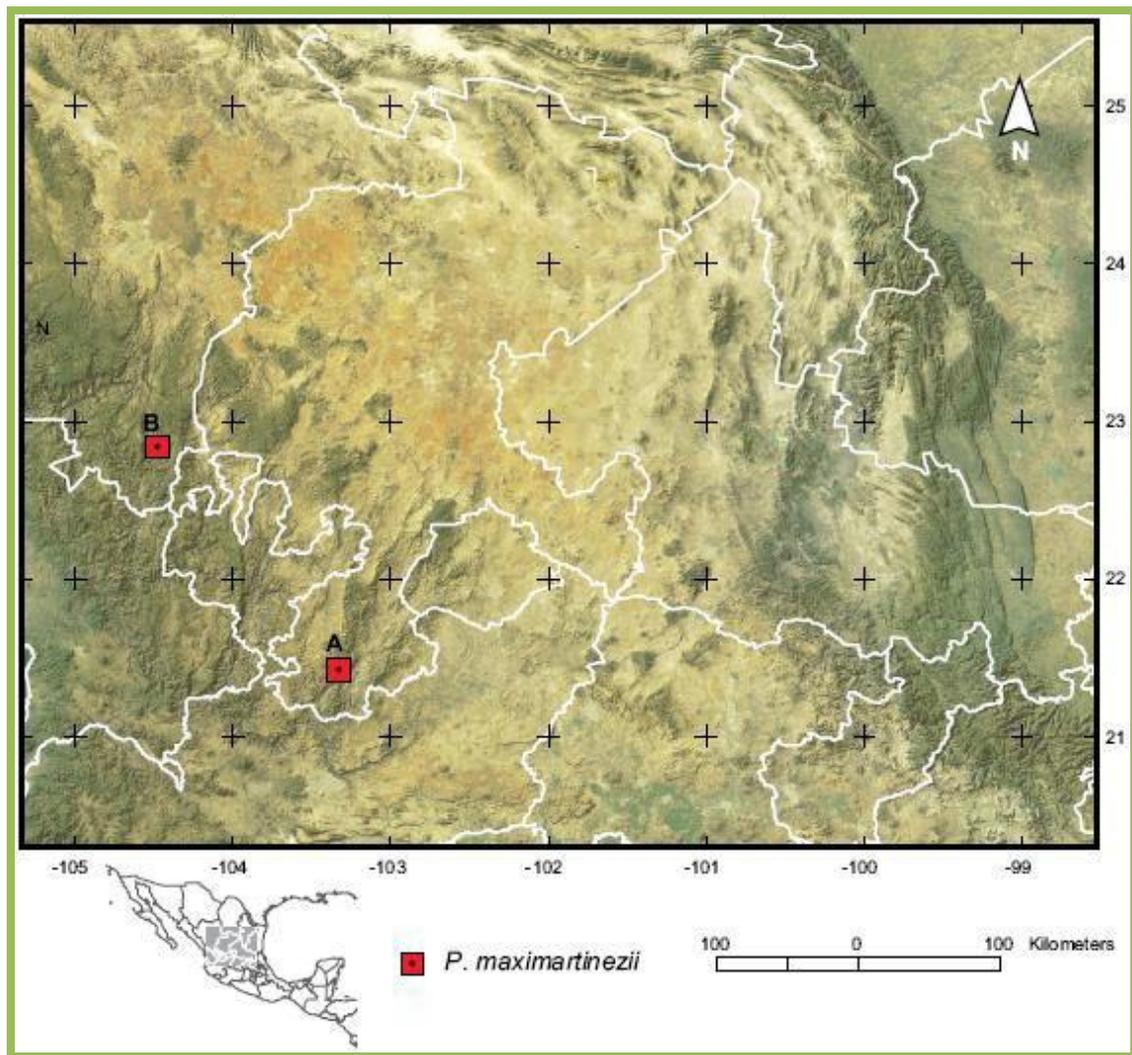


Figura 1. Distribución conocida de *Pinus maximartinezii* Rzed.: **A.** *P. maximartinezii* en la localidad tipo, Sierra de Morones, Zac.; **B.** *P. maximartinezii* en la muralla, Dgo. (Tomado de González *et al.*, 2011).

La utilización no es intensa en general para los pinos piñoneros. Su madera es defectuosa para su uso como aserrado y resulta de una baja calidad para madera de contrachapada, por lo que es poco atractivo para la industria privada debido al bajo volumen por hectárea y los altos costos de cosecha (Zavarín y Snajberk, 1997).

Sin embargo la madera puede ser usada para vigas de ferrocarril, madera para construcción, leña, árboles de navidad y como semilla la nuez de piñón. Siendo este último una importante fuente de ingreso para los habitantes de la región la recolección del piñón y la agricultura. Hay que hacer notar que la producción de piñón es básicamente una actividad de recolección, donde no existen lineamientos técnicos que lo hagan ser un método de manejo (Musalem *et al.*, 2008).

Ciclo reproductivo: el inicio del brote reproductivo probablemente ocurre entre agosto y septiembre. La polinización aparentemente es en mayo y/o junio del segundo año. El tiempo exacto que transcurre entre la polinización y la fertilización es desconocida, pero probablemente la fertilización ocurre en el segundo o tercer año, o a lo mejor hasta el cuarto. La maduración de los conos y dispersión de las semillas ocurre de septiembre a octubre (Passini, 1991).

Las hojas primarias son producidas por varios años (arriba de 20 años) tanto en el tallo principal como en ramas laterales. Cuenta con una hilera o pared de células de esclerénquima separando el floema del haz vascular simple ocurriendo en la mayoría de las hojas. La aparición de las hojas secundarias es pospuesta hasta que las ramas se encuentran completamente desarrolladas. Los conos masculinos aparecen en la parte apical de un brote axial, de los compuestos o agregados de la yema, a través de una modificación de diminutos primordios del tallo, sus brácteas inferiores son homologas a las escamas de los fascículos de la vaina (Arteaga Martínez, B. *et al.*, 2000). CAMCORE (1995) reporta que el ciclo reproductivo es de cuatro años. Arteaga *et al.* (1998) señala que el cono se desarrolla en la punta de la ramilla, la cual queda como un pedúnculo, junto con las ramillas, que siguen desarrollándose formando acículas; estas ramillas quedan hacia arriba, esto debido a que el peso del cono jala la rama hacia abajo, terminando el desarrollo del cono reabsorbe la yema terminal de la rama, de tal manera que secan a ésta, dando la apariencia de que la rama es el pedúnculo, de esta manera se explica por qué siendo un cono tan pesado lo soporta una rama en apariencia delgada y frágil. Los conillos masculinos aparecen en abril y llegan a

madurar hasta octubre del tercer año. El cono es persistente, ya que puede llegar a durar varios años en caer (aproximadamente de 5 a 6 años) hasta que se pudre la rama de donde cuelga, o bien el punto de unión se seca y provoca la caída del cono, aun cuando por lo general siempre provoca que se seque una parte de la rama, la cual al caer se desprende. La madera de las ramillas es resistente, es decir no se quiebran con facilidad.

El periodo de siembra puede ser en cualquier fecha, de un año a dos antes de la plantación.

El tratamiento pre-germinativo propuesto es remojar la semilla en agua corriente por 24 horas antes de la siembra, para germinar uniformemente a los 15 días.

Para el método de siembra se recomienda directa al contenedor. Las semillas deben ser sembradas a 1.5 cm de profundidad, en un medio ligero, estéril, el cual provea buena aeración y humedad. Usar Captán como fungicida a razón de 2.5 g por 1Lt de agua, con aplicaciones al inicio y semanales durante 4 semanas. Para evitar la formación de musgo se puede poner en la parte superior del sustrato una capa de tezontle fino previamente desinfectado. Si hay trasplante realizar en la tarde o muy temprano por la mañana. Sacar las plántulas con cuidado, mojar la raíz en agua mezclada con arcilla para que la raíz entre verticalmente en el envase y no se doble. El sustrato debe ser de textura ligera, buen drenaje, pH ligeramente ácido y buena capacidad para retener la humedad. Usar fertilizantes orgánicos e inorgánicos. Para mejorar el drenaje agregar arena y suelo de bosque para lograr la micorrización, y si es necesario una solución de ácido fosfórico para bajar el pH del sustrato. *Pisolithus tinctorius*, hongo micorrízico, incrementa la supervivencia y desarrollo de las plántulas.

Los usos que se le dan a la especie son para proteger suelos en áreas marginales. Uso ornamental en parques y jardines, debido al color verde azulado de su follaje y su excelente respuesta a las podas de formación. Madera para construcción, vigas

de ferrocarril y árboles de navidad (Aguilera, 2001). Las semillas son comestibles, dado que el piñón de *P. maximartinezii* es blanquecino muy aceitoso y sabroso, un análisis proximal mostró que contiene 31% de proteína cruda, 66% de proteína desgrasada, 42% de grasa cruda, 2% de carbohidratos, 9% de fibra cruda, 4% de cenizas y 4% de humedad. Contiene 18 aminoácidos distintos, incluyendo a todos los esenciales, y seis ácidos grasos diferentes, 84% de ellos insaturados (López, 1998).

Características del árbol

Descripción

Es un árbol de 6 a 15 m de alto, más ancho que alto, con frecuencia ramudo y con copa redondeada, de color verde-azulado, tronco hasta de 50 cm de diámetro y corteza irregular cuadrangular, ramificado casi desde la base, ramillas lisas de color gris algo brillante.



Fig. 2. Porte general de *P. maximartinezii*.

Ramas de follaje

Delgadas de crecimiento lento, principalmente glabras, con la bases de las hojas pequeñas, los brotes jóvenes son glaucos tornándose de color naranja-marrón a gris, fascículos de agujas extendidas, laxos y persistentes hasta dos años (Farjon *et al.*, 1997).



Fig. 3. Ramillas de *P. maximartinezii*.

Follaje

En la etapa juvenil presenta follaje de color verde azulado. Los fascículos de cinco, rara vez tres o cuatro, las acículas miden de 7 a 11 cm de largo por 0.4 a 0.6 mm de ancho, triangulares, ápice obtuso, flexibles, de color verde intenso y brillantes en la cara interior; ramas ascendentes, colocadas de forma irregular en el tallo, margen entero a veces se observan algunos dienteillos irregulares, los estomas están dispuestos en dos o tres hileras longitudinales en la cara ventral, generalmente con dos canales resiníferos externos y un haz vascular.



Fig. 4. Follaje de *P. maximartinezii*.

Conos femeninos

Los estróbilos femeninos cuelgan de las puntas de las ramillas. Maduran en el segundo año y son de forma orbicular-ovalados de color castaño claro y muy resinoso de 15 a 23 cm de largo por 11 a 13 cm de diámetro y hasta 2 kg. Presenta un eje central donde están insertadas entre 60 y 100 escamas duras y rígidas por cono, cóncavas en la cara superior, en disposición helicoidal. Umbo dorsal irregular tetra hexagonal hasta 5 cm de ancho y 2.5 cm de altura en las escamas centrales; apófisis piramidal hasta 3 cm de largo, color castaño algo brillante. Cúspide protuberante y gruesa, de color castaño oscuro, en las escamas centrales hasta de 15 mm de largo, espina nula o diminuta (Rzedowski, 1964 citado por Núñez y Piedra, 1985).



Fig. 5. Cono del pino azul.

Semillas

Se presentan 2 por escama, a veces 1, sin ala, de forma oblonga a ovado-oblonga de 22 a 28 mm de largo por 10 a 12 mm de ancho y de 7 a 10 mm de grueso, de color castaño a negruzcas, cuando vanas sin brillo en la cara inferior y brillantes en la superior. La cubierta



Fig. 6. Semillas del Pino azul.

seminal externa es dura, de 2 mm de grosor, arrugada de color castaño, delgada y fácilmente desprendible; la almendra es aceitosa, puede ser de color blanca, marfil o amarillo, de 18 a 22 mm de largo, de 5 a 7 mm de ancho, sabor resinoso y agradable. Es un alimento con alto valor nutritivo. Esta especie posee las semillas más grandes del género, 1 kilogramo contiene aproximadamente 920 semillas (Rojas, 2009).

Corteza

Irregularmente cuadrangular, de 1.5 a 1.9 cm de espesor, en árboles maduros; gruesa de color marrón-anaranjado por dentro y gris por la parte externa, cuadrangular en placas geométricas, por fisuras longitudinales y transversales. Sobre árboles jóvenes la corteza es delgada y lisa.



Fig. 7. Corteza de *P.*

Cotiledones

El número de hojas cotiledonares para *Pinus maximartinezii* es de 18 a 24, siendo 24 el valor más alto observado en una planta. Con 12 pares de cromosomas y de 1 a 4 embriones.



Figura 8. Hojas cotiledonares de *Pinus*

Fenología

Florece de febrero a marzo. Ciclo reproductivo de 4 años. Empiezan a producir semillas a los 25 años, aunque de manera comercial a los 40 años. Años semilleros cada 5 años cuando menos (Aguilera, 2001).



Figura 9. Árbol de *P. maximartinezii* en época reproductiva.

Ubicación taxonómica

Reino: Plantae

Phylum: Tracheophyta

Clase: Coniferopsida

Orden: Coniferales

Familia: Pinaceae

Género: *Pinus*

Especie: *maximartinezii* Rzed.

Requerimientos de cultivo

El clima que requiere es templado, la temperatura media entre los 17 a los 20 °C

La exposición es media sombra cuando es plántula y una vez que se trasplanta al sitio definitivo le favorecen los sitios soleados. En altitudes que van de los 700 a 2500 msnm.

En cuanto al riego debe de ser a saturación cada 2 o 3 días cuando no llueve. Es conveniente realizar deshierbes de manera frecuente para evitar plantas indeseables que compitan por agua, nutrientes o luz.

Para su propagación puede ser sexual por semilla y asexual por acodo, esqueje o varetta. El trasplante lo tolera si se sigue la técnica adecuada de banqueo, corte de raíces y riego.

Al realizar la plantación se recomienda trazar el terreno en forma regular con espaciamientos de 2 por 3 m entre plantas, emplear los diseños de “tresbolillo” o “marco real”. El método más popular es el de cepa común.

Ésta especie es susceptible al ataque de nematodos y hongos como: *Rhizoctonia*, *Phytophthora*, *Phythium*, *Fusarium* que causan Damping-off o muerte de las raíces de las plántulas (Rojas, 2009).

Antecedentes

Robledo Paz *et al.* (2009); desarrollaron un protocolo que permite la diferenciación eficiente de brotes adventicios de *Pinus maximartinezii*. Se probaron embriones y cotiledones en cuanto a su capacidad para formar yemas adventicias. La metodología desarrollada permite la diferenciación de yemas adventicias de *Pinus maximartinezii* a partir del cultivo de cotiledones, con una tasa de multiplicación significativamente superior a la obtenida por otros autores.

Palacio Vázquez (2008), evaluó las respuestas morfogénicas a partir de yemas axilares y apicales obtenidas de la germinación *in Vitro* de semillas de *Pinus maximartinezii*; alcanzando un crecimiento máximo de brotes de 68.74 mm en 21 semanas de cultivo. Por otra parte el mayor número de brotes fue de 25 en 12 semanas de cultivo.

Ojeda-Zacarías *et al.* (2006); Multiplicaron *in vitro* a *Pinus maximartinezii* por medio de organogénesis; embriones cigóticos y cotiledones obtenidos de semillas maduras, obteniendo como resultado un número de brotes promedio de 4.031 con el medio de cultivo DCR= Douglas-fir cotyledon revised médium (Gupta y Durzan, 1985) y 2.844 brotes con GD= (Gresshoff y Doy, 1972).

Ortega-Mata *et al.* (2003); analizaron el comportamiento germinativo y crecimiento inicial de plántulas de siete poblaciones de *Pinus hartwegii* ubicadas en el popocatepetl y Estado de México; encontrando que la población del Ajusco tuvo el mayor porcentaje de germinación con el 98% y la del Izta Popo la de menor porcentaje con 33.65%. De igual manera en la altura y diámetro de las plántulas de éstas poblaciones no presentan diferencias significativas.

López Mata (2001) realizó un análisis químico de los componentes nutritivos de la semilla de *Pinus maximartinezii* comparando a su vez con algunas especies de pinos piñoneros. El análisis mostró que el pino azul contiene 31% de proteínas, 66% de proteína desgrasada, 42% de grasas, 2% de carbohidratos, 9% de fibra, 4% de cenizas y 4% de humedad; conteniendo 18 aminoácidos distintos. Concluyendo que la nuez del pino azul es de valor dietético sobresaliente.

López Mata (1999), evaluó el impacto de la cosecha de semilla de *Pinus maximartinezii* sobre la dinámica poblacional de la especie a través de simulaciones derivadas de un modelo matricial. Encontrando que *Pinus maximartinezii* es una especie capaz de soportar cosechas de semilla extremadamente altas sin que se llegue a afectar su estabilidad demográfica, y que aproximadamente el 1% de la producción de semillas y bajo las actuales condiciones es suficiente para garantizar su incremento poblacional.

Robledo Paz (1987) investigó algunos de los eventos asociados a la diferenciación y desarrollo de los brotes adventicios en cotiledones de *Pinus maximartinezii*. Probó dos métodos de germinación de la semilla, germinación en medio de cultivo y germinación en peróxido de hidrógeno al 3%, encontrando que bajo este último método permitió eliminar por completo la contaminación y además respondió mejor el tejido proveniente de estas semillas. Además, analizó el efecto de diferentes concentraciones de la benciladenina, sobre la inducción de brotes adventicios sobre cotiledones, encontrando una relación directa entre la concentración y el número de brotes formados. Por otra parte pudo observar tres fases durante la diferenciación de brotes adventicios: 1) formación de tejido meristemático, 2) formación de primordios de brote y 3) brotes bien diferenciados. Cada una de estas fases se llevó a cabo en un tiempo determinado y bajo diferentes condiciones de cultivo.

Robledo y Villalobos (1985), determinaron las mejores condiciones *in vitro* para la micropropagación de *Pinus maximartinezii*. Encontrando serias dificultades en la desinfección de las semillas, ya que a mayor concentración de hipoclorito de sodio, menor germinación. Al bajar la concentración de hipoclorito de sodio, la contaminación por hongos incremento hasta un 90%. De los métodos experimentales de germinación el que dio mejor resultado fue el de germinación en cajas Petri, logrando un porcentaje de germinación de hasta un 95%.

Leung y García de García (1985) estudiaron el control de la germinación de *Pinus maximartinezii*, donde concluyeron que las semillas o embriones de *Pinus maximartinezii* no son dormantes, y el tiempo de germinación es de 20 días, además que al agregar 1mg de captán a una concentración de 500 gr de i.a./Kg diluido en 10 ml de agua destilada es efectivo contra el crecimiento de hongos y no tiene efecto sobre la germinación de la semilla.

Núñez y Piedra en (1985), hicieron un estudio sobre la variación morfológica de *Pinus maximartinezii*, dónde analizaron cuantitativamente 27 características morfológicas de acículas, conos y semillas, mediante un estudio de poblaciones naturales de *P. maximartinezii*, tomando dos fuentes de variación (entre rodales y entre árboles). En el análisis estadístico se encontró que la mayor variación se presenta entre árboles dentro del rodal con diferencias altamente significativas al 1% y 5% de probabilidad.

Justificación

El presente trabajo se planeó tomando en cuenta que existen pocos trabajos de investigación sobre el pino azul; que es endémico de México y que se encuentra dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010 como en peligro de extinción; además tienen un gran valor ornamental y ecológico; así como alimenticio, ya que su semilla es consumida como nuez en México, Estados Unidos y Japón. Cabe mencionar que no se han realizado trabajos con esta especie en cuanto a capacidad germinativa, crecimiento de plántula en vivero así como descripción morfológica de individuos de vivero con diferentes edades, por lo que se establecieron los siguientes objetivos:

Objetivo General

Describir y evaluar el comportamiento germinativo y crecimiento en vivero de *Pinus maximartinezii* con fines de conservación y restauración.

Objetivos Particulares

1. Evaluar la germinación de semillas de *Pinus maximartinezii* procedentes de individuos de Tepetzotlán, Estado de México; determinando su capacidad germinativa, tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad de germinación.
2. Valorar la viabilidad de la semilla en condiciones de almacenamiento al segundo mes.
3. Describir el crecimiento en vivero y la sobrevivencia de plantas de *Pinus maximartinezii*.
4. Describir la morfología de plantas de diferentes edades.

Área de Estudio

El municipio de Tepetzotlán se localiza en la parte norte del Estado de México entre los 19° 38' 50" y los 19° 47' 30" de latitud norte y entre los 99° 11' 30" y los 99° 25' 10" de longitud oeste, a una altitud aproximada de 2300 m s.n.m. (Neri, 1995) . Se ubica a 115 km de distancia de Toluca, capital del estado, y a 45 Km de la ciudad de México, sobre la autopista México-Querétaro hacia el noreste del valle de Cuautitlán-Texcoco. Posee una superficie de 208.83 Km², con una longitud perimetral de 88256.21 m, representando el 0.93 % de la superficie total del Estado de México (ver figura 9).

Tepetzotlán limita al norte con el poblado de San José Piedra Gorda de Tepeji de Ocampo en el Estado de Hidalgo, así como con los municipios de Huehuetoca y Coyotepec del Estado de México; al sur con Cuautitlán Izcalli y Nicolás Romero; al este con Teoloyucan y Cuautitlán y al oeste con Villa del Carbón.

Presenta distintos registros de altura, que van desde 2 250 hasta 2 900 m s.n.m., que alcanza la montaña más alta; el sistema orográfico es variable, cuenta con un vasto valle dedicado principalmente a la agricultura.

Los recursos hidrológicos más importantes son la presa de La Concepción con capacidad de 12 500 000 m³, de la que derivan los Ríos Hondo de Tepetzotlán y el canal de la Margen Izquierda (Zanja Real).

El clima en el municipio es templado subhúmedo con lluvias principalmente en verano y heladas en invierno. La temperatura media es de 16°C, la máxima extrema de 30°C y la mínima extrema es de 3.3°C. Los vientos dominantes soplan de noreste-oeste.

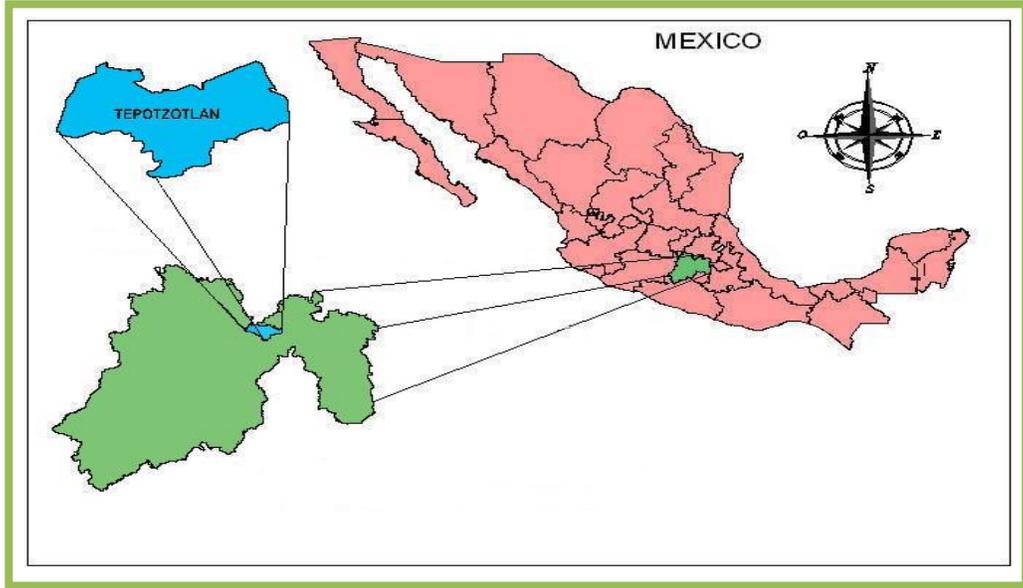


Figura 10. Ubicación del municipio de Tepotzotlán.

El Parque Ecológico Xochitla pertenece al municipio de Tepotzotlán, Estado de México, se ubica geográficamente entre los paralelos $19^{\circ} 42' 30''$ latitud norte y $99^{\circ} 11' 47''$ longitud Oeste. Cuenta con una extensión de 70 hectáreas y forma parte del antiguo Rancho El Morro (ver figura 10).

La geología está formada principalmente por materiales clásticos de naturaleza andesítica, depositado en forma de abanicos aluviales, acompañados de tobas arcillosas, arenas y gravas. El suelo predominante en la zona es franco arcilloso, con pH de 6 a 6.6.

El tipo de clima que se presenta en la reserva es templado con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco largo y poca precipitación: C (w) (w) b (i').

La reserva está abastecida por la presa La Concepción, por un pozo freático y por agua potable proveniente del municipio.

Los tipos de vegetación que se presentan en los alrededores de la zona son: bosque de encino, bosque de pino-encino, matorral de encino, matorral xerófilo, pastizal y vegetación secundaria. La flora existente en la reserva es principalmente secundaria, con elementos propios de bosque de encino, pastizal y matorral xerófilo (Rojas *et al.*; 2000).

Éste sitio es una de las pocas localidades en México dónde se encuentran plantaciones de pino azul, por lo que se eligió trabajar con esta población.



Fig 11. Ubicación de Xochitla, sitio de estudio.

Metodología

Trabajo de campo

Se hizo una visita al parque ecológico Xochitla; realizando un recorrido para ubicar los árboles dentro del parque, se enumeraron, se tomaron medidas de: altura, diámetro y ancho del tronco.

Para obtener los conos de *P. maximartinezii* se usó una grúa tipo Genie. Una vez bajados los conos se les enumeró, midió su longitud y su anchura, después se colocaron en bolsas de plástico para ser transportados al laboratorio.

Trabajo de laboratorio

Se extrajeron las semillas de cada uno de los conos, registrando cuantas semillas contiene cada uno, se midió el largo y ancho de cada semilla así como su peso.

Se cuantificó la producción de semillas por conteo de las huellas que dejan en las escamas.

Con el fin de disminuir la contaminación de las semillas se lavaron y se sumergieron por 15 minutos con agitación constante, en 250 ml de NaOCL (hipoclorito de sodio) al 6% en un vaso de precipitado, subsecuentemente las semillas se lavaron tres veces con agua destilada.

Un total de 30 semillas se colocaron en cajas de plástico tipo domo y se colocaron por 24 horas luz a 26 °C, cada una conteniendo una capa de papel filtro

humedecido con 10 ml de agua destilada a imbibición. El número de lotes fue de 9 conteniendo cada una 30 semillas por repetición, esta medida fue determinada en virtud de la cantidad de semillas disponibles.

La germinación de las semillas se definió como la ocurrencia del primer signo visible de protrusión de la raíz a través de las estructuras que la rodean.

Trabajo de gabinete

Para interpretar los datos de germinación se usó un análisis estadístico de acuerdo a Camacho y Morales (1992) para obtener los índices de capacidad germinativa, tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad de germinación (ver apéndice I).

Para el crecimiento de las plantas en condiciones de invernadero se analizaron al hacer una correlación existente entre el diámetro y altura del tallo. Así como contabilizar la sobrevivencia de plántulas sembradas (Rubio, 2006).

Para probar la viabilidad de las semillas, algunas se almacenaron en un recipiente de plástico con un número determinado de semillas refrigerándolas a 4°C, y al cumplir dos meses se extrajo una muestra para monitorear su germinación (Rubio, *op. cit*).

Para la descripción morfológica se extrajo un ejemplar de tres diferentes edades y se herborizaron para la toma de medidas de las hojas, ramas, tallo y con base en la toma de datos y fotografía se realizó la descripción morfológica de las plántulas en vivero a los 2, 9 y 12 meses de edad.

Para la interpretación de datos de germinación se realizó un análisis estadístico considerando a Camacho y Morales (1992) para obtener los índices de capacidad

germinativa, tiempo de germinación, uniformidad germinativa y calidad germinativa (Apéndice I).

Los índices numéricos para estudiar la germinación son:

Capacidad germinativa, que tiene un valor práctico, dado que se usa como uno de los principales indicadores de la calidad de las semillas.

Tiempo de germinación (TMG), es lo que las semillas tardan en germinar; para evaluarlo considerando todos los datos tomados, se usa el tiempo medio de germinación.

Uniformidad germinativa (desviación típica de los tiempos en germinación), es la cercanía entre los tiempos de germinación de las semillas sembradas, cuanto transcurre entre las primeras germinaciones y las últimas.

Calidad germinativa (índice de Maguire, 1962), es la suma de las tasas de germinación sencilla entre el tiempo; los valores germinativos son muy útiles para una interpretación objetiva e imparcial de experimentos sobre germinación.

Para los datos obtenidos de peso, diámetro, largo, número de semillas y días en germinar se obtuvieron las siguientes medidas descriptivas: media, desviación standart, mínimo, máximo y los cuartiles (cuartil 1, cuartil 2 y cuartil 3) así mismo se obtuvieron diagramas de caja para cada una de las variables mencionadas y para estudiar la relación entre peso, diámetro y largo de semilla se realizaron análisis de correlación.

Para determinar si existieron diferencias significativas en los dos tiempos estudiados en largo y diámetro de raíz se realizaron análisis de varianza (ANOVA).

Para los datos obtenidos de largo y ancho de hipocotilo y largo de epicótilo se obtuvieron las siguientes medidas descriptivas: media, desviación standart, mínimo, máximo y los cuartiles (cuartil₁, cuartil 2 y cuartil 3) así mismo se obtuvieron diagramas de caja para cada una de las variables mencionadas y para estudiar la relación entre largo y ancho de hipocotilo y largo de espicotilo se realizaron análisis de correlación.

Para determinar si existieron diferencias significativas en los dos tiempos estudiados en largo y ancho de hipocotilo y largo de epicótilo se realizaron análisis de varianza (ANOVA).

Todos los análisis antes mencionados se realizaron con el paquete de computo Minitab versión 16.

Resultados

Comportamiento germinativo

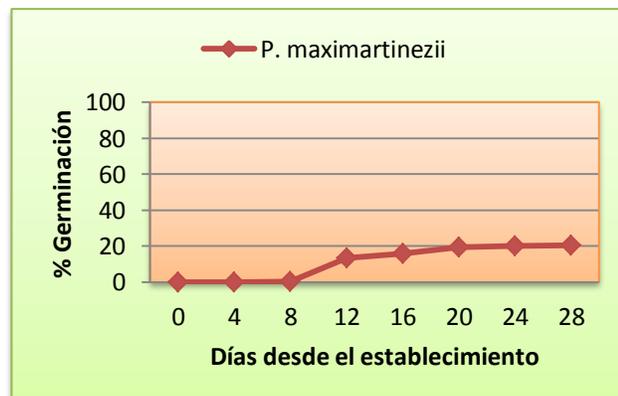
La germinación es el primer paso y el más crítico para el establecimiento y desarrollo óptimo del individuo por lo que es importante describir como ocurre este proceso.

El porcentaje de germinación (Figura 12) fue de 20.3% alcanzado hasta los 12 días del establecimiento, se obtuvo un Tiempo Medio de Germinación (TMG) de 12.47 días, siendo la desviación de éste de 4.1 días; el valor germinativo o índice de Maguire indica una mala calidad de germinación ya que sólo se obtuvo un valor de 1.49 semillas/día (Cuadro 1).

Índices de Germinación	<i>P. maximartinezii</i>
Capacidad germinativa (%)	20.3
Tiempo Medio de Germinación TMG (días)	12.47
Desviación del TMG (días)	4.1
Calidad germinativa (índice de Maguire)	1.49

Cuadro 1. Datos de germinación de semillas de *Pinus maximartinezii*.

Figura 12. Porcentaje de germinación acumulada a diferentes tiempos de *Pinus maximartinezii*.



Viabilidad

Para la prueba de viabilidad se contó con 60 semillas las cuales estuvieron almacenadas por dos meses, a estas semillas se les realizó el mismo tratamiento, sólo que fueron puestas 15 semillas en cada domo de plástico siendo 4 domos para completar las 60 semillas disponibles.

El porcentaje de germinación para las semillas almacenadas por dos meses fue del 60% (Figura 13), teniendo como tiempo medio de germinación (TMG) 15 días, con una desviación de 6.4 días y con una calidad germinativa de 4.4 semillas/día (cuadro 2).

Índices de Germinación	<i>P. maximartinezii</i>
Capacidad germinativa (%)	60
Tiempo Medio de Germinación TMG (días)	15
Desviación del TMG (días)	6.4
Calidad germinativa	4.4

Cuadro 2. Datos de viabilidad sobre la germinación de semillas de *Pinus maximartinezii*.

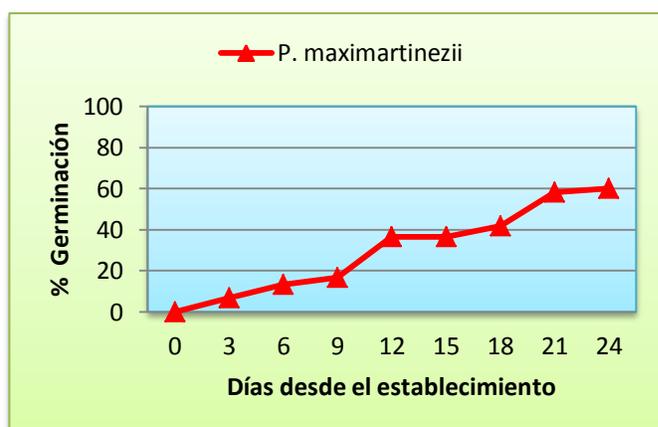


Figura 13. Porcentaje de germinación acumulada en la prueba de viabilidad diferentes tiempos de *Pinus maximartinezii*.

Medición de semillas

Las medidas descriptivas que se hicieron a las semillas se muestran en el cuadro 3, donde las variables a considerar fueron peso, diámetro, largo, número de semillas y días en germinar; así mismo se obtuvieron diagramas de caja para cada una de las variables mencionadas (Figura 14).

Variable	N	N*	Media	Desv St	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Peso (g)	54	0	1.425	0.091	1.190	1.367	1.420	1.482	1.680
Diámetro (mm)	54	0	1.127	0.051	1.000	1.090	1.120	1.150	1.270
Largo (mm)	54	0	2.296	0.100	2.140	2.230	2.290	2.332	2.660
No. de semillas	54	0	202.7	111.3	22.0	99.3	200.5	289.8	414.0
Días en germinar	54	0	14.40	3.429	10.00	12.00	13.00	17.00	23.00

Cuadro 3. Estadísticas descriptivas: Peso (g), Diámetro (mm), Largo (mm), No. de semillas y Días en germinar

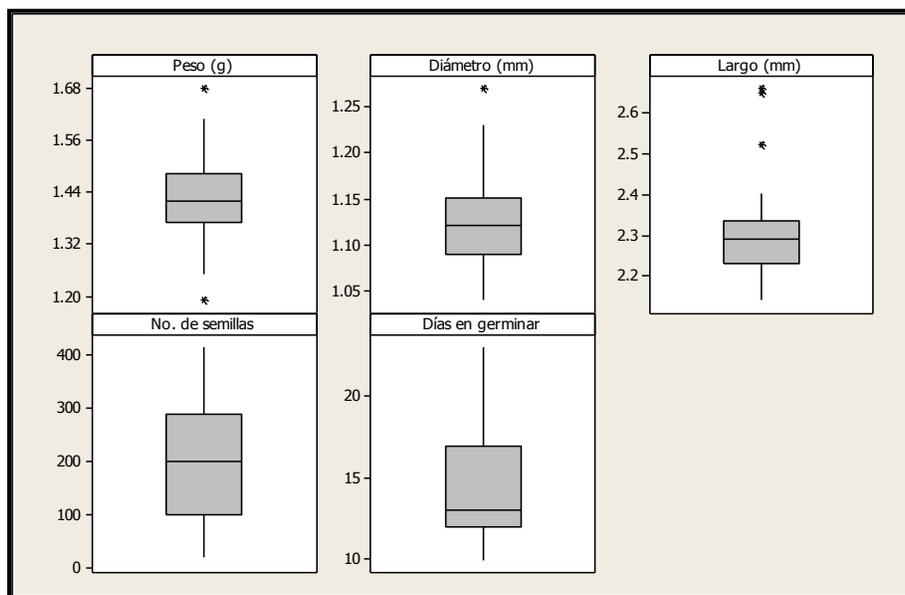


Figura 14. Diagramas de caja y bigote donde se observa el peso, diámetro, largo, número de semillas y días en germinar. Los asteriscos (*) representan valores extremos.

En los diagramas de caja y bigote anteriores se puede observar cinco variables diferentes,

Peso promedio. De todas las semillas de la muestra, el peso promedio fue de 1.42 g, teniendo pesos bajos de 1.19 g y pesos altos de 1.6 g.

Diámetro de semilla. En la gráfica vemos que en promedio las semillas tienen un valor de 1.12 mm, además hay valores muy bajos de apenas 1 mm, y valores máximos de 1.27 mm.

Largo de semilla.- En la tercera gráfica se representa el largo de la semilla, observamos que el valor promedio es de 2.29 mm, con sus dos extremos de 2.14 mm como mínimo y 2.66 mm como máximo.

Número de semillas.- Para la gráfica de Número de semillas, vemos que la media es de 200 y con valores mínimos y máximos de 22 y 414 respectivamente.

Tiempo medio de germinación.- Para el último diagrama que corresponde a días en germinar podemos observar que en promedio las semillas germinan de los 13 a los 17 días, encontrando también semillas que germinan desde los 10 días, hasta semillas que germinan a los 23 días.

Además de todo lo anterior, también se realizaron análisis de correlación para estudiar la relación entre peso, diámetro y largo de semilla (ver cuadro 4 y figura 15).

	Peso (g)	Diámetro (mm)
Diámetro (mm)	0.6	
	0.000	
Largo (mm)	0.600	-0.06
	0.000	0.7

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson y valores de p, entre peso (g), diámetro (mm) y largo (mm).

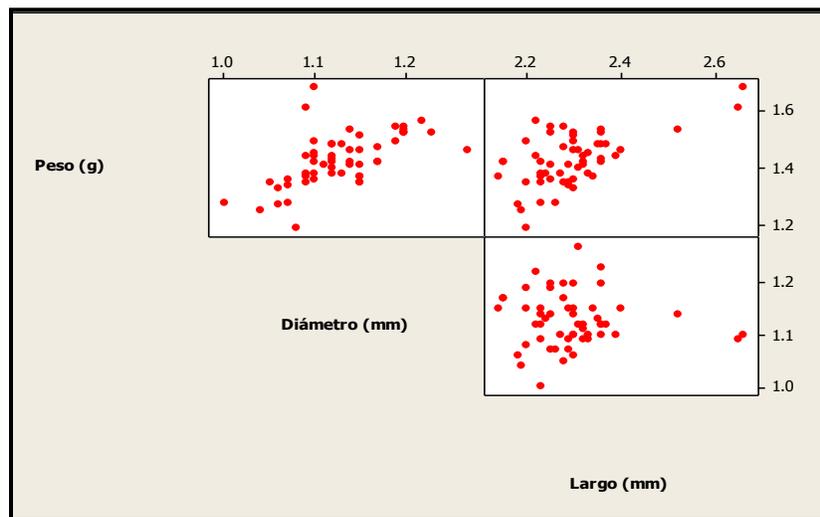


Figura 15. Diagrama de correlación entre: peso/diámetro, peso/largo, y diámetro/largo.

Estos diagramas nos muestran que el valor del coeficiente de correlación entre las variables *peso/diámetro* es moderado ($r=0.6$, $p=0.000$), por lo que se puede decir que existe una ligera correlación lineal positiva.

En cuanto a las variables *peso/largo* el coeficiente de correlación fue similar a las variables anteriores ($r= 0.6$, $p =0.000$), por lo que se puede decir que también existe una ligera correlación lineal positiva.

Los valores anteriores, contrastan con el valor del coeficiente de correlación para las variables *diámetro/largo*. Con un valor de ($r = -0.06$, $p = 0.70$), por lo que se puede concluir que no existe ninguna correlación lineal entre estas variables.

Medición de la raíz

Para las raíces se hicieron medidas descriptivas, y las variables a tomar fueron largo y diámetro de raíz a dos tiempos cada una (Cuadro 5).

Variable	Tiempo	N	N*	Media	Desv St	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Largo raíz	T-1	54	0	0.749	0.584	0.180	0.337	0.560	1.022	2.590
	T-2	51	3	3.221	1.264	0.310	2.510	3.360	4.140	6.180
Diámetro raíz	T-1	54	0	0.237	0.062	0.110	0.190	0.230	0.275	0.440
	T-2	51	3	0.205	0.032	0.120	0.190	0.200	0.230	0.300

Cuadro 5. Medidas descriptivas: Largo raíz (mm) y Diámetro raíz (mm).

Además se realizaron diagramas de caja para cada una de las variables antes mencionadas a dos diferentes tiempos (Figura 16).

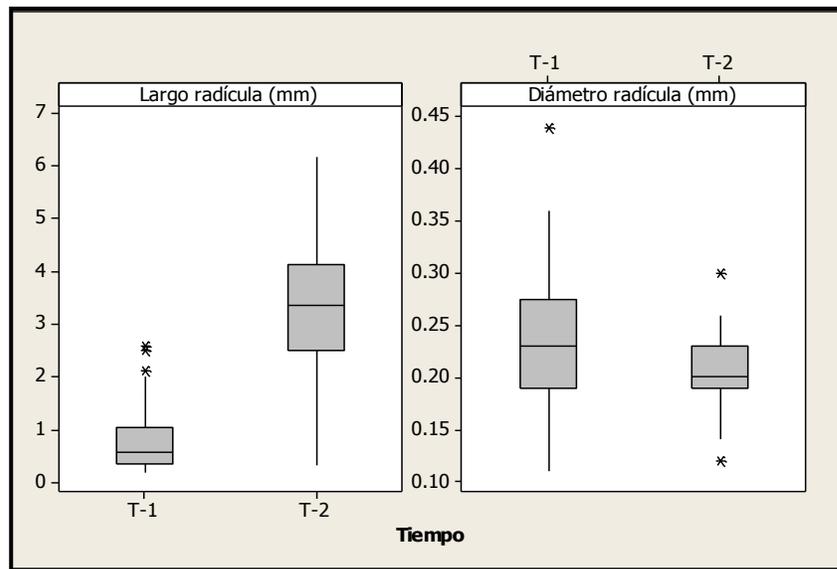


Figura 16. Diagramas de caja y bigote donde se muestra el largo de raíz y diámetro de raíz a dos diferentes tiempos. Los asteriscos (*) representan valores extremos.

En los diagramas de caja y bigote se midieron dos características: el largo y el diámetro de la raíz a dos tiempos diferentes.

En la primera gráfica que representa el largo de raíz, se aprecia que para el tiempo 1 la mayoría de las raíces oscilaba entre 0.56 mm y 1.02 mm ya que son los primeros días en que empezó la germinación, ya para el tiempo 2 se observa un crecimiento mayor, alcanzando un valor medio de 3.36 mm. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($F=168.47$, $P=0.000$).

Para la segunda gráfica que representa el diámetro de la raíz se ve que en el tiempo 1, la mayoría de las raíces medía 0.23 mm ya para el tiempo 2 disminuyó teniendo un valor promedio de 0.20 mm. Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias significativas ($F=10.50$, $P=0.002$).

Para la prueba de correlación entre las variables: diámetro y largo de la raíz a dos tiempos, se observa que la correlación entre estas variables fue: $r= -0.15$ y $p= 0.12$

por lo que se puede concluir que no existe ninguna correlación lineal entre estas variables (Ver figura 17).

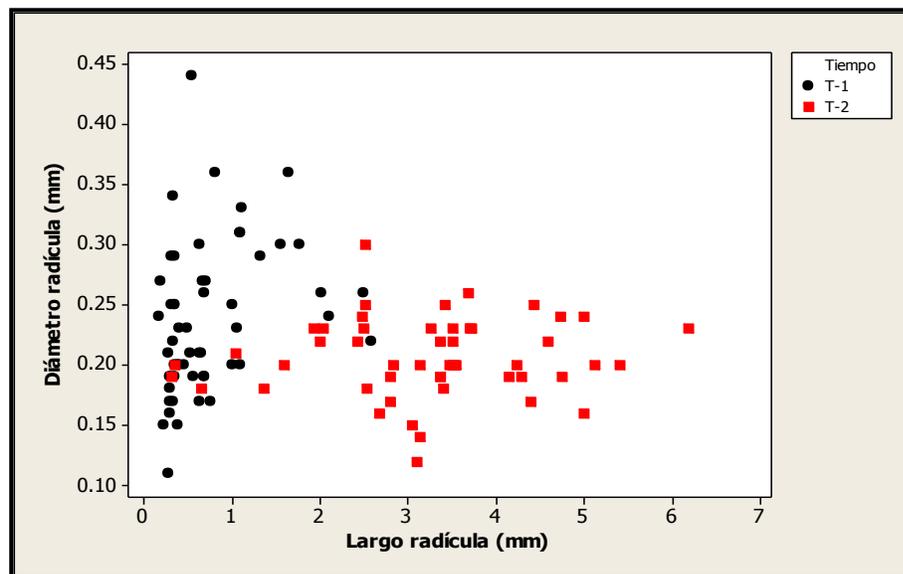


Figura 17. Diagrama de correlación entre diámetro y largo de raíz a dos tiempos diferentes.

Crecimiento y sobrevivencia en vivero.

Una vez que las semillas han germinado y sus raíces comienzan a secarse, fue el momento para trasplantar las plántulas en bolsas negras para vivero, utilizando como sustrato tierra negra y agrolita a proporción 3:1, y ser llevadas al vivero.

Las plántulas fueron monitoreadas tomándoles medidas del largo y ancho del hipocotilo así como el largo del epicotilo. A estos datos se les hicieron medidas descriptivas (ver cuadro 5 y apéndice II).

Variable	N	N*	Media	Desv St	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Largo hipocotilo	413	0	5.376	1.731	1.080	4.150	5.550	6.600	10.05
Ancho hipocotilo	413	0	0.275	0.039	0.150	0.250	0.280	0.300	0.390
Largo epicotilo	308	105	3.935	2.426	0.200	1.780	3.690	5.838	10.14

Cuadro 6. Medidas descriptivas: largo hipocotilo, ancho hipocotilo y largo epicotilo.

También se realizaron diagramas de caja para cada una de las variables antes mencionadas (figura 18).

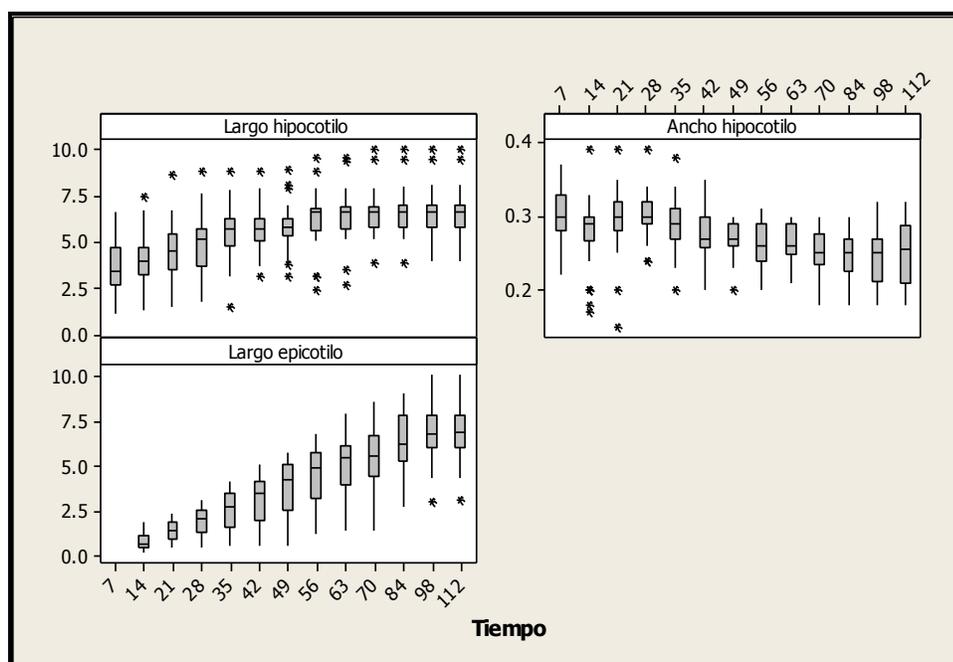


Figura 18. Diagramas de caja y bigote donde se muestra tres variables: largo de hipocotilo, ancho de hipocotilo y largo de epicótilo.

Largo del hipocotilo. Donde nos muestra que con el paso del tiempo la longitud del hipocotilo va aumentando, hasta llegar al día 56 donde el crecimiento se mantiene constante hasta el último registro.

Ancho hipocotilo. Podemos observar que el crecimiento muestra una variación importante a través de los días, aunque se observa que para el día 35 se genera una tendencia de ir disminuyendo el grosor del hipocotilo.

Largo epicotilo. Donde observamos una marcada tendencia de ir aumentando el crecimiento con el paso de los días, pudiendo observar que para el día 88 el crecimiento se detuvo y se mantuvo hasta el final del registro.

A todas las características antes mencionadas se les realizó un análisis de correlación obteniendo los siguientes resultados (cuadro 7 y figura 19).

	Largo hipocotilo	Ancho hipocotilo	Cuadro 7. Coeficiente de correlación de Pearson y valores de p, entre ancho hipocotilo, largo hipocotilo y largo epicotilo.
Ancho hipocotilo	-0.36		
	0.00		
Largo epicotilo	0.45	-0.46	
	0.00	0.00	

hipocotilo y largo epicotilo.

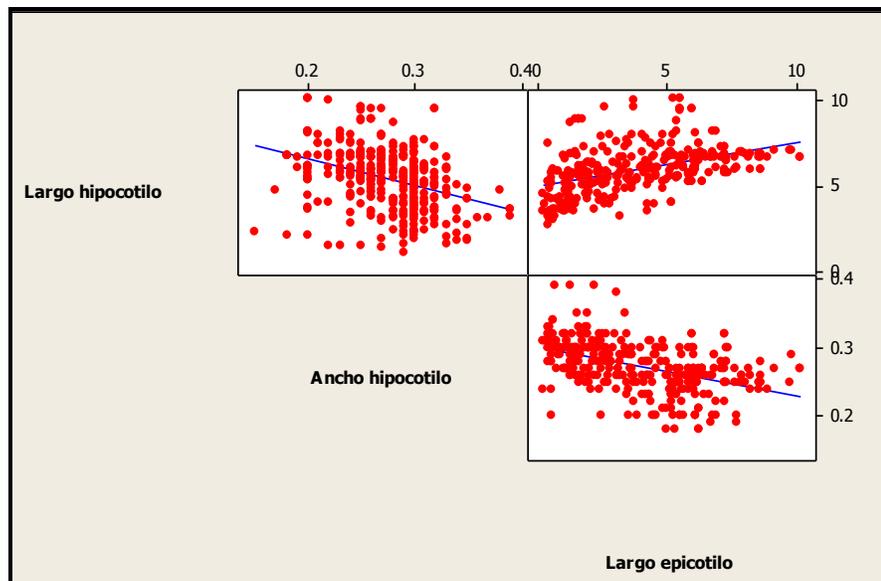


Figura 19. Diagrama de correlación entre: largo hipocotilo/ancho hipocotilo, largo hipocotilo/largo epicotilo y ancho hipocotilo/largo epicotilo.

Al relacionar las variables *largo del hipocotilo/ancho del hipocotilo* nos muestran que el valor del coeficiente de correlación es bajo ($r = -0.36$, $p = 0.00$), pudiendo observar que existe una ligera relación inversa.

En cuanto a las variables *largo del hipocotilo/largo de epicótilo* el coeficiente de correlación fue bajo ($r= 0.45$, $p =0.00$), observando una moderada tendencia de los datos de ir aumentando, por lo que se diría que hay una aparente correlación lineal directa.

Para las últimas variables *ancho del hipocotilo/largo epicotilo* su coeficiente de correlación fue baja ($r= -0.46$, $p =0.00$), por lo que se observa una correlación lineal inversa.

Para la fase experimental de sobrevivencia en el vivero se plantaron 53 plántulas obtenidas del estudio de comportamiento germinativo. Como era de esperarse en esta etapa también hubo una baja de 5 de plántulas, ya que al final del estudio sólo sobrevivieron 48 plántulas.

Descripción morfológica de plantas de Pinus maximartinezii a diferentes edades.

2 meses

Plántula con raíz Axonomorfa de 16.5 cm de longitud; tallo herbáceo verde claro de 6.0 cm de largo por 2.27 mm de ancho; presencia de 18 cotiledones epigeos, aún funcionales de color verde claro; epicótilo de 5 mm de largo; hojas nomófilas de 4.0 cm de largo por 0.98 mm de ancho, flexibles de color gris-azuloso; aún no hay presencia de ramas ni fascículos (figura 20).



Fig. 20. Morfología de *Pinus maximartinezii* a dos meses de edad.

9 meses

Plántula de 15 cm, con raíz fibrosa de 13.0 cm de longitud; tallo lignificado de color café verdoso de 6.0 cm de longitud por 2.83 mm de ancho; presencia de cotiledones epigeos, las hojas cotiledonares se han secado y caído en su mayoría; epicótilo de 2.62 cm de largo del cual salen 4 ramificaciones, las ramas aún sin presencia de fascículos, hojas nomófilas de 4.0 cm de largo por 0.86 mm de ancho, son flexibles de color gris-azuloso a verde limón.



Fig. 21. Morfología de *Pinus maximartinezii* a nueve meses de edad.

12 meses

Plántula con raíz fibrosa de 36.5 cm de longitud; tallo lignificado de color café-verdoso de 16.0 cm de longitud por 5.60 mm de ancho; las hojas cotiledonares se han secado y caído; epicótilo de 6.0 cm de largo del cual salen 6 ramificaciones, las ramas aún sin presencia de fascículos; hojas nomófilas de 5.52 cm de longitud por 0.79 mm de ancho, son flexibles de color verde-grisáceo a verde-limón.

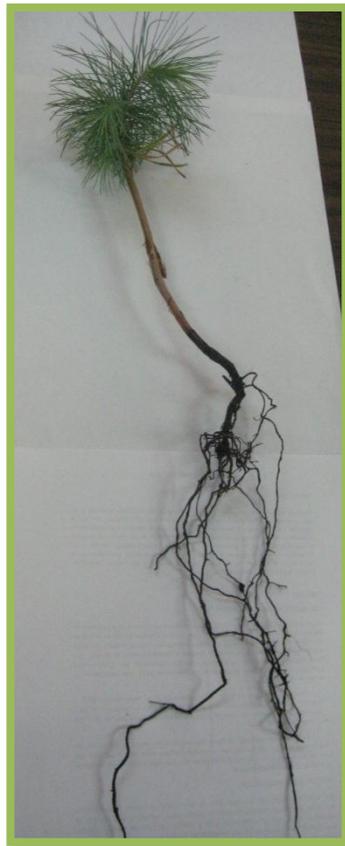


Fig. 22. Morfología de *Pinus maximartinezii* a doce meses de edad.

A continuación se muestra una tabla comparativa de las tres diferentes edades con

Edad	Tallo			Raíz		
	Largo (mm)	Ancho (mm)	Cuello (mm)	Cuello 1 (mm)	Cuello 2 (mm)	Cuello 3 (mm)
2 meses	60	2.27	2.69	2.09	1.05	0.86
9 meses	60	2.83	3.65	2.82	0.88	1.15
12 meses	160	5.60	5.37	5.28	1.45	1.01

Cuadro 8. Comparación morfológica de las tres diferentes edades.

sus datos morfológicos (Cuadro 8).

Discusión

Comportamiento germinativo.

El objetivo principal de la prueba de germinación es establecer el número máximo de semillas que pueden germinar bajo condiciones óptimas de luz, humedad y temperatura; además, la germinación de semillas está fuertemente influenciada por factores abióticos tales como el estrés hídrico, y en ciertos casos la luz (Rao y Singh, 1985). La cámara de germinación proporciona a las semillas un sitio seguro en el que encuentran el estímulo requerido para germinar y emerger.

Para el caso de este proyecto el tiempo en que tardan en germinar es relativamente rápida, ya que el tiempo medio de germinación fue de 12.47 días, comparándola con la germinación *in situ*, ya que en condiciones naturales, las semillas germinan dentro de un lapso de 8 a 10 semanas post-dispersión (Lopez Mata, 1999).

En cuanto a la capacidad germinativa, se obtuvo un 20.3%, lo cual nos muestra una mala germinación ya que en la mayoría de los pinos cuando no se aplica algún tratamiento para estimular la germinación, se tienen germinaciones de alrededor del 70% entre las 2 y 3 semanas posteriores a la siembra, mientras que si se realiza algún tratamiento pre germinativo la tasa de germinación mejora e incluso se incrementa la velocidad de germinación (Camacho, 1994).

Estos valores tan bajos coinciden con lo reportado con Duran (1997) que de acuerdo con su estudio, mostró que el pino azul germina de forma natural en un porcentaje menor a 5% y sobrevive menos del 3%, mientras que Ledig *et al*, (1999) citado por CAMCORE (1995) menciona que la viabilidad de las semillas es muy bajo, con un rango de germinación de 5.7%, el cual lo asocia a las pobres condiciones de almacenamiento o inherentemente a la corta vida de las semillas.

Además menciona que la especie se encuentra estancada en su pool genético, lo cual haría que su reproducción y propagación sean muy bajas y difíciles. Otro estudio realizado por Palacios (2008), reporta que las semillas sin fractura y con aplicación de tratamiento pre-germinativo especial, presentó una germinación del 92% durante el periodo de observación que fue de 63 días, mientras que la prueba de semillas escarificadas disminuyó el porcentaje de germinación al 64%, un 28% no germinó y el 8% restante presentó contaminación. En comparación con lo reportado por Robledo (1987), encontró 70% de respuesta en la etapa de germinación, siendo valores casi cercanos.

Cabe mencionar que los pinos al igual que otras especies de coníferas presentan un comportamiento germinativo sumamente variable (Niembro y Fierros, 1990) esto explica que se haya detectado en *Pinus maximartinezii* porcentajes de germinación que varíen entre 5%, 70%, 92% y para este proyecto 20.3%.

Los resultados obtenidos en este proyecto puede explicarse debido a la importante función que juega el pericarpio de las semillas, ya que de acuerdo a Leung y Carrera (1985), normalmente, el pericarpio leñoso controla e inhibe la germinación de las semillas o embriones encerradas dentro de los frutos; ya que en su estudio menciona que al retirar los embriones aislados y al colocarlos en agua, obtuvo valores del 100% de germinación. Concluyendo que las semillas de *P. maximartinezii* no son dormantes.

La evaluación de la capacidad germinativa, es una herramienta de gran utilidad, ya que valora la calidad de las semillas. La cual presentó valores bajos en las semillas, a lo anterior se suma que el tiempo medio de germinación (lapso que necesitan las semillas para iniciar la germinación) fue el día 12 después del establecimiento, siendo éste un valor alto comparándolo con otras especies, y esto nos indica que

conforme se reduce el tiempo de germinación, los cultivos se establecen mejor y aprovechan más la temporada de crecimiento (Camacho, 1994). En cuanto a la uniformidad germinativa, el valor es bajo, y conforme se reduce la desviación típica mejora el establecimiento de los cultivos. La uniformidad germinativa en la planeación de la producción de plantas indica el tiempo disponible para una labor. En general los índices de germinación muestran que a pesar de tener una germinación rápida, las semillas son de baja calidad, lo que hace a *Pinus maximartinezii* sea una especie difícil de propagar en vivero. Todo esto coincide con Villagómez y Carrera (1979), ya que han mostrado que los bajos porcentajes de germinación de *P. maximartinezii* es un problema para su propagación.

Además algo que se logró ver durante este proyecto es que la gran mayoría de las semillas que contenían los conos estaban vacías, dañadas por insectos o pobremente desarrolladas, por lo que de acuerdo a Iglesias *et al.* (2006), en los estudios de la viabilidad de las semillas, lo mejor sería realizar métodos radiográficos, ya que esta prueba proporciona un análisis rápido y bastante preciso de las estructuras internas de la semilla, identificando aquellas semillas de mala calidad. Cabe significar que el elevado porcentaje de semillas vacías detectado por métodos radiográficos se encuentra en concordancia con lo apuntado por Kuang *et al.* (1998) y Remington y O'Malley (2000) citado en Iglesias *et al.*, (2003) en relación a la presencia en muchas especies de *Pinus* de un elevado porcentaje de letalidad embrionaria a reducción en la producción de semillas llenas constituye, entre todas, el efecto más severo de depresión consanguínea.

Al final de la incubación, las semillas que no germinaron se encontraron muertas con una textura viscosa y mal olor, mostrando descomposición, esto se relaciona al contenido de grasa en la semilla, la que acelera la descomposición de la misma (Rebolledo, 1982, citado por Cetina, 1984) también se encontraron semillas vanas

que carecen de embrión y/o tejidos nutritivos. Fue frecuente la presencia de micelio en el exterior de la semilla, pero no necesariamente está podrida una semilla que tenga micelio en su exterior. Las semillas podridas frecuentemente resultan de efectos letales de los tratamientos cuando son muy severos (Camacho, 1994) o de acuerdo con Lara (1997) los patógenos que se desarrollan, probablemente se encuentren en la semilla, pues los métodos de desinfección no logran eliminar los patógenos endógenos del pino azul. Un estudio realizado por Robledo y Villalobos (1985) demostró que la germinación del pino azul en condiciones asépticas mostró serias dificultades, ya que el aumento del desinfectante (hipoclorito de sodio), correlaciono directamente con la pérdida de viabilidad. A mayor concentración de hipoclorito, menor germinación. Cuando se emplearon bajas concentraciones de hipoclorito, la contaminación de hongos principalmente se incrementó hasta en un 90%.

Es de gran importancia la recuperación exitosa de un ecosistema degradado, ya que requiere información ecológica básica que permita desarrollar estrategias útiles para revertir el deterioro de los ecosistemas. Por lo que el conocimiento de los aspectos básicos para la propagación de especies nativas, entre ellos el comportamiento germinativo, permitirá contar con una base sólida para desarrollar una estrategia eficiente de recuperación de superficies deterioradas, por supuesto, con evaluaciones de la sobrevivencia de las plantas en condiciones naturales (Godínez y Flores, 1999).

Las características requeridas para la germinación de semillas de pino son altamente variables entre especies. La falta de información necesaria para germinar las semillas de varias especies nativas ha impedido su uso con fines de reforestación, reintroducción o restauración. Un primer paso para determinar las condiciones necesarias para que las semillas germinen es identificar si éstas

presentan latencia, la cual se manifiesta cuando no ocurre la germinación de semillas viables a pesar de que éstas se encuentran en condiciones óptimas para ello (Baskin y Baskin, 2004, en Martínez *et al.*, 2006). Los Pinos poseen semillas ortodoxas, es decir son las semillas que pueden secarse y almacenarse a bajas temperaturas por largos períodos sin perder viabilidad, y aunque esto sucede es común escarificar para acelerar la germinación; sin embargo, en *P. maximartinezii* se obtuvieron porcentajes bajos de germinación.

El entendimiento de los factores que afectan el tamaño de las poblaciones en condiciones naturales nos permite desarrollar estrategias para su conservación y utilización (Schemske *et al.*, 1994 en Pérez *et al.*, 2005). La importancia de las semillas en la persistencia de las poblaciones, así como para su dispersión, establecimiento y diversidad genética ha sido descrita en detalle (Bewley y Black, 1994 en Pérez *et al.*, 2005). Por tanto, el conocimiento de la biología de las semillas y la supervivencia de las plántulas son una parte crucial del ciclo de vida de las plantas y de su dinámica poblacional, el destino de las semillas en el suelo es un tema poco estudiado (Orozco *et al.*, 2003).

Viabilidad

Las semillas al igual que cualquier organismo envejecen y mueren, por lo que se ha optado por el almacenamiento. El almacenamiento de semillas durante periodos largos o cortos, requiere de conocimientos sobre las características de las mismas, así como de los factores que las afectan durante el período que permanecen en el almacén (Camacho, 1994).

Aunque en la prueba de viabilidad se conservan aún buenos tiempos de germinación, pues empiezan a germinar a los 15 días después del establecimiento, la uniformidad germinativa aumenta, por lo que el tiempo entre las primeras y las últimas germinaciones se hace más largo. Después de dos meses de almacenamiento, el porcentaje de germinación alcanzado fue del 60 %. Esto puede ser debido a diversos factores relacionados con la especie, fecha de colecta, manejo de la semilla, almacenamiento de la semilla, etc. (Meraz González, 1999, citado por Sánchez, 2003). Es por eso que las semillas almacenadas en condiciones de baja temperatura y relativamente alta humedad germinan muy fácilmente en las primeras semanas, lo que facilita la conservación de semillas viables por mucho tiempo, y conviene en el caso de querer un manejo de germoplasma de pinos.

Las condiciones de almacenamiento que mantiene la viabilidad de las semillas son aquellas que reducen la respiración y otros procesos metabólicos sin dañar el embrión. La viabilidad de las semillas se ve afectada principalmente por el contenido de humedad de la semilla, la temperatura y la atmósfera de almacenamiento. Para el caso de las semillas de *Pinus maximartinezii*, las semillas al ser almacenadas en condiciones hidratadas y con una temperatura de 26°C, pierden rápidamente su viabilidad, por lo que se deben de almacenar a 4°C en estado de hidratación, para que la viabilidad no se pierda (Leung y Carrera, 1985). El contenido de humedad de la semilla determinará la duración del

almacenamiento, en general, las semillas de vida larga no son sensibles a la desecación (ortodoxas). Son semillas que poseen tolerancia a la deshidratación durante su desarrollo y pueden almacenarse en estado seco, por períodos predecibles y bajo condiciones específicas. Especies como pinos, piceas, cipreses, alerces, *Pseudotsuga*, eucaliptos y leguminosas (Serrada, 2000). Fluctuaciones de la humedad de las semillas reducen su viabilidad, ya que se aumenta la tasa respiratoria, provocando que las reservas de las semillas destinadas a alimentar al embrión durante la germinación sean consumidas mediante respiración al aumentar el metabolismo, lo que va reduciendo la calidad de las semillas (Hartmann y Kester, 1988).

Por lo que es necesario mantener condiciones óptimas en relación a su estado sanitario, libre de hongos y larvas que impidan el proceso de conservación.

Es necesario mencionar que el tamaño, es un factor de interés para conservar las semillas. Se sabe que las semillas de mayor tamaño suelen ser más vigorosas en la germinación, que las de tamaño reducido. La explicación a este comportamiento estaría vinculada al mayor intercambio gaseoso que ofrecen las semillas grandes en las zonas donde se siembran (Shili, 1995 en Vázquez, 1998), aumentando la temperatura del entorno con el intercambio gaseoso, facilitándose la germinación; en contraste con lo que ocurre en semillas pequeñas con escaso intercambio. Desde el punto de vista químico se ha comprobado que el contenido de las semillas en grasas y carbohidratos es un factor decisivo en la capacidad de retención de agua. Los valores elevados de carbohidratos y grasas en la composición química de los cotiledones frenan la deshidratación y permite conservar en mejores condiciones de humedad las semillas por lo que duran más tiempo.

Crecimiento y sobrevivencia en vivero.

El tamaño de la semilla está positivamente relacionado con el vigor y la sobrevivencia de las plantas, una semilla grande permite a las plantas producir un sistema radical más extenso y quizá más profundo, para obtener agua de manera más eficiente y rápida que lo que ocurre en una semilla pequeña en un ambiente seco (Zavala y García, 1996), es por esto que se esperaría que las semillas del pino azul de mayor tamaño darían plántulas más vigorosas por lo cual tendrían mayor posibilidades de sobrevivir y resistir a ciertas condiciones de estrés.

Como es de esperar, la mayor mortalidad de cualquier plántula se produce en los primeros meses de vida. Este es un hecho constatado en la mayoría de las plantas, y concretamente las de pino durante su estado de cotiledones, ya que parecen operar en el umbral de los requerimientos para el crecimiento y son extremadamente sensibles a los diversos factores de estrés (Kozlowski y Pallardy, 1997). Estos autores enfatizan la importancia del buen funcionamiento de los cotiledones ya que son fotosintéticamente activos inmediatamente después de su emergencia y las bajas temperaturas y baja luz evitan la iniciación de las acículas primarias en muchos pinos, y para este caso el pino azul, el crecimiento de las hojas es pospuesto hasta que las ramas se encuentran completamente desarrolladas.

En este caso, las plántulas tienden a desarrollarse rápidamente produciendo sus hojas cotiledonarias en las siguientes dos semanas después de la germinación. Las plántulas inician la emisión de su segundo conjunto de hojas aproximadamente dos meses después de la expansión total de sus primeras hojas cotiledonarias, esto es aproximadamente a los cinco o seis meses después de la germinación, y así permanecen por el resto del año hasta que reinician su crecimiento al año entrante (López mata, 1999).

El crecimiento de la altura, diámetro del tallo y cobertura se mantuvo en aumento durante el tiempo de monitoreo en vivero.

Las plántulas de ésta especie presentaron un sistema radicular bien desarrollado, tallo derecho y equilibrado, acículas verde azulado y en buen estado sanitario (sin desarrollo de hongos o bacterias y sin presencia de plagas); así mismo, no se observaron dificultades al realizar el trasplante a bolsas negras en su etapa de mayor crecimiento.

En relación a la sobrevivencia de plantas en vivero fue relativamente alta debido a que se tuvieron las mismas condiciones de espacio, luz y humedad dentro del vivero para todos los ejemplares. El porcentaje de germinación es un factor importante para un buen establecimiento en vivero, ya que el desarrollo de las estructuras que provienen del embrión se manifiesta en su capacidad para producir planta sanas y establecerse en condiciones favorables (INIFAP, 1994) por lo que se confía que en condiciones adecuadas se puede obtener un mayor porcentaje de sobrevivencia.

Se puede decir que luego que ocurre la germinación y una vez agotados los elementos de reserva, la plántula se torna mas sensible y vulnerable a las influencia externas, ya que a partir de ese momento debe de fabricar su propio alimento y desarrollar mecanismos de protección y crecimiento influenciados por el medio ambiente, por lo que en condiciones adecuadas se obtienen porcentajes altos de sobrevivencia en vivero. Así el tener los debidos cuidados con el objeto de reducir el riesgo de plagas y enfermedades se fortalecerá su crecimiento

En forma natural y en los cultivos, las semillas generalmente germinan enterradas, por lo que las plantas deben lograr que los tallos emerjan del suelo, para que las

hojas alcancen la luz. En plantas como el pino azul que tienen una semilla grande y su crecimiento es epigeo es mejor hacer una siembra semi superficial, colocando a la semilla inclinada en el suelo con su punta enterrada con lo que se logra una buena conformación de las plantas (Camacho, 1992).

Según Rozas *et al.*, (1995) las limitaciones en el crecimiento de las plantas cultivadas en envases más pequeños puede superarse mediante una fertilización suplementaria, pero hay que tener en cuenta que se pueden presentar desequilibrios entre la parte aérea y radical, que se traduce en plantas demasiado altas y esbeltas.

La relación positiva entre el tamaño del envase y el de la planta tiene especial importancia en campo, donde un mayor tamaño de planta se asocia en muchas ocasiones a mayores tasas de supervivencia y crecimiento, debido, entre otros factores a su mayor capacidad para competir con la vegetación herbácea existente. Sin embargo, un excesivo crecimiento longitudinal del tallo da lugar a plantas poco endurecidas y, normalmente, con escasa capacidad para sobrevivir a las duras condiciones de campo tras la plantación. El grado con que una planta de vivero cumple sus objetivos de utilización constituye la referencia para evaluar su calidad, lo cual debe significar supervivencia tras la plantación y el máximo crecimiento que posibilite la estación y su potencial genético (Cañellas *et al.*, 1999).

Descripción Morfológica de plantas de Pinus maximartinezii a diferentes edades.

Al describir la morfología de las plantas obtenidas en vivero, se pudo observar diferencias encontradas al comparar plantas de *Pinus maximartinezii* de dos meses, nueve meses y doce meses, estas diferencias no sólo se encuentran en las dimensiones de talla, sino también en las características morfológicas como son: tipo de hojas, tipo de tallo y forma de raíz, siendo la característica más sobresaliente la presencia de hojas nomofilas y sus ramificaciones en individuos de doce meses.

Al comparar la planta de dos meses con las de nueve y doce meses se puede observar algunas diferencias, la cual es la presencia de hojas cotiledonares, ya que éstas sólo están presentes en los primeros meses ayudando a la planta dándole su reserva de nutrientes; mientras que a los nueve meses se puede observar que la mayoría de los cotiledones se han secado y algunos se han caído, ya para los doce meses no existe la presencia de las hojas cotiledonares, ya que la planta depende ahora de las hojas primarias y de los nutrientes del suelo. También se puede tomar en cuenta el tamaño y tipo de raíz de cada una las plantas, ya que a los dos meses la raíz es axonomorfa, mientras que para los nueve y doce meses la raíz es fibrosa.

Otra característica sobresaliente es el tipo de tallo, ya que en la planta de dos meses el tallo aún es herbáceo de color verde, mientras que para las plantas de nueve y doce meses se observa que el tallo ya se encuentra lignificado y con mayor vigor.

Al comparar la planta de nueve meses con la de doce meses, podemos observar una diferencia significativa que es la talla del individuo, pero la gran diferencia morfológica es la presencia de las hojas primarias, ya que en la planta de nueve meses las hojas son de menor tamaño y apenas empieza a salir algunas pequeñas

ramificaciones, mientras que para los doce meses las hojas son de mayor tamaño y ya hay mayor presencia de ramificaciones pero en ambos tiempos aún no hay presencia de hojas secundarias o fascículos, esto se puede explicar debido que en muchas especies vegetales las hojas primarias son producidas en la primera estación y únicamente sobre el tallo principal, pero en la sección *Parryanae* y más raramente en otras secciones, estas son producidas por varios años (arriba de 20 años en *Pinus maximartinezii*) también sobre las ramas laterales. La aparición de las hojas secundarias ocurre comúnmente después de la elongación del tallo, pero en *Pinus maximartinezii* el crecimiento de las hojas es pospuesto hasta que las ramas se encuentran completamente desarrolladas (Arteaga, 1999).

Conclusiones

- ✿ El inicio de la germinación se presentó al doceavo día, con un porcentaje de germinación del 20.3%, estos valores relacionándolos con los índices germinativos indican una baja calidad germinativa, y por lo tanto de difícil propagación en vivero.
- ✿ La sobrevivencia de plantas en vivero fue de 48%.
- ✿ El porcentaje de germinación para las semillas almacenadas por dos meses fue de 60%.
- ✿ Se encontraron diferencias morfológicas en plantas a diferentes edades en las características de tamaño, raíz, cotiledones, hojas primarias y ramillas.
- ✿ Se produjeron en vivero plantas sanas, sin presencia de plagas y enfermedades.
- ✿ De acuerdo al estudio realizado, las raíces al ir creciendo en longitud van disminuyendo en grosor; por lo que se sugiere que en futuros experimentos se observe con atención esta tendencia.
- ✿ Este trabajo aporta información sobre *Pinus maximartinezii* para encontrar mejoras a técnicas futuras de germinación y producción.

Bibliografía

- Aguilera**, R. Manuel. 2001. *Pinus maximartinezii*. Sistema de Información para la Reforestación (SIRE)-Paquetes Tecnológicos.
- Arteaga**, Martínez, B., García-Rodríguez, H. y Rivera-Medrano, J.G. 2000. Piñon Grande, *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, México.
- Arteaga**, Martínez, B., García-Rodríguez, H. y Rivera-Medrano, J.G. 1998. Reporte de Investigación. Tesis Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Arteaga**, M. Baldemar. 1999. Producción de semilla de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. En: II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina (2º, Santo Domingo, República Dominicana). 47-51 pp.
- Balleza**, C. J. J; Villaseñor J. L. y Manríquez, I. G. 2005. Regionalización biogeográfica de Zacatecas, México, con base en los patrones de distribución de la familia Asteraceae. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 76: 71- 78.
- Camacho**, M & V. G. Morales, 1992. Métodos para el análisis del efecto de la germinación. INIFAP. Campo experimental Coyoacán. 282-290 pp.

Camacho, M. F. 1994. Fisiología de la germinación. In: Semillas Forestales. INIFAP. Pub. Esp. No. Coyoacán. D.F. México. pp. 12-31.

Camacho, M. F. 1994. Fisiología de la dormición. In: Semillas Forestales. INIFAP. Pub. Esp. No. Coyoacán. D.F. México. pp. 32-39.

CAMCORE. 1995. Gene conservation, *Pinus maximartinezii*. Department of Forestry. 17-18.

Cañellas, I., Finat L., Bachiller A. y Montero G. 1999. Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. Invest. Agr.: Sistema de Recursos Forestales. Vol. 8 (2) 335-359 pp.

Cetina, A. V. M. 1984. Estudios sobre la germinación de *Pinus cembroides* Zucc. en condiciones naturales. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Chapingo, Edo de México. 126 p.

Durán, Y. M. 1997. Estudio de la manifestación del impacto ambiental. Modalidad particular. Ecoturismo “pino azul”. 149 p.

Dvorack, W. S., Jordon A. P., Hodge G. P. y Romero J. L. 2000. Assessing evolutionary relationships of pines in the *Oocarpae* and *Australes* subsections using RAPD Markers. *New Forests* 20: 163-192.

Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa y B. T. Styles. 1997. A field guide to the pines of Mexico and Central America. The Royal Botanic Gardens. Kew. U.K. pp. 106.

Farjon, A. 2003. The remaining diversity of conifers. *Acta Horticultura (ISHS)* 615:75-89.

Eguiluz, P. T., Niembro A. R. y Pérez R. P. M. 1985. Estudio morfológico de las semillas de siete especies de piñoneros. I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. Facultad de Silvicultura, U.A.N.L. Reporte Científico 2; 52-61. Linares, Nuevo León, México.

García, M. E. 1985. Estado actual del conocimiento de los piñoneros. En: I Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. Facultad de Silvicultura., UANL. Reporte Científico 2: 1-18. Linares, Nuevo León. México.

García, A. A. y González M. S. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A.C. Comisión Nacional Forestal. México. 187 p.

Godínez, Á. H. y Flores, M. A. 1999. Germinación de Semillas de 32 Especies de Plantas de la Costa de Guerrero: Su Utilidad para la Restauración Ecológica. *Polibotánica*. 11:1-19.

González, E. Martha., González E. M. Socorro, Ruacho G. Lizeth y Molina O. Moisés. *Pinus maximartinezii* Rzed. (Pinaceae), primer registro para Durango, segunda localidad para la especie. Act. Bot. Mex, Pátzcuaro, n. 96, jul. 2011.

Hartmann, H. y Kester, D. 1988. Propagación de plantas. México. D.F. Edit. Continental, S.A. de C.V. 760 pp.

Hilton, J., Wang S. J., Tian B. y Li. C. H. 2003. Evidence for conifer origins and early evolution from the late Palaeozoic Cathaysian flora of south east Asia. Acta Horticultura (ISHS) 615: 59-65.

Iglesias, A. L. G.; Mora, I. y Casas, M. J.L. Morfometría, viabilidad y variabilidad de las semillas de la población de *Pinus hartwegii* del cofre de Perote, Veracruz, México. Cuadernos de biodiversidad. N° 19 (en 2006), pp. 14-18.

INIFAP. Semillas forestales. Publicación especial No. 2. México, D.F. 1994. 136 p.

Kanninen, M. y Mastache M. A. 1990. Manual para manejo de semillas de coníferas. Subsecretaría Forestal. S.A.R.H. México. 64 p.

Kozlowski, T. T. y Pallardy, S. G. 1997. Seed germination and seedling growth control in woody plants. Academic Press. 14-71 pp.

- Lara, R.** Eduardo A. 1997. Caracterización y evaluación del bosque natural del pino azul (*Pinus maximartinezii* Rzed.) en el cerro de Piñones de Juchipila, Zacatecas. Tesis Maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ledig, F.** Thomas, Thompson, M. Conkle, B. Bermejo-Velazquez, T Eguiluz-Piedra, PD Hodgskiss, DR Johnson, WS Dvorak, Evidence for an extreme bottleneck in a rare mexican pinyon: Genetic diversity disequilibrium and the mating system in *Pinus maximartinezii* Evolution 53 (1999) 191.
- Leung, M.** David W. y García de García Martha E. 1985. El control de la germinación en *Pinus maximartinezii* Rzedowski. En: Primer Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. 89-99 pp.
- López, M.** Lauro. 1999. Regeneración, crecimiento y dinámica poblacional del pino azul *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Colegio de Postgraduados, Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H140. México D. F.
- López, M.** Lauro. Proteins, amino acids and fatty acids composition of nuts from the Mexican endemic rarity, *Pinus maximartinezii*, and its conservations implications. Interciencia 26 (12): 606-610. 2001

Martínez, M. Las pináceas mexicanas. *Sec. Agric. Ganad. Subsec. Recursos Forestales y de Caza.* México (1953^a) 362.

Martínez, M. 1992. Los pinos Mexicanos. 3^a Edición. Ediciones Botas. D.F. México. 11-17 pp.

Martínez, P. G., Orozco S. A. y Martorell C. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pregerminativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* Num. 079: 9-20.

Miller, C. N. Jr. 1999. Implications of fossil cifers for the phylogenetics reñationships of living families. *The Botanical Review* 65: 240-277.

Musalem, M. A., Lomas-Barrié, C. T. y Mendoza, M. 2008. Ficha técnica de *Pinus maximartinezii*. En: Musalem, M. A. (compilador). Fichas de 27 especies de coníferas incluidas en la NOM-059-SEMARNAT-2001. INIFAP-CIRCE-CEVAMEX. Bases de datos SNIB-CONABIO.

Narave, F. H. y Taylor, K. 1997. Flora de Veracruz, Pinaceae. Fascículo 98. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz, México. 1-3 pp.

Neri, V. G. 1995. Tepetzotlán, La crónica de mi pueblo, testimonio de la historia.

H. Ayuntamiento Constitucional de Tepetzotlán, Estado de México,
INEGI.

Niembro, R. A. 1984. Manejo y colecta de semillas forestales. XIV Reunión del Grupo de –mejoramiento Genético Forestal. Comisión Forestal de América del Norte. F.A.O. O.N.U. Durango, Dgo. México. 31-41 p.

Niembro, R. A. y Fierros, G. A. M. 1990. Factores ambientales que controlan la germinación de las semillas de pinos. En: Memoria. Mejoramiento Genético y Plantaciones Forestales. Centro de Genética Forestal, A. C. Chapingo, México. pp. 124-144.

Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-059-2010, que determina las especies de flora y fauna silvestres terrestres acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial (30 de Diciembre de 2010), (2001) 2.

Núñez, G. Rosa, M., y Eguiluz, P. Teobaldo. 1985. Variación morfológica de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Primer Simposio Nacional Sobre Pinos Piñoneros. 32-47 pp

Ojeda, Z. Ma. del Carmen. Inducción de Organogénesis y Embriogénesis Somática de *Pinus cembriodes* y *Pinus halepensis*. Tesis de Maestría, FA-UANL. Monterrey. México (1992) 44.

Ojeda, Z. Ma. del Carmen, Luna O. Hugo A., Morales R. Lilia H., Verde S. María J., Torres C. Teresa E., Pereyra A. Benito, Iracheta D. Leonardo, Olivares S. Emilio, Salazar S. Raúl, Cárdenas C. Elizabeth. Multiplicación in vitro del piñón azul *Pinus maximartinezii* (Rzedowski). Revista Internacional de Botánica Experimental. (2006) 75: 109-113.

Orozco, S. A., Batis A., Rojas A. M. y Mendoza A. 2003. Seed biology of palms. Review. Palms. 47: 79-94.

Ortega, M. Arisaí, Mendizábal H. Lilia, Alba L. Juan y Aparicio R. Armando. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. De siete poblaciones del Estado de México. Foresta Veracruzana 5 (2): 29-34. 2003.

Palacios, V. Ana L. 2008. Cultivo in Vitro de *Pinus maximartinezii*. Tesis Licenciatura, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Estado de México.

- Passini, M. F.** 1991. Pino piñonero: Ciclo reproductivo, Palinología y Biopalinología. Memorias del IV Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros.
- Pérez, E.,** Ceballos G. G. y Calvo I. L. M. 2005. Germinación y supervivencia de semillas de *Thrinax radiata* (Arecaceae), una especie amenazada en la Península de Yucatán. Boletín de la Sociedad Botánica de México, Diciembre, Núm. 077: 9-20.
- Perry, J. P.** 1990. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. USA. 163 p.
- Perry, J. P. Jr.,** Graham A. y Richardson M. D. 1998. The history of pines in México and Central America. *In:* M. D. Richardson (ed). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp: 137-149.
- Price, R. A.,** Liston A. y Strauss S. H. 1998. Phylogeny and systematics of *Pinus*. *In:* M. D. Richardson (ed). Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp: 49-68.

- Ramírez, H. C., Vargas H. J.J. y López U. J. 2005.** Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72: 1-19.
- Rao, P. B. y S. P. Singh, 1985.** Response breadths on environmental gradients of germination and seedling growth in two dominant forest tree species of central Himalaya. Annals of Botany. 56:783-794.
- Robledo, P. A. y Villalobos, A. V. M. 1985.** Estudio Morfogenético de *Pinus maximartinezii*. En: Primer Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. 48-52 pp.
- Robledo, P. A. 1987.** Diferenciación de brotes adventicios en cotiledones de *Pinus maximartinezii* Rzedowski cultivados *in vitro*. Tesis Licenciatura. ENEPI, UNAM. México.
- Robledo, P. A., Villalobos A. V. M., Santacruz V. A.** Inducción eficiente de brotes adventicios en cotiledones de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Acta Botánica Mexicana. (2009) 89: 47-62.
- Rojas, Z. Ezequiel C., Romero R. Silvia, Rodríguez de la concha P. Mario. A. y Castro G. María R. 2000.** Flora silvestre y naturalizada de la Reserva

Natural "Xochitla", Tepotzotlán, Estado de México. Boletín Amaranto, Asociación Mexicana de Jardines Botánicos, (2):1-12.

Rojas, Z. Ezequiel C. 2009. En, Árboles y Arbustos Para Ciudades. Alicia Chacalo Hilu, Víctor Corona Nava Esparza. Universidad Autónoma Metropolitana,. México. 342-345 pp.

Rozas, M., Teres V. y Arrieta V. 1995. Effects of container size and growing media on the growth of landscape ornamental plants. Acta Horticultura 401: 169-175 pp.

Rubio, L. Liliana E. 2006. Estudio ecológico de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. y *Quercus candicans* Neé (*Fagaceae*) en bosques de encino del Estado de México. Tesis Licenciatura. FESI. UNAM. México.

Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Editorial Limusa, México, D.F.

Sánchez, C. J. 1984. *Pinus chihuahuana*. INIF, SARH Rev. Ciencia Forestal. México. 51 (9) 51-63.

Sánchez, M. Ricardo I. 2003. Estado del conocimiento de *Pinus arizonica* Engelm. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. UACH. 82-85 pp.

Serrada, R. 2000. Apuntes de repoblaciones forestales. FUCOVASA. Madrid.

Stern, K. y Roche L. 1974. Genetics of forest ecosystem. Springer-Verlag. New York, Heidelberg, Berlín, Alemania. 246 p.

Vázquez, P. F. M. 1998. Semillas del género *Quercus* L. (Biología, ecología y manejo) (De especial interés en la península Ibérica). Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico Consejería de Agricultura y Comercio. Junta de Extremadura Badajoz. España. 236 pp.

Villagómez, A. Y. y Carrera, G. M. S. 1979. Efectos de la estratificación de semillas en tres especies del género *Pinus*. *Ciencia Forestal* 4(17): 31-55 pp.

Zavala, C. F. y García, M. E. 1996. Frutos y semillas de encinos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 47 pp.

Zavarin, E. y Snajberk, K. 1997. Monoterpene differentiation in relation to the morphology of *Pinus culminicola*, *P. nelsonii*, *P. pinceana* and *P. maximartinezii*. University of California. Richmon, California, USA.

Biblio-Web

IUCN. 2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2.

<www.iucnredlist.org>. Downloaded on January 2011.

<http://www.conifers.org/pi/pin/maximartinezii.htm>

Earle, J. C. 2007. Gymnosperm Database. <http://www.conifers.org/index.htm>.

Fecha de actualización 13 de julio de 2006.

Apéndice I

Formulario de los índices germinativos calculados en el estudio de propagación.

Variable	Fórmula	Componentes de la fórmula
CAPACIDAD GERMINATIVA	$CG = (Ae * 100)/M$	CG= Capacidad germinativa. Ae= Germinación acumulada hasta la última evaluación. M= Muestra evaluada (total de semillas establecidas).
UNIFORMIDAD GERMINATIVA (Desviación típica de los tiempos en germinación)	$DTG = \sqrt{\frac{SCG - (SPG * SPG/SG)}{SG - 1}}$ $SCG = \left(\sum_{i=1}^e Pi^2 \right) Gi$ $Pi = \frac{[Ti - (Ti - 1)]}{2}$ $SPG = \sum_{i=1}^e Pi$ $SG = \sum_{i=0}^e Gi$	DTG= Desviación típica del tiempo de germinación. SCG= Suma de los puntos medios cuadrados por germinaciones sencillas ([P1xP1xG1]+[P2xP2xG2]...+[PexPexGe]). SPG= Suma de los puntos Medios por Germinaciones Sencillas ([P1xG1]+[P2xG2]...+[PexGe]). SG= Suma de las Germinaciones Sencillas (G1+G2...+Ge=Ae). Pi= Marca clase o Punto Medio entre dos evaluaciones (i toma valores desde 1 hasta "e"). e= Número total de evaluaciones realizadas durante la incubación (última evaluación realizada). Ti= Tiempo transcurrido desde el establecimiento hasta la evaluación número "i"). Gi= Germinación sencilla de la i-ésima evaluación.
TIEMPO DE GERMINACIÓN	$TMG = \frac{SPG}{SG}$	TMG= Tiempo medio de germinación. SPG= Suma de los puntos medios por germinaciones sencillas. SG= Suma de germinaciones sencillas.
CALIDAD GERMINATIVA (Índice de Maguire, 1962)	$MG = \left(\frac{G1}{T1} + \frac{G2}{T2} \dots + \frac{Ge}{Te} \right) * \frac{100}{M}$	MG= Valor germinativo o índice de Maguire. Gi= Germinación sencilla de la i-ésima evaluación. Ti= Tiempo transcurrido desde la siembra hasta la i-ésima evaluación. M= Cantidad de semillas establecidas.

Apéndice II

Estadísticas descriptivas: Largo de hipocotilo, Ancho de hipocotilo y Largo de Epicotilo.

<i>Variable</i>	<i>Tiempo</i>	<i>N</i>	<i>N*</i>	<i>Media</i>	<i>Desv St</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
Largo hipocotilo	7	49	0	3.708	1.413	1.080	2.665	3.440	4.700	6.650
	14	46	0	3.933	1.280	1.300	3.185	3.935	4.663	7.450
	21	40	0	4.542	1.421	1.500	3.540	4.550	5.455	8.700
	28	36	0	4.924	1.580	1.760	3.693	5.145	5.683	8.850
	35	33	0	5.510	1.470	1.500	4.770	5.700	6.225	8.850
	42	30	0	5.668	1.275	3.100	5.038	5.740	6.233	8.850
	49	28	0	5.843	1.247	3.100	5.330	5.800	6.298	8.900
	56	28	0	6.240	1.533	2.410	5.625	6.600	6.800	9.620
	63	26	0	6.419	1.442	2.690	5.708	6.600	6.918	9.620
	70	25	0	6.605	1.253	3.900	5.830	6.600	6.935	10.020
	84	24	0	6.614	1.285	3.910	5.770	6.600	6.993	10.050
	98	24	0	6.623	1.282	4.000	5.770	6.600	6.993	10.050
112	24	0	6.623	1.282	4.000	5.770	6.600	6.993	10.050	
Ancho hipocotilo	7	49	0	0.29714	0.03594	0.22000	0.28000	0.30000	0.33000	0.37000
	14	46	0	0.27804	0.04256	0.17000	0.26750	0.29000	0.30000	0.39000
	21	40	0	0.29600	0.04290	0.15000	0.28000	0.30000	0.32000	0.39000
	28	36	0	0.30056	0.02848	0.24000	0.29000	0.30000	0.32000	0.39000
	35	33	0	0.28939	0.03436	0.20000	0.27000	0.29000	0.31000	0.38000
	42	30	0	0.27533	0.03060	0.20000	0.25750	0.27000	0.30000	0.35000
	49	28	0	0.26929	0.02478	0.20000	0.26000	0.27000	0.29000	0.30000

	56	28	0	0.26250	0.03026	0.20000	0.24000	0.26000	0.29000	0.31000
	63	26	0	0.26154	0.02752	0.21000	0.24750	0.26000	0.29000	0.30000
	70	25	0	0.25400	0.03096	0.18000	0.23500	0.25000	0.27500	0.30000
	84	24	0	0.24833	0.03409	0.18000	0.22500	0.25000	0.27000	0.30000
	98	24	0	0.24792	0.03833	0.18000	0.21250	0.25000	0.27000	0.32000
	112	24	0	0.25333	0.04300	0.18000	0.21000	0.25500	0.28750	0.32000
Largo epicotilo	7	0	49	*	*	*	*	*	*	*
	14	28	18	0.7925	0.4334	0.2000	0.4150	0.6950	1.1075	1.8500
	21	28	12	1.369	0.561	0.470	0.908	1.415	1.888	2.340
	28	28	8	1.927	0.777	0.500	1.315	2.100	2.568	3.100
	35	27	6	2.598	1.046	0.600	1.600	2.750	3.470	4.200
	42	27	3	3.100	1.212	0.600	2.000	3.490	4.150	5.090
	49	26	2	3.822	1.483	0.600	2.585	4.300	5.085	5.820
	56	25	3	4.519	1.551	1.230	3.200	4.900	5.770	6.850
	63	25	1	5.133	1.602	1.430	3.990	5.520	6.145	8.020
	70	25	0	5.481	1.687	1.430	4.495	5.590	6.700	8.610
	84	23	1	6.426	1.543	2.750	5.310	6.250	7.850	9.170
	98	23	1	6.906	1.638	3.040	6.090	6.810	7.890	10.140
	112	23	1	6.929	1.632	3.130	6.100	6.900	7.890	10.140