



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

**PRODUCCIÓN DE SEMILLAS Y ESTABLECIMIENTO DE
PLÁNTULAS DE *Pinus patula* (PINACEAE) EN UN
BOSQUE TEMPLADO DE VILLA DEL CARBÓN, ESTADO
DE MÉXICO.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA

MARCO VIRGILIO ALVARADO BUTANDA

DIRECTORA DE TESIS

MTRA. LILIANA ELIZABETH RUBIO LICONA



Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Edo. México, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

*D*edico este trabajo a todas las comunidades forestales de México, auténticas custodias de los bosques y selvas de nuestro país. A su firme y continuo esfuerzo por la defensa de sus territorios, los cuales son objeto de constantes abusos y despojos. A la permanencia de su cultura, sus tradiciones y los recursos naturales de este país que tan audazmente han conservado.

“¡De manera que usted no ve lo que pasa en México, un país donde el promedio de ingresos no llega a los quinientos dólares anuales por habitante! ¡Que México mete a la cárcel a su juventud! México es un país que se muere de hambre!

No, no puedo ver, estoy ciega.

Entonces, ¿quiere decir que no le llega el olor de la opresión y de la demagogia? ¿No le apesta la conciencia? ¿No le llega el olor de la pólvora, de los gases lacrimógenos, de la sangre, de la mierda?”

Palinuro de México, 1977

Fernando del Paso, Premio Cervantes 2016

“No soy amigo de los estudios profesionales porque el profesionista tiene la tendencia a convertirse en parásito social, parásito que aumenta la carga de los de abajo y convierte a la escuela en cómplice de la injusticia social. Necesitamos producir, obrar rectamente y pensar. Trabajo útil, trabajo productivo, acción noble y pensamiento alto: he allí nuestro propósito. Pero todo esto es una cumbre; debe cimentarse en muy humildes bases y sólo puede fundarse en la dicha de los de abajo. Por eso hay que comenzar con el campesino y por el trabajador. Tomemos al campesino bajo nuestra guarda y enseñémosle a centuplicar el monto de su producción mediante el empleo de mejores útiles y de mejores métodos. Esto es más importante que adiestrarlo en la conjugación de los verbos, pues la cultura es un fruto natural del desarrollo económico.”

Discurso con motivo de la toma de posesión del cargo de rector de la Universidad Nacional de México.

José Vasconcelos, 1920

Quiero agradecer de manera breve, a todos aquellos gracias a los cuales fue posible este trabajo como consumación de mis estudios profesionales. Sin ningún orden en particular y esperando no olvidar a nadie.

En primer lugar a mis padres Jacoba y Alfonso por todo el apoyo que me han brindado durante todos estos años. Gracias por su estímulo, desde pequeño, por el trabajo intelectual y la libertad (en todos los sentidos posibles) para el desarrollo de mi creatividad, mi personalidad y mis pasiones; siendo una de éstas últimas, la biología. Por aguantar que haya hecho de la casa una selva, por soportar mis demonios y sus múltiples expresiones, así como por mostrarme los suyos y aprender juntos. Por su amor incondicional y esfuerzo por llevarme hasta este punto.

A mi comité revisor: la Dra. Silvia y el Mtro. Carlos por sus valiosos comentarios y sugerencias para enriquecer este trabajo, por su ánimo en la valorización de este trabajo y por compartir su pasión por los árboles con todos nosotros (los estudiantes). A la Dra. Sofía, por sus consejos y comentarios para enriquecer mi tesis, así como por su calidad profesional y humana. A la Dra. Angélica, alguien que estimo y con quien sentí gran empatía sólo de conocerla, gracias por sus valiosos comentarios y la pasión demostrada hacia las plantas.

A mi directora de tesis la Mtra. Liliana quien desde las clases redimió mi pasión por las plantas a la cual me resistía y me interesó por el mundo de los árboles. Admiro tu inmensa pasión y entrega a tu trabajo y a la academia (tan extrema que cuidas cada punto y coma en tus diapositivas). Gracias por compartir tu conocimiento conmigo, por tu exigencia y minuciosidad y por siempre buscar la mayor calidad en todo lo que haces.

A mis amigos de la carrera, los “muchachos”, que me acompañaron durante estos años y de quienes he aprendido y compartido mucho. Edith, gracias por tu gran sentido de amistad y unión. Lorena quien me ha mostrado que la belleza y felicidad se encuentra aún en los detalles más inconspicuos, porque *El que-Sabe-Ser pobre-Sabe-El-Resto*. Axel gracias por subrayar la confianza en ti mismo que es un gran punto de partida para mí y por mostrarme la importancia del autoconocimiento. Beatriz tu impresionante talento y creatividad hacen a la persona más divertida que he conocido, compartir tantos ratos de risa fue un aliento para seguir, espero entiendas lo extraordinaria que eres. Pedro, por mostrarme el valor de trabajar por lograr las metas que nos proponemos y por mostrarme que la sencillez de espíritu es la mayor cualidad. Yenifer “la Tort”, agradezco tenerte cerca y compartir tantos momentos juntos. Gracias por siempre soportar mis constantes enojos, por creer en mí, por abrirme tu vida, por buscar lo mejor para mí, por acompañarme a todos lados, por pensar que soy una buena persona y por crecer conmigo. El mayor elogio es que siempre sabes darle la vuelta al problema, con una sonrisa, una carcajada y la esperanza de hacerlo mejor. A los seis le agradezco mis más felices momentos dentro de la facultad.

A mis otros grandes amigos que siempre han estado conmigo en la trinchera: Alejandro “el Moyers”, tus consejos ácidos y directos siempre son una delicia, más una buena dosis de humor y sátira. Mi queridísimo Juan Manuel, mi psicólogo de cabecera siempre con tus buenos consejos y tu lucidez, ¡como dirían de Monsiváis!, ¿qué sería de mí sin tu ayuda

esa noche? Joan más allá de tu gran humor, mi gran ejemplo de la perseverancia y tenacidad. A mi gran amigo Calpis que me acompaña desde hace cuatro años, gracias por ayudarme a encontrar paz, seguridad y confianza en mí mismo y por mostrarme que en las diferencias me encuentro a mí mismo. Elena, tu honestidad, inteligencia e ímpetu son una inspiración todos los días, eres una excelente mujer y sobretodo una gran amiga. Cristian, a su amistad tan sincera y el aprecio reciproco que nos profesamos. Gracias por tu apoyo, por escucharme y por la confianza que siempre depositas en mí.

A mis hermanos Carlos y Paulina que formaron un camino más fecundo y con más oportunidades para mí. Gracias por su lucha con ustedes mismos, por el cambio estructural dentro de casa, por siempre mostrarme una perspectiva nueva y refrescante, siempre sutil pero con mucha influencia sobre mí. A Paulina especialmente, por su apoyo y amor y por ser una gran inspiración desde que tengo memoria; y a Carlos especialmente por su sentir con tanta pasión que provocó múltiples revoluciones, tu sombra durante años que en ocasiones me cobijo y en ocasiones me ayudó a salir por mí mismo.

A Hugo, a quien estimo y tengo un inmenso cariño. Una persona que se aventuró de muchas formas conmigo, que se ha dado a la tarea de descubrirme, valorarme y aceptarme completamente (con mi mal humor y amargura, mi pesimismo y mi soledad). Me has dado la oportunidad de reencontrarme en tu compañía.

A Alberto que ha estado conmigo durante más de seis años. Gracias por tu compañía y cariño durante todo este viaje, por creer en mí, por cultivar mis cualidades y señalar mis defectos, por celebrar mis demonios y convivir con ellos, por siempre continuar cerca, por tu apoyo en mi peores momentos, por compartir tu pasión y sueños conmigo... ¡por encontrar el lugar y tiempo común conmigo!

A todos aquellos que me acompañaron en mis muestreos y que no he mencionado: Mireya y Adolfo.

Al técnico Andrés Patricio Cabrera por su ayuda en la colecta de los conos.

A la comunidad de San Jeronimo Zacapexco que tan noblemente me permitió realizar este trabajo en su territorio.

Y como escribió Xavier Villaurrutia:

“A todos, a condición de que todos sean unos cuantos”

Contenido

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
SISTEMA BIOLÓGICO DE ESTUDIO	13
MÉTODOS	18
Caracterización de la comunidad arbórea y composición florística de los rodales	18
Análisis de conos y producción de semillas	19
Prueba de germinación y establecimiento en vivero	21
Establecimiento en campo y monitoreo de la sobrevivencia y crecimiento	22
RESULTADOS	24
Caracterización de la comunidad arbórea y composición florística de los rodales	24
Análisis de conos y producción de semillas	32
Germinación	35
Sobrevivencia y crecimiento	36
DISCUSIÓN	42
Estructura del estrato arbóreo y composición florística de los rodales	42
Análisis de conos	47
Germinación	49
Sobrevivencia y crecimiento	51
Recomendaciones sobre el manejo forestal del parque	56
CONCLUSIONES	57
REFERENCIAS	58
APÉNDICES	70

RESUMEN

Los estudios de los caracteres reproductivos y el establecimiento de las especies forestales permiten conocer procesos ecológicos de la comunidad, ya que muestran el desempeño de las especies así como su relación con factores ambientales, lo que puede servir para predecir cambios en los ecosistemas. En los bosques templados de México este tipo de estudios son fundamentales ya que estos ambientes tienen una grave crisis de conservación derivada del cambio de uso de suelo y de la alta tasa de deforestación.

El objetivo de esta tesis fue evaluar el desempeño reproductivo y el establecimiento de *Pinus patula* en dos rodales con diferente grado de aprovechamiento en el parque ecoturístico Presa del Llano en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México, con el fin de caracterizar procesos ecológicos del sitio y obtener pautas para su manejo.

En esta tesis se caracterizaron la composición y la estructura de la comunidad arbórea en dos rodales. Uno de los rodales se definió como aquel en el que se realizan actividades de aprovechamiento tanto de recursos forestales como no forestales, mientras que el otro se precisó como aquel con nulo o bajo aprovechamiento. En estos dos sitios se analizó la variación morfométrica de los conos (longitud, ancho, número de escamas fértiles e infértiles, potencial de producción de semillas y eficiencia de semillas), además del número y clasificación de semillas. A las semillas obtenidas en los dos rodales se les realizó una prueba germinativa. Finalmente, para un total de 440 plántulas procedentes de las semillas de los dos rodales se evaluó su sobrevivencia y crecimiento en altura, cobertura y diámetro durante seis meses dentro del parque.

Los resultados mostraron que los rodales tienen una estructura arbórea similar a la de otros bosques templados, aparentemente sin importar la intensidad del aprovechamiento.

Los conos en los dos rodales fueron estadísticamente distintos en las variables largo ($F=241$, $P<0.001$), ancho ($F=264.94$, $P<0.001$), escamas fértiles ($F=48.17$, $P<0.001$), escamas infértiles ($F=138.76$; $P<0.001$), Potencial de Producción de Semillas ($F=48.17$, $P<0.001$), Eficiencia de Semillas ($F=38.17$, $P<0.001$), semillas abortadas ($F=54.17$; $P<0.001$) y semillas desarrolladas ($F=104.44$, $P<0.001$).

La capacidad germinativa de las semillas fue mayor en el rodal sin aprovechamiento (76.93%) respecto al rodal con aprovechamiento (50.93%) con diferencias estadísticamente significativas ($F=16.68$; $P < 0.001$).

La sobrevivencia de las plántulas fue mayor en rodal con aprovechamiento respecto al rodal sin aprovechamiento ($F=4.73$; $P < 0.01$), pero su crecimiento no es distinto entre los dos rodales en las variables medidas (altura: $F=3.53$, $P=0.06$; cobertura $F=0.96$, $P=0.33$; diámetro $F=1.03$, $P=0.31$).

Las diferencias obtenidas del análisis de conos se pueden explicar porque en el rodal con aprovechamiento se encontró una menor cantidad de árboles reproductivamente maduros y por tal los conos que se colectaron no estuvieron completamente maduros y por ende los conos fueron más pequeños y con menor potencial en la producción y eficiencia de semillas. También, se atribuyen las diferencias a que los conos de esta especie no maduran uniformemente.

La tasa de germinación en los dos sitios es consiente con otras especies, aunque en el sitio con aprovechamiento fue menor, por un lado debido a la falta de árboles sexualmente maduros que proporcionen la suficiente cantidad de polen necesario para el correcto desarrollo y viabilidad de las semillas. Además, al igual que en el desarrollo de los conos es probable que algunas semillas no se encontrarán completamente maduras cuando se extrajeron de los conos debido a su maduración desigual.

Las diferencias en la sobrevivencia encontradas se explican por condiciones de mejor iluminación en el rodal con aprovechamiento, siendo la especie muy demandante en luz e intolerante a la sombra de forma que las condiciones de mayor sombra del rodal sin aprovechamiento dificultó la sobrevivencia de las plántulas.

La similitud en el crecimiento se propone por condiciones microambientales semejantes en ambos sitios, de forma que el impacto de las actividades humanas no es tan intenso y el parque mantiene una estructura semejante a los bosques maduros sin perturbación en los que el crecimiento y la sobrevivencia de los pinos es bajo; además de que el periodo de monitoreo es considerado corto comparado con otros estudios, por lo que es difícil apreciar diferencias.

INTRODUCCIÓN

Los bosques templados en México son asociaciones vegetales que se distribuyen prácticamente en todas las zonas montañosas del país en donde el efecto de la altitud y su vínculo con el clima permiten la expansión de estas comunidades. Se caracterizan por su clima marcadamente estacional con veranos frescos y lluviosos e inviernos fríos y secos (Challenger, 1998; 2003; Jardel, 2012; Rzedowski, 2006). Son uno de los ecosistemas más importantes por su gran extensión y porque albergar una sorprendente variedad de especies tanto vegetal como animal, de modo que son clasificados como uno de los ecosistemas más diversos del país (Challenger, 2003, Rzedowski, 2006). Son fuente de importantes recursos naturales como es el aprovechamiento maderable, además, son el hogar de millones de personas y ofrecen invaluable servicios ambientales como el mantenimiento y recarga de los mantos acuíferos, protección del suelo y captura de dióxido de carbono (Challenger, 1998, 2003; Rzedowski, 1991a, 1991b, 2006; SEMARNAT, 2006, 2013).

Los tipos de vegetación que se incluyen en los bosques templados son el bosque de *Quercus*, el bosque de *Pinus*, así como los bosques de otras coníferas de los géneros *Abies*, *Pseudotsuga*, *Picea*, *Juniperus* y *Cupressus*, sin embargo, los bosques de pino y encino son los de mayor extensión y distribución en nuestro país (Challenger y Soberón, 2008; INEGI, 2009a; Rzedowski, 2006). Para el año 2007 comprendían alrededor de 31.77 millones de hectáreas, que representan el 16.17% del territorio nacional (CONAFOR, 2012).

Los bosques templados en México enfrentan una grave crisis de conservación debido a la alta tasa de deforestación que han sufrido durante años. Según el Inventario Nacional Forestal en el periodo 2002-2007 se perdieron poco más de 46 mil hectáreas, y cerca de 11.4 millones de hectáreas son vegetación secundaria (CONAFOR, 2012). Además, según el trabajo de Céspedes-Flores y Moreno-Sánchez (2010) la superficie de reforestación no es suficiente comparado con la tasa de deforestación (170,000 ha/año reforestadas contra 367,224 ha/año pérdidas).

La principal amenaza reconocida por distintos autores para los bosques templados es el cambio de uso de suelo derivado del avance de las zonas agropecuarias, la deforestación y la urbanización, además de la tala ilegal y la falta de políticas públicas adecuadas (CONAFOR, 2010c; 2012, 2013; Challenger, 2003; Challenger y Dirzo, 2009; SEMARNAT, 2006, 2013). En este contexto, el manejo forestal técnicamente planeado surge como una estrategia que permite mitigar el cambio de uso de suelo teniendo como meta el aprovechamiento sostenible de los recursos forestales. En este sentido, el manejo forestal se propone como el conjunto de actividades y decisiones destinadas al mantenimiento de los servicios ambientales y ecológicos de los bosques, además de aquellas orientadas al aprovechamiento de los recursos de manera ordenada y sus implicaciones económicas y sociales (Aguirre-Calderón, 2015).

Un aspecto fundamental para el manejo sustentable de los bosques es el estudio de los procesos ecológicos de producción, disseminación y germinación de las semillas; el establecimiento de las plántulas y su crecimiento en diferentes escenarios de manejo (Challenger, 2003; Barners *et al.*, 1998; Wang y Smith, 2002). Debido a que las especies del género *Pinus* destacan por su abundancia y cobertura en los bosques templados de México (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014; Sánchez-González, 2008), resultan un excelente modelo para el estudio de los procesos antes mencionados.

En los pinos, la producción de semillas varía entre especies; y dentro de la especie entre individuos de distintas tallas y edades; así como entre poblaciones e incluso entre años (Bonner y Karrfalt, 2008; Martínez, 1998; Willan, 1991). Estudios sobre este aspecto se han realizado para numerosas especies mexicanas de pinos (Bustamante-García *et al.*, 2012; Cruz, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2012; Hernández, 2006; Iglesias *et al.*, 2012; Márquez, 2007; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2010; Morales-Velázquez *et al.*, 2010; Vázquez, 2004; Viveros-Viveros *et al.*, 2013). Factores como la escasez y mala calidad del polen, la regulación genética; ambientales como la precipitación, la temperatura, la altitud y la remoción de semillas por insectos; hasta la estructura de la masa arbórea se han mencionado que tienen efecto sobre la cantidad y calidad de semillas en los

pinos (Ayari y Larbi, 2014; Bustamante-García *et al.*, 2012; Greene *et al.*, 1999; Gutiérrez *et al.*, 2012; Iglesias *et al.*, 2012; Pardos *et al.*, 2005; Viveros-Viveros *et al.*, 2013).

Por su parte, la germinación de todas las especies del género *Pinus* es epigea por lo que almacenan relativamente pocas reservas y sus cotiledones tienen una función fotosintética para estimular el desarrollo temprano de la raíz, lo que permite que penetren rápidamente en el suelo en busca de agua y nutrientes para el crecimiento (Barners *et al.*, 1998; Bonner y Karrfalt, 2008; Willan, 1991). Por ello, se considera que la germinación en los pinos es relativamente rápida y en altas densidades (Campos, 2004; Castillo, 2013; Flores, 2013, López, 2010; Martínez, 1998; Vega, 2003).

Por otro lado, la germinación presenta una gran variabilidad tanto a nivel intraespecífico como interespecífico, es decir, que ésta puede ser del 10 al 20% a más del 90% no solo entre especies y entre poblaciones de una misma especie, sino hasta entre individuos de la misma población (Alba *et al.*, 2003b; Aparicio *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2010; López, 2010; Millán, 2008; Ortega *et al.*, 2003; Ramírez *et al.*, 2001; Villagómez, 1987). En los pinos, la germinación es afectada por la estructura de la masa forestal (Ayari y Larbi, 2014; Greene *et al.*, 1999; Pardos *et al.*, 2005), así como por factores ambientales como la humedad y la temperatura, la naturaleza y origen del suelo, hasta la cobertura de herbáceas, entre otros factores (Ayari y Larbi, 2014; Cain y Shelton, 2000; Pardos *et al.*, 2005).

Respecto al establecimiento, los pinos tienen una relación estrecha entre la demanda de luz y la disponibilidad de agua, siendo los factores más importantes para su establecimiento. Se menciona que los pinos y los encinos enfrentan un fenómeno de *trade off* entre la luz y el agua (Galindo, 2013). Por un lado, los pinos son altamente demandantes de luz para su reclutamiento, siendo más exitoso en áreas abiertas, pero el agua limita su sobrevivencia y es por esto que a pesar de la baja sobrevivencia el crecimiento es mayor en sitios más húmedos (Barners *et al.*, 1998; Galindo, 2013). Además, los pinos se reconocen como especies pioneras

que se caracterizan por un rápido crecimiento y alta tolerancia a ambientes adversos como fuerte insolación y vientos, terrenos inestables y sequías, por mencionar algunos (Barners *et al.*, 1998; Bonner y Karrfalt, 2008; Willan, 1991).

A consecuencia de la heterogeneidad de comportamiento que se ha documentado en el establecimiento de las especies mexicanas de *Pinus*, a la gran cantidad de elementos que participan en el establecimiento (Bello *et al.*, 2014; Campos, 2004; Castillo-Argüero *et al.*, 2014; Galindo, 2013; Gutiérrez, 2011; Martínez, 1998; Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009), y dado que en esta tesis se estudió en específico a *Pinus patula*, únicamente se comentará lo documentado para la especie.

Este pinar se considera una especie pionera invasiva capaz de poblar rápidamente áreas desprovistas de vegetación (Vela, 1980), por lo que forma comunidades muy densas que impide el establecimiento de otros elementos arbóreos en sus primeras fases de desarrollo (Challenger, 1998, Vela, 1980). Uno de los factores que contribuyen a esta abundancia son sus conos serótinicos ya que crean un banco de semillas aéreo a partir del cual se establece una gran cantidad de plántulas (Castillo, 2013). Por ejemplo, en la Sierra Norte de Puebla se han documentado 50,000 plántulas/ha (Vela, 1980). Este fenómeno también se ha registrado en zonas de aprovechamiento de plantaciones comerciales que tienen hasta 7,400 plántulas/ha (Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez, 2008).

A medida que el bosque madura y va adquiriendo mayor estructura, el reclutamiento de *P. patula* es prácticamente nulo (Vela, 1980). Esta disminución de la densidad se propone porque no toleran la sombra y es rápidamente desplazada por especies de latifoliadas como los encinos (Vela, 1980, Rzedowski, 2006). Castillo (2013) sugirió que *P. patula* necesita de claros para su sobrevivencia, pues es muy sensible a la sombra; además, estudios en Sudáfrica indican que soporta muy bien la baja disponibilidad de agua y se recupera después de un estrés hídrico severo, por lo que los sitios desprovistos de vegetación con altos periodos de insolación no representan una limitante para esta especie (Rolando *et al.*, 2011).

La vegetación del sotobosque tiene un efecto negativo en el crecimiento, mas no en su sobrevivencia de esta especie (Pérez y Rodríguez 2003). Algunos autores (e.g. Challeger, 1998; Rzedowski, 2006; Vela, 1980) sugieren que la estructura del sotobosque en donde se desarrolla *P. patula* generalmente es relativamente sencilla con solo un estrato arbóreo dominado por *P. patula* y es raro observar otras especies bajo el dosel pues las condiciones de luz son muy pobres y el sotobosque está dominado por herbáceas y pocos arbusto (Challeger, 1998; Rzedowski, 2006; Vela, 1980).

El presente trabajo evaluó los procesos de producción de semillas, germinación y establecimiento de plantas de *P. patula* en el parque ecoturístico Presa del Llano, localizado en Villa del Carbón, Estado de México. La zona ofrece la oportunidad de estudiar estos procesos desde la perspectiva de un lugar que ha estado sujeto a diferentes presiones de aprovechamiento de sus recursos forestales.

Además, el Estado de México es el más poblado de la república mexicana y forma parte del área metropolitana por lo que sus bosques están sometidos a fuertes presiones por el cambio de uso de suelo. En particular el parque ecoturístico Presa del Llano es una región poco estudiada y ya que es utilizada con fines recreativos y de conservación, es importante contar con conocimiento de primera mano que permita dar seguimiento a las condiciones ecológicas del parque.

HIPÓTESIS

Hipótesis 1

En función de que existen diferentes prácticas de aprovechamiento en los dos rodales de estudio, se espera que la comunidad arbórea del sitio con mayor aprovechamiento presente diferencias en la composición, abundancia y estructura respecto al sitio con menor aprovechamiento.

Hipótesis 2

Se estima que el potencial de producción y eficiencia de semillas de los conos, la tasa germinativa y la sobrevivencia y crecimiento de las plántulas provenientes del rodal con mayor aprovechamiento presenten valores inferiores en relación al sitio con menor aprovechamiento.

OBJETIVOS

General: Evaluar el éxito reproductivo, la sobrevivencia y el crecimiento de *Pinus patula* en dos rodales con diferente grado de aprovechamiento en un bosque bajo manejo forestal para caracterizar procesos ecológicos del sitio, recomendaciones para su manejo y comparación con otros sitios.

Particulares:

- Describir la composición y estructura de la comunidad arbórea de dos rodales con diferente grado de aprovechamiento en el Parque Ecoturístico Presa del Llano, Villa del Carbón, para identificar sus diferencias.
- Describir la composición de las comunidades herbáceas y arbustivas en dos rodales con diferente grado de aprovechamiento para precisar sus diferencias.
- Determinar las diferencias en el potencial de producción y eficiencia de semillas a partir del análisis morfométrico de los conos de *Pinus patula* procedentes de dos rodales con diferente grado de aprovechamiento.
- Caracterizar el comportamiento germinativo de las semillas de *Pinus patula* provenientes de dos rodales con diferente grado de aprovechamiento para mostrar diferencias entre los sitios.
- Reintroducir plántulas de *Pinus patula* en dos rodales con diferente grado de aprovechamiento con la finalidad de determinar su sobrevivencia y crecimiento.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Ecoturístico Presa del Llano se localiza en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México (figura 1). El área está rodeada por densas áreas boscosas. En su parte más sureña el Parque se conecta con el Parque Estatal Zempoala-La Bufa (Parque Otomí-Mexica), que es el Área Natural Protegida con mayor superficie del Estado de México. La elevación promedio es de 2900 msnm (INAFED-SEGOB, 2010; INEGI, 2009b; Gobierno del Estado de México-SEANPEM, 2015).

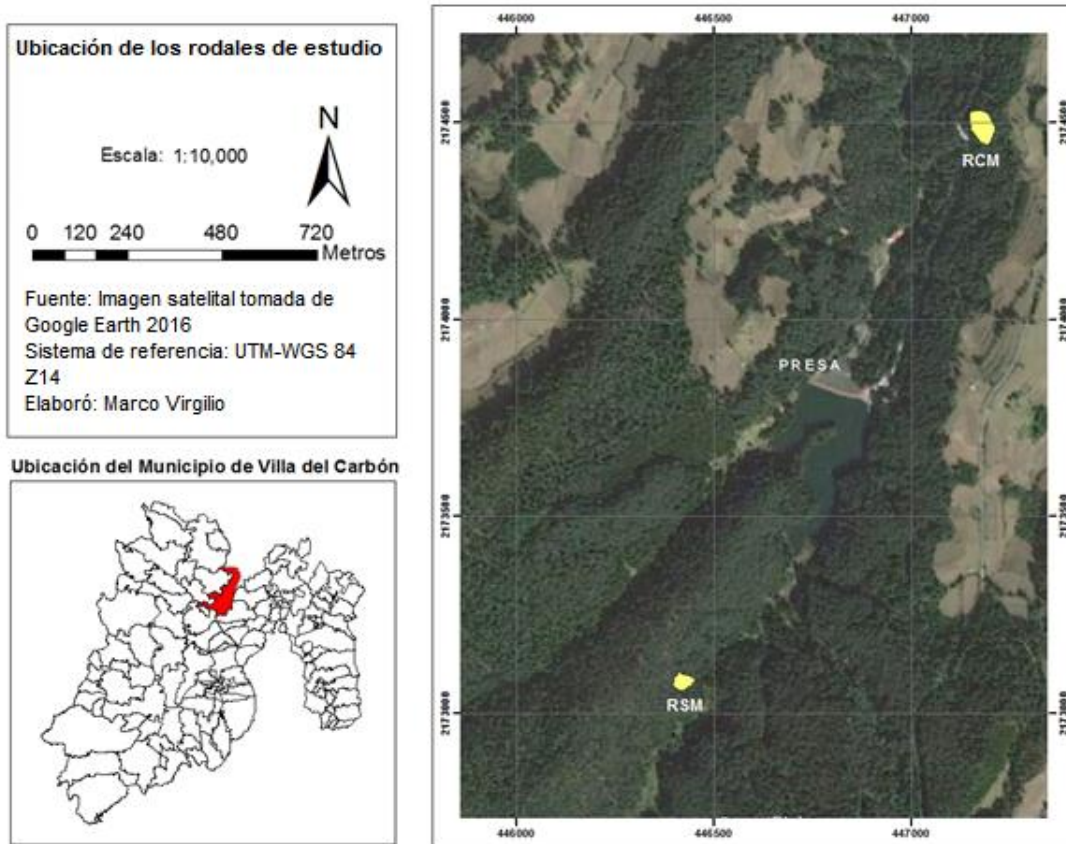


Figura 1. Localización del parque ecoturístico Presa del Llano y los rodales de trabajo

La zona de estudio pertenece a la provincia del Eje Neovolcánico Transversal y a la Subprovincia de Lagos y Volcanes del Anáhuac, forma parte de la Sierra de las Cruces, de hecho, la presa se encuentra al pie del cerro de La Bufa que es la parte más alta del municipio a 3,600 msnm (INEGI, 2009b). La litología de la zona es de origen ígneo, el tipo de roca predominante es la brecha volcánica (CETENAL. 1975), y el suelo más abundante es el andosol ócrico y en menor medida el luvisol crómico y el feozem lúvico, los tres de textura media (CETENAL, 1976a).

El clima correspondiente de la zona de estudio según el sistema Köppen modificado por García (2004) es el $C_{(w)}$ *templado subhúmedo con lluvias en verano*. La temperatura media es de 14.3°C con poca variación a lo largo del año, la mínima es de 6.6 °C y la máxima de 21.9 °C. La precipitación anual total es de 1,061.3 mm; el periodo de lluvias está comprendido en el verano entre junio y octubre, la mayor cantidad de precipitación se registra en agosto con 227.9 mm y la mínima en marzo con 12 mm (figura 2).

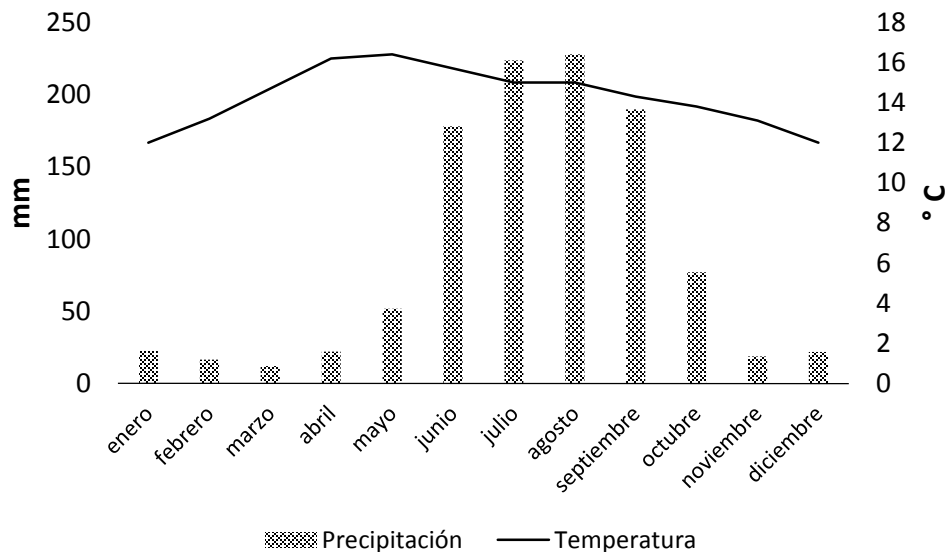


Figura 2. Diagrama ombrotérmico de la zona elaborado con los datos de la estación meteorológica “Monte de Peña” correspondientes a un periodo de 29 años (1981-2010). La estación se localiza en Villa del Carbón en las coordenadas 19°43'55"N y 99°32'51"O a una altitud de 2,890 m.

La presa que se localiza dentro del parque se alimenta por el río San Jerónimo y tiene su origen en la Sierra de la Cruces y Monte Alto (figura 3). A largo de su trayecto recibe agua de escurrimientos naturales. Tiene una extensión de 40,000 m² de espejo, la parte más profunda mide 55 m y cuenta con una capacidad de 15,000 m³ (Moreno, 2014).

El uso de suelo dentro del parque es de tipo forestal, está constituido casi en su totalidad por bosques mixtos de Encino y Pino, aunque existen zonas con agricultura de temporal y pequeñas áreas con vegetación secundaria de tipo pastizal (CETENAL, 1976b). Moreno (2014) indica que en el parque existen cuatro tipos de vegetación: bosque mixto de *Pinus-Quercus*, bosque de *Pinus*, Bosque de *Quercus* y pastizales. La flora herbácea y arbustiva del parque supera las 90 especies con mayor representación de las familias Asteraceae, Poaceae, Rosaceae y Scrophulariaceae (Moreno, 2014).



Figura 3. Parque ecoturístico Presa del Llano. En **A** se observa la parte baja del río San Jerónimo que alimenta a la presa; **B** vista de la presa con bosque de *Quercus-Pinus* al fondo.

Se tiene información de que tradicionalmente el bosque de la zona fue aprovechado durante mucho tiempo sin algún programa de manejo, y fue hasta 1996 que se contó con un plan aprobado y supervisado por la SEMARNAT y otras dependencias gubernamentales. A partir de esa fecha se autorizó el aprovechamiento forestal que consistió en 10 intervenciones continuas en diferentes zonas del área en el periodo comprendido entre 1996 y 2001 de las que se obtuvieron más de 49 mil metro cúbicos de aprovechamiento maderable de las distintas especies de la zona, de tal forma que el parque tiene una profunda historia de utilización de los recursos forestales (Martínez y Velázquez, 2002).

Actualmente, aunque no se sabe con exactitud el año de adscripción, el parque se rige bajo el esquema del Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos, el cual es un esquema meramente conservacionista en el que se limita el uso de los recursos a cambio del pago por cierto número de hectáreas conservadas (Moreno, 2014). A razón de esto, además de la extracción para el consumo personal por parte de los comuneros, la única presión que tiene la zona es resultado del mantenimiento de la infraestructura para el turismo.

Respecto a la fauna la zona alberga una considerable riqueza de especies, el grupo más representado son las aves pues se han encontrado hasta 41 especies repartidas en 22 familias (Moreno, 2014); respecto a los mamíferos se han contabilizado 15 especies, de las cuales, el cacomixtle (*Bassariscus astutus*) y el coatí (*Nasua narica*) se encuentran enlistados bajo la categoría de “Protección especial” en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y se ha registrado a la especie endémica *Sylvilagus cunicularius* (Rodríguez, 2012). Respecto a la herpetofauna se enlistan 15 especies (7 anfibios y 8 reptiles), del total de especies el 67% (10sp.) se encuentran bajo alguna categoría de riesgo, 14 son endémicas de México y 8 se consideran exclusivas del Eje Volcánico Transversal (Rodríguez-Miranda, 2012).

SISTEMA BIOLÓGICO DE ESTUDIO

Taxonomía y descripción botánica

Pinus patula (figura 4) fue descrito por Schlechtendal y Chamisso en 1831 basado en ejemplares colectados por el botánico alemán Christian Julius Wilhelm Schiede en una de sus visitas al estado de Veracruz. Comúnmente se le conoce como “pino chino”, “pino colorado”, “pino pátula”, “pino llorón”, “ocote colorado”, “ocote macho” y “pino xalocote” (Valera y Kageyaman, 1991).

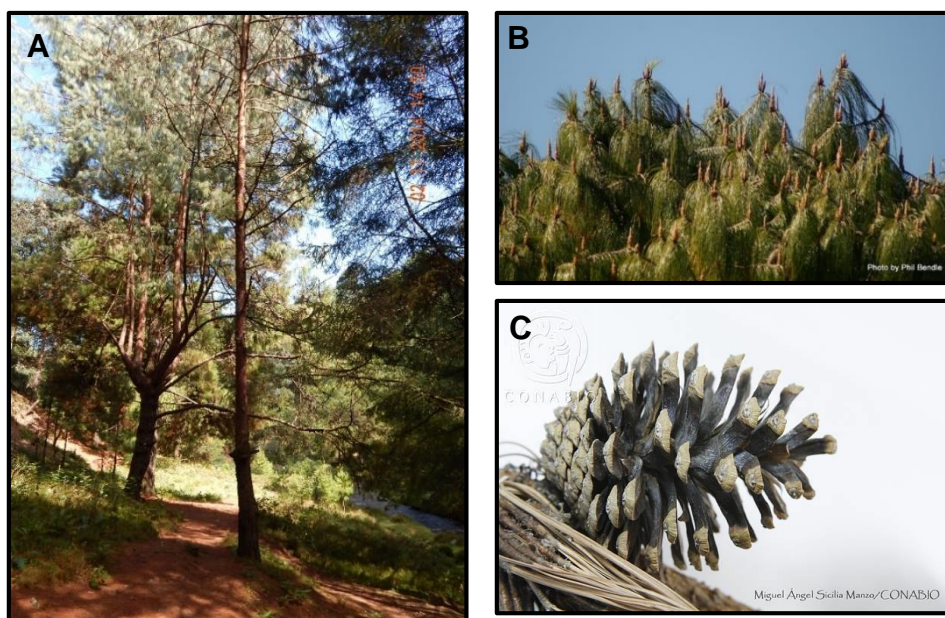


Figura 4. *Pinus patula* . **A** porte del árbol en la zona de estudio; **B** vista de la copa en su parte superior mostrando los conillos femeninos y las hojas típicas, colgantes y brillantes; y **C** cono maduro (B y C tomadas del banco de imágenes de la CONABIO: <http://bdi.conabio.gob.mx/fotoweb/inicio.fwx>).

La descripción de *Pinus patula* según la obra de Martínez (1998) sobre los pinos de México es la siguiente:

Árbol de 10 a 25 metros de altura (en el Valle de México se ven ejemplares de 30 a 40); de corteza escamosa y roja, sobre todo en la parte superior del tronco; ramas colocadas irregularmente; ramillas rojizas y escamosas, con ligero tinte blanquecino en sus partes más tiernas. Las hojas están en grupos de 3, a veces 4, rara vez cinco con algunos fascículos; miden por lo común alrededor de 20 cm, pero la cifra varía entre 15 y 30; son delgadas y colgantes o algo extendidas; su color es verde claro brillante, con los bordes finamente aserrados y los dientecillos

muy finos. Tienen dos haces fibrovasculares aproximados y sus canales resiníferos son medios ocasionalmente con uno o dos internos y en número de 1 a 4, pero la cifra predominante es de 3. El hipodermo es algo grueso y uniforme, con una o dos hileras de células gruesas, sin entrantes en el clorénquima; las partes exteriores de las células endodérmicas son delgadas. Vainas persistentes, fuertes, algo cenicientas, de 10 a 155µm. Las yemas son amarillentas, largas y erguidas. Los conillos son laterales, pedunculados, algo atenuados en ambas extremidades, con las escamas extendidas y provistas de una punta fina y caediza. Conos largamente cónicos, de 7 a 9 cm, a veces hasta 12; duros, sésiles reflejados, algo encorvados, oblicuos y puntiagudos; por lo general agrupados, en conjuntos de 3 a 6. Frecuentemente se ven en el tronco y en las ramas gruesas y en este caso suelen ser solitarios, quedando embutidos en la corteza. Su color es amarillo ocre, con tinte rojizo, lustroso. Son tenazmente persistentes (no se separan de la ramilla aunque ésta muera y se desprenda del árbol) y se abren parcialmente en diferentes épocas. Las escamas son duras, casi uniformes, con el ápice redondeado; umbo deprimido (o en las escamas basales algo engrosado) con una punta obscura, muy pequeña, extendida. Miden unos 30 mm de largo por 12 a 14 de ancho. La semilla es casi triangular, aguda, de color moreno, incluida hasta la mitad de un ala de 13 mm de largo, algo engrosada en la base, de color café claro con estrías oscuras. La madera es suave, débil, de color claro, ligeramente amarillenta, con vetas moreno pálidas. Es fácil para trabajar y poco resinosa.

Según el trabajo más actual de la taxonomía del género *Pinus* (Gernandt *et al.*, 2005), la clasificación de *Pinus patula* es la siguiente:

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de *Pinus patula*.

Categoría taxonómica
Familia: Pinaceae
Género: <i>Pinus</i>
Subgénero: <i>Pinus</i>
Sección: <i>Trifoliae</i>
Subsección: <i>Australes</i>
Especie: <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.

Distribución

Esta especie de pino es endémica de México. Su distribución abarca desde el noreste del país en algunas zonas aisladas de Tamaulipas y San Luis Potosí, parte del centro en Puebla, Hidalgo y Veracruz, hasta el suroeste, en Oaxaca. Su mayor abundancia se encuentra de manera más o menos continua en los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla y Veracruz. También se han documentado poblaciones aisladas en los estados de Ciudad de México, México, Querétaro y Tlaxcala (Earle, 2015; Martínez, 1992; Valera y Kageyaman, 1991; Vela 1980). Por otro lado, las poblaciones de la Ciudad de México y del Estado de México no son consideradas naturales y se piensa que son producto de plantaciones hechas por el hombre (Vela, 1980).

Considerando únicamente las zonas donde *P. patula* forma masas considerables, su distribución abarca un intervalo altitudinal que va desde los 2,000 m como ocurre en la mayoría de las localidades, hasta los 3,000 m en las partes más altas como el pico de Orizaba y el Cofre de Perote en Veracruz (Vela, 1980).

Clima

En general, se restringe a sitios de húmedos subtropicales a templados cálidos con precipitaciones de 1,000 hasta 2,500 mm, la mayoría ocurriendo en el verano de junio a octubre y una temporada seca de cero a tres meses de duración entre diciembre y febrero. Las temperaturas anuales promedio varían entre los 12 y 18°C con máximas de entre 20 y 29°C y mínimas que van de los 6 a los 12°C (Earle, 2015; Farjon, 2013; Gillespie, 1992; Vela 1980). Según el sistema Köppen modificado por García (2004) los climas en los que *Pinus patula* se distribuye son el $C_{(m)}$, $C_{(w)}$, $C_{(w)(x)}$ “templados subhúmedos con lluvias en verano” y el $C_{(fm)}$ “templado con lluvias todo el año”.

Geología y edafología

En su área de distribución las rocas más abundantes son de origen volcánico, las cuales cubren a las calizas cretácicas. Las más comunes de ellas son riolita, andesita, basalto, tobas riolíticas y andesíticas. Los suelos en su mayoría son acrisoles y luvisoles ricos en materia orgánica, ácidos con pH de 5 a 6.5, con profundidades que varían de 40 cm a 2 m y de textura muy variable: francos, migajones arenosos y arcillosos.

Especies asociadas

Se aprecian dos tipos de bosque en los que *P. patula* está presente: aquellos en los que constituye la especie dominante, siendo la única especie del dosel o acompañada de unas cuantas especies con baja presencia; y aquellos en los que comparte la dominancia con otras especies.

Del primero tipo son comunes las poblaciones del estado de Puebla y especialmente las de Hidalgo y en algunas zonas de Oaxaca (Challegger, 1998; Rzedowski, 2006; Vela, 1980). Entre algunos de los elementos arbóreos acompañantes de estos bosques encontramos varias especies de pinos y encinos además de especies de los géneros *Cletrha*, *Arbutus*, *Alnus*, *Abies* y *Prunus* (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008; Vela, 1980). Las masas forestales en las que *P. patula* no es la única especie dominante son características de Tamaulipas, San Luis Potosí y las de Veracruz. En ellas, *P. patula* se o asocia con *Abies*, *Liquidambar*, *Magnolia*, *Podocarpus*, *Taxus* y varias especies de *Quercus* y *Pinus* (Earle, 2015; Farjon, 2013; Vela, 1980).

Las poblaciones del estado de México son prácticamente desconocidas y la única referencia que se tiene es el trabajo de Vela (1980), quien mencionan solo unos cuantos individuos aislados en este estado y se piensa que son producto de una plantación. En específico, las masas forestales que constituyen el área de estudio están compuestas por bosques mixtos en los que *P. patula* comparte la dominancia con *Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite*, *P. montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *Quercus laurina*, *Q. resinosa* y en menor densidad *Alnus arguna*,

A. firmifolia, *Buddleja cordata*, *Prunus serotina*, *Quercus castanea*, *Q. rugosa* y *Salix sp.* (Martínez y Velázquez, 2002; Moreno, 2014).

Los componentes del estrato herbáceo y arbustivo de los bosques con *Pinus patula* son los típicos de bosques templados del país como: *Alchemilla*, *Archibaccharis*, *Baccharis*, *Bidens*, *Cestrum*, *Eupatorium*, *Fragaria*, *Geranium*, *Myrica*, *Pteridium*, *Rosa*, *Rubus*, *Salvia*, *Senecio*, *Stevia*, *Ternstroemia*, *Vaccinium*, algunas epífitas y varias especies de musgos (Vela, 1980).

MÉTODOS

Para el desarrollo del presente estudio se realizaron visitas prospectivas dentro del área de estudio en las que se seleccionaron y delimitaron dos rodales de 50 x 50m (2500m²) con presencia de *Pinus patula*, y buscando dos condiciones de bosque: un rodal con aprovechamiento en el que se realiza extracción de madera para leña, ocoteo de árboles y pastoreo de ganado; y otro al que se denominó como rodal sin aprovechamiento debido a que en él no se observó un uso extractivo u otra actividad de aprovechamiento, sin embargo se localiza cerca de la zona de campamento y por lo tanto enfrenta presiones relacionadas con la afluencia de visitantes.

Una vez establecidos se ubicaron geográficamente y se registró su orientación, elevación e inclinación. El rodal con aprovechamiento se ubicó a 2840 metros sobre el nivel del mar, orientación norte y 45° de inclinación. El rodal sin aprovechamiento se ubicó a 2839 metros sobre el nivel del mar, orientación sur y 55° de inclinación.

Caracterización de la comunidad arbórea y composición florística de los rodales

En cada rodal se censaron y midieron todos los árboles. De cada individuo se registró altura, perímetro a la altura del pecho (PAP) y los diámetros perpendiculares de la copa. Todas las mediciones se realizaron con el equipo forestal adecuado. Se colectó un ejemplar de cada especie para su posterior determinación taxonómica.

Para describir la composición florística de los rodales, se realizaron colectas mensuales, de hierbas y arbustos, durante un año (agosto 2014 a agosto 2015). La determinación taxonómica de las especies se realizó con base en literatura especializada, particularmente la Flora del Valle de México (Rzedowski y Rzedowski, 2005) y El género *Quercus* en el estado de México (Romero *et al.*, 2002). Para corroborar la identidad de las especies se llevó a cabo la comparación de los ejemplares determinados con ejemplares depositados en el herbario virtual del Missouri Botanical Garden (<http://www.tropicos.org>). En el caso particular de

las especies del género *Quercus* los ejemplares determinados fueron revisados por la Dra. Silvia Romero y la Mtra. Rubio-Licona quienes son especialistas del grupo.

A partir de los datos obtenidos se realizó un análisis de la riqueza y diversidad de especies, así como un análisis de la estructura de la comunidad arbórea de los dos rodales de estudio de la siguiente manera. Para la riqueza de especies (S) se utilizó el número total de especies (Magurran y McGill, 2013).

Para estimar la diversidad de especies dentro de los sitios (diversidad α), se utilizó el Índice de Brillouin (H_B), ya que se recomienda para poblaciones finitas y cuando la aleatoriedad de la muestra no se puede garantizar o cuando se censa toda la comunidad, como en este caso, considerando a cada rodal como una comunidad (Magurran, 2004; Magurran y McGill, 2013).

Para comparar la diversidad arbórea entre los dos sitios (diversidad β) se utilizó el índice de Chao-Jaccard (J_{abd}) para datos cuantitativos (Chao *et al.*, 2006). Además, para comparar la riqueza de especies del estrato herbáceo y arbustivo se utilizó el índice de Jaccard (I_j) para datos cualitativos (Magurran y McGill, 2013).

Para analizar la estructura vertical y horizontal de la comunidad arbórea, con los datos de altura, cobertura y PAP se realizaron tablas de distribución de frecuencias de altura, cobertura y diámetro (Matteucci y Colma, 1982). Asimismo para conocer la dominancia de las especies se calculó el índice de valor de importancia para cada una (Sculze *et al.*, 2005). Las fórmulas utilizadas para todos los análisis se encuentran en los Apéndices A y B.

Análisis de conos y producción de semillas

Con base en la información fenológica de la especie, al carácter serótino de sus conos y en lo recomendado por especialistas (CONAFOR, 2010a; Gillespie, 1992; Martínez; 1992; Valera y Kageyaman, 1991; Vela, 1980), la cosecha de conos se realizó durante la época seca del año, en febrero de 2015 antes de que los conos abrieran y liberaran sus semillas, pero en el momento en el que habían alcanzado la madurez. En cada rodal se seleccionaron tres árboles adultos sanos,

es decir, sin presencia de plagas, enfermedades o algún otro tipo de daño en el tronco o la copa. Con apoyo del técnico Cabrera experto en trepa de árboles, se obtuvieron los conos de tres ramas superiores de la copa, se procuró que las ramas se encontraran en la misma región de la copa y que fuesen de diámetros similares. Una vez colectados, los conos se colocaron en bolsas herméticas etiquetadas con el número de árbol y rodal.

Los conos se trasladaron al laboratorio de Ecología y Taxonomía de Árboles y Arbustos de la FES Iztacala, ahí se colocó cada uno en una bolsa de papel y se etiquetaron con la leyenda propia del número de árbol, número de cono y rodal correspondiente. A continuación, para facilitar la liberación de semillas, las bolsas se colocaron en una secadora en donde permanecieron por un periodo de dos semanas. Las bolsas se encontraban totalmente cerradas evitando que alguna semilla se perdiera. Transcurridas las dos semanas, durante un par de días se tomaron varios conos al azar y se revisó si las escamas basales que permanecían más o menos cerradas continuaban abriéndose, como este proceso no continuó, se inició con el análisis de los conos.

Para cada cono se midió con ayuda de un vernier digital el largo de la base a la punta y el ancho en su parte más amplia, se contó el número de escamas fértiles y el número de escamas infértiles tanto superiores como inferiores. Ya que las semillas regularmente permanecían atoradas entre las escamas del cono, éste se golpeó varias veces de manera uniforme para extraerlas todas. Una vez extraídas se contaron y separaron en semillas abortadas y desarrolladas (figura 5); éstas últimas se separaron del ala por métodos mecánicos colocándolas en un tamiz que se agitó varias veces para provocar que el roce mecánico separase el ala.

Una vez limpias se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 4°C en frascos sellados y etiquetados con la fecha de colecta, número de árbol y rodal. Las semillas abortadas se desecharon. El análisis de los conos, la limpieza y separación de semillas se realizó de acuerdo a la obra de Bramletty y colaboradores. (1977) y a las observaciones de Valera y Kageyaman (1991), Vela

(1980) y CONAFOR (2010a). Las fórmulas utilizadas para calcular el potencial de producción de semillas y la eficiencia de semillas se encuentran en el apéndice C, tomadas de Bramletty y colaboradores (1977).



Figura 5. Clasificación de óvulos abortados y semillas desarrolladas: **A** y **B** óvulos abortados el primer año; **C** óvulos abortados el segundo año y **D** semilla desarrollada.

Prueba de germinación y establecimiento en vivero

Los grupos de germinación se establecieron de la siguiente manera: de cada árbol muestreado se formaron cinco lotes de 50 semillas cada uno, de modo que para cada rodal se establecieron 750 semillas (250 por árbol). Previo a su establecimiento las semillas se desinfectaron en una solución de hipoclorito de sodio doméstico al 10% por 10 minutos. Cada lote de 50 semillas se estableció en una caja de plástico tipo domo con papel absorbente como sustrato y humedad a imbibición sin producir encharcamientos. Los lotes se colocaron en una cámara de germinación a 25°C y fotoperiodo de 24 horas luz. Diariamente y durante un mes se registró el número de semillas germinadas y se mantuvo la humedad a imbibición del sustrato. Se consideró como germinación a la ocurrencia de al menos 1 cm de radícula. El comportamiento germinativo se caracterizó de acuerdo a lo propuesto por Camacho y Morales (1992) (apéndice D).

En cuanto ocurrió la elongación del tallo y de los cotiledones, las plántulas se sembraron en tubetes forestales con una mezcla de tierra negra y perlita en proporción 2:1 como sustrato. Las plántulas se colocaron en un invernadero donde permanecieron por un periodo de tres meses, se realizó riego dos veces por

semana o dependiendo de las condiciones Cada plántula se identificó con el número de árbol y rodal correspondiente.

Establecimiento en campo y monitoreo de la sobrevivencia y crecimiento

A principios de julio del 2015, las plántulas se trasladaron a la zona de estudio para su trasplante. Se eligieron al azar 220 plantas por rodal a las que antes de ser trasladadas al campo se les midió con ayuda de un vernier digital: altura desde la base hasta la punta de los cotiledones y el diámetro de la base del hipocotilo del tallo, así como dos diámetros de cobertura. Estos datos se consideraron como la talla inicial.

Al interior de cada sitio se delimitaron 20 parcelas de 2 X 3 m, para cada vértice se enterró una estaca y las aristas del polígono se delimitaron con hilo de polipropileno. Las parcelas se distribuyeron de manera que las plántulas se repartieran aleatoriamente en el rodal y cubrieran la mayor área de éste (figura 6). En cada parcela se sembraron 11 plántulas (figura 6) dando un total de 220 plántulas por rodal. Cada plántula se sembró en cepas de 10 cm de profundidad cuidando de no dañar su raíz al momento de sacarla del tubete, la cepa se rellenó con suelo de la zona.

A partir de la fecha de siembra y durante un semestre, mensualmente se registró la altura, diámetro basal del tallo y los dos diámetros perpendiculares de la copa. El crecimiento se evaluó a partir de la tasa de crecimiento relativa propuesta por Harper (1977) (apéndice E).

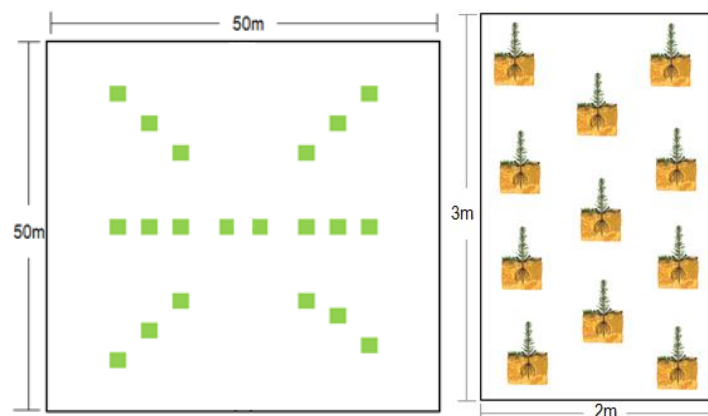


Figura 6. A la izquierda, arreglo espacial de los cuadrantes dentro del rodal. A la derecha distribución de las plantas dentro del cuadrante.

Análisis Estadístico

Con los datos de las variables morfométricas medidas a los conos: largo y ancho, número de escamas fértiles e infértiles, así como número de semillas desarrolladas y abortadas se realizó un análisis de correlación de Pearson y se realizó a una prueba de hipótesis, esto con el objetivo de concebir si existe relación entre la morfometría de los conos y el desempeño reproductivo.

Para evaluar si el aprovechamiento de los rodales (factor) tiene un efecto en el tamaño de los conos (largo y ancho), la producción de semillas número de escamas fértiles e infértiles, número de semillas abortadas y número de semillas desarrolladas), la calidad germinativa (porcentaje de germinación) y sobre el crecimiento (TCR total del diámetro, altura y cobertura) y sobrevivencia (número de plantas vivas) de las plantas en campo se realizaron análisis de varianza (ANOVA) con un grado de significancia de 0.05.

Además para cada fase del estudio y en función del tipo de datos obtenidos se realizó la estadística descriptiva correspondiente con el fin de explorar las medidas de tendencia central y el de mostrar las semejanzas y diferencias encontradas en cada rodal estudiado.

El análisis de datos se realizó con el paquete estadístico Minitab versión 17.

RESULTADOS

Caracterización de la comunidad arbórea y composición florística de los rodales

En el cuadro 2 se resumen la información obtenida a partir del análisis de riqueza y diversidad de especies, así como el análisis de similitud entre los dos rodales. Como se puede observar el rodal con aprovechamiento presentó un mayor número de especies e individuos, así como una mayor diversidad, sin embargo el índice Chao-Jaccard muestra un valor alto de similitud entre los dos ensambles.

Cuadro 2. Estimadores de riqueza y diversidad de especies de la comunidad arbórea de cada rodal análisis de similitud. N=número total de individuos; S=riqueza de especies; H_B = Índice de Brillouin; J_{abd} = índice de similitud Chao-Jaccard para datos cuantitativos.

Descriptor	Rodal con aprovechamiento	Rodal sin aprovechamiento
N	156	131
S	7	3
H_B	1.321	0.747
J_{abd}	0.776	

En relación a la dominancia *Quercus laurina* fue la especie con el valor de importancia más alto en los dos sitios (rodal con aprovechamiento= 140.71; rodal sin aprovechamiento= 151.62), seguida de *Pinus patula* (rodal con aprovechamiento= 95.22; rodal sin aprovechamiento= 140.91); en conjunto suman más del 70% de los individuos en el rodal con aprovechamiento, mientras que en el rodal sin aprovechamiento prácticamente son las únicas especies, pues sólo se encontraron 4 individuos de *Alnus jorullensis*.

Las especies *Alnus jorullensis*, *Arbutus tessellata*, *Quercus crassiflora* y *Pinus montezumae* fueron poco frecuentes y sólo se encontraron en el sitio con aprovechamiento, en densidades bajas y con un valor de importancia igualmente menor (cuadro 3).

Cuadro 3. Listado de especies arbóreas encontradas y su índice de valor de importancia (IVI) para cada rodal. RSA= rodal sin aprovechamiento; RCA= rodal con aprovechamiento.

Sitio	Especie	Densidad Relativa	Abundancia Relativa	Dominancia Relativa	IVI
RCA	<i>Alnus Jorullensis</i>	3.21	3.21	1.67	8.08
	<i>Arbutus tessellata</i>	5.77	5.77	1.17	12.71
	<i>Cupressus lusitanica</i>	1.28	1.28	0.14	2.70
	<i>Pinus montezumae</i>	10.28	10.28	6.69	27.25
	<i>Pinus patula</i>	28.92	28.92	43.37	101.22
	<i>Quercus crassifolia</i>	2.56	2.56	1.12	6.25
	<i>Quercus laurina</i>	47.44	47.44	45.84	140.71
RSA	<i>Alnus jorullensis</i>	3.05	3.05	1.36	7.47
	<i>Pinus patula</i>	34.65	34.64	67.63	140.91
	<i>Quercus laurina</i>	60.31	60.31	31.04	151.62

En virtud de la composición e importancia de las especies antes mencionada, en el análisis estructural los datos se agruparon por género.

En relación a la altura se encontró que la comunidad presenta diversos estratos verticales que se reflejaron en las clases conformadas (figura 7). En el rodal sin aprovechamiento las clases de altura mejor representadas se encuentran entre los 17 y 27m con cerca del 44% de los individuos, mientras que en el rodal con aprovechamiento las clases mejor representadas van de los 7 a los 17m con el 54% de los individuos. En los dos sitios tanto la clase de altura más pequeña de 2 a 7m (3% de los individuos en el rodal sin aprovechamiento y 12% en el rodal con aprovechamiento), como las clases de altura superiores a los 27 metros (5% en el rodal con aprovechamiento y 15% en el rodal sin aprovechamiento) fueron las menos numerosas.

Respecto a los géneros, en los dos sitios el género *Quercus* aportan la mayor cantidad de individuos a las clases que van de los 7 a los 17m, mostrando su mayor abundancia en la clase de los 7 a los 12m, y conforme la altura aumenta su presencia va disminuyendo. Para *Pinus* en los dos sitios su presencia es casi nula en la clase de altura más baja. En el rodal sin aprovechamiento su presencia asciende conforme aumenta la altura hasta los 27m para luego disminuir, siendo la clase de los 22 a los 27 la más numerosa para este género; mientras que en el rodal con aprovechamiento presentó una abundancia homogénea entre las clases

de altura que van de los 7 a los 27m para disminuir en los árboles con altura mayor a dicha 27m

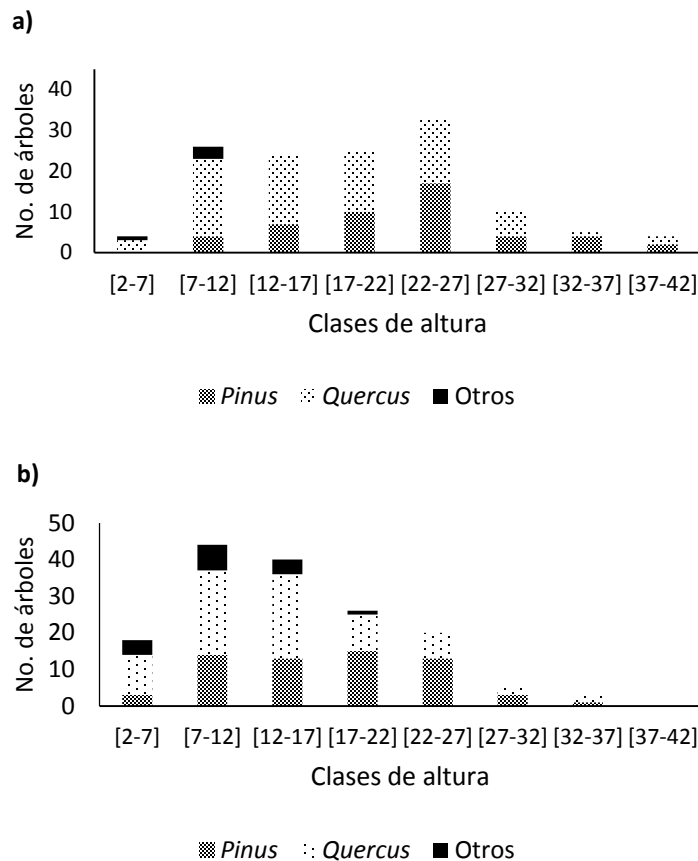


Figura 7. Distribución del número de árboles por clases de altura en rodales con *Pinus patula*. a) rodal sin aprovechamiento; b) rodal con aprovechamiento.

Para la cobertura encontramos que el dosel más bajo aporta el menor porcentaje de cobertura con menos del 3% en los dos sitios. El estrato de 7-17m es importante en el sitio con aprovechamiento ya que aporta el 30% de la cobertura, en el sitio sin aprovechamiento este estrato es menor con apenas el 16% de la cobertura total. Los árboles con una altura entre los 17 y los 27m en ambos rodales concentran la mayor cantidad de cobertura, sobre todo en el rodal sin aprovechamiento pues aporta cerca del 55% y 44% en el rodal con aprovechamiento. El estrato superior donde hay pocos individuos representa una cuarta parte de la cobertura total en ambos rodales, 24% en el rodal con aprovechamiento y 28% en el rodal sin aprovechamiento (figura 8).

En cuanto a la cobertura por género son notables las diferencias ya que en la zona sin aprovechamiento los encinos contribuyen con la mayor biomasa pues cubren un área 4,874 m², mientras que los pinos solo 2,979 m², en cambio en la zona considerada con mayor intensidad de aprovechamiento los árboles del género *Pinus* contribuyen con la mayor proporción de biomasa 3,210 m² contra 2,666 m² de los individuos del género *Quercus* (figura 8).

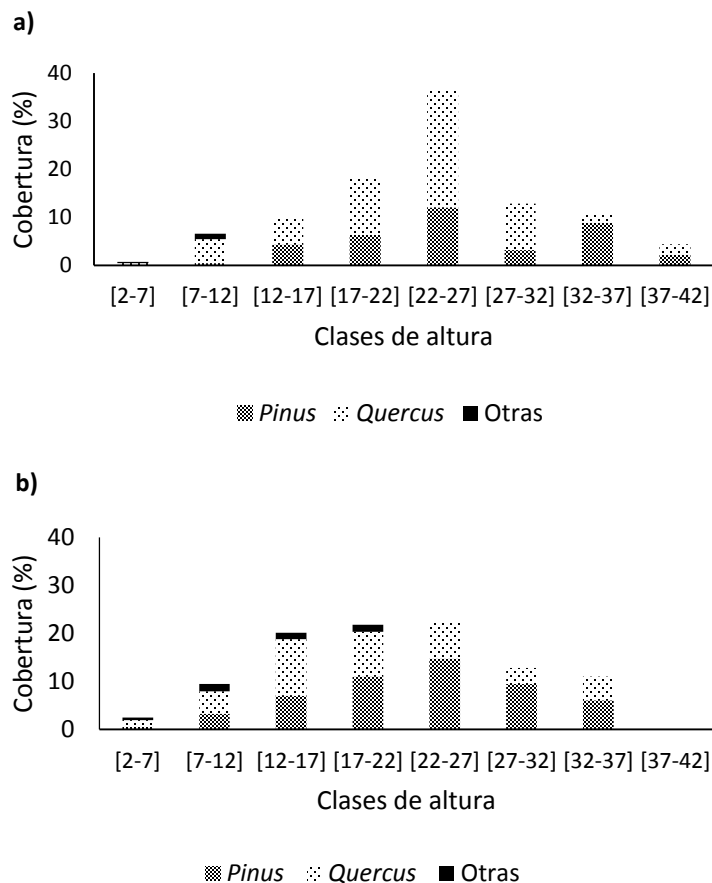


Figura 8. Distribución de la cobertura relativa del arbolado por clase de altura, en rodales con *Pinus patula*. a) rodal con aprovechamiento; b) rodal sin aprovechamiento.

Las clases diamétricas en ambos sitios y para los dos géneros presentaron un patrón similar. La curva de frecuencia describe una clara forma de J invertida en el que los máximos se presentan en el extremo izquierdo (figura 9), esto concuerda con las clases de menor diámetro comprendidas entre los 5 y 47 cm en las que se acumula el 87.82% de los árboles en el rodal con aprovechamiento y el 88.55% en el rodal sin aprovechamiento. Los individuos con un diámetro mayor a

47 cm son escasos en ambos rodales, sin embargo, en el rodal sin aprovechamiento encontramos ligeramente más árboles con diámetro mayor a 47 cm que en rodal con aprovechamiento, 19 y 15 árboles respectivamente.

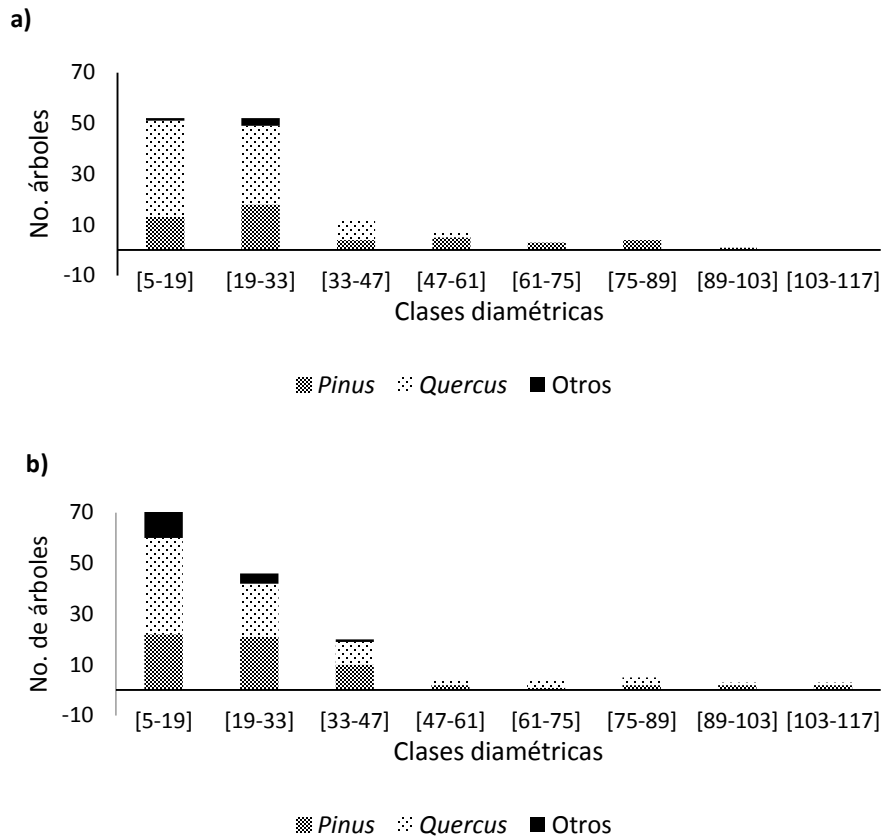


Figura 9. Distribución de frecuencias en las clases diámétricas del arbolado censado en los dos rodales de estudio. a) rodal con aprovechamiento; b) rodal sin aprovechamiento.

Respecto a la riqueza y composición florística de los estratos herbáceo y arbustivo en los rodales, se encontraron 36 especies repartidas en 15 familias (cuadro 4), la mejor representada fue Asteraceae con 14 especies, seguida por Rosaceae y Scrophulariaceae con 4 y 3 especies, respectivamente. En el sitio sin aprovechamiento se encontraron 35 especies; de éstas 21 son reportadas como especies típicas de vegetación secundaria y las restantes 14 son especies típicas de la vegetación primaria de los bosques templados. Por su parte en el sitio con aprovechamiento se encontraron 14 especies de las cuales 11 son reportadas de vegetación secundaria. Todas las especies encontradas en el rodal con

aprovechamiento son compartidas con el rodal sin aprovechamiento, únicamente *Corallorhiza bulbosa* es exclusiva para el rodal con aprovechamiento, mientras que *Corallorhiza odontorrhiza* lo es para el rodal sin aprovechamiento. El índice Jaccard reveló una baja similitud en la riqueza de especies entre los dos rodales ($I_J = 0.210$).

Cuadro 3. Listado florístico de las especies encontradas dentro de los rodales de estudio. RCA= rodal con aprovechamiento; RSA= rodal sin aprovechamiento. X representa presencia en el rodal. Estratos: h=herbáceo; Ab=arbustivo; A=arbóreo. Tipo de vegetación: se indica con si la especie es reportada como típica de vegetación primaria o secundaria. Información de acuerdo al catálogo de Malezas de México (CONABIO) o se menciona en la información que se presenta en la Flora del Valle de México (Rzedowski, 2010).

Categoría taxonómica	RCA	RSA	Tipo de Vegetación
Helechos			
Aspleniaceae			
<i>Asplenium monanthes</i> ^h L.		X	Primaria
Dryopteridaceae			
<i>Polystichum speciosissimum</i> ^h (A. Braun ex Kunze) Copel.		X	Primaria
Pteridaceae			
<i>Adiantum andicola</i> ^h Liebm.		X	Primaria
Thelypteridaceae			
<i>Thelypteris pilosa</i> ^h (M. Martens & Galeotti) Crawford		X	Primaria
Coníferas			
Cupressaceae			
<i>Cupressus lusitanica</i> ^A Mill.	X		Primaria
Pinaceae			
<i>Pinus montezumae</i> ^A Lamb.	X		Primaria
<i>P. patula</i> Schiede ^A ex Schtdl. & Cham.	X	X	Primaria
Monocotiledóneas			
Orchidaceae			
<i>Corallorhiza bulbosa</i> ^h A.Rich. & Galeotti	X		Primaria
<i>C. odontorrhiza</i> ^h (Willd.) Nutt.		X	Primaria
Poaceae			
<i>Bromus sp.</i> ^h	X	X	Secundaria
<i>Stipa sp.</i> ^h	X	X	Secundaria
Dicotiledóneas			
Asteraceae			
<i>Ageratina glabrata</i> ^{Ab} (Kunth) R.M.King & H.Rob.		X	Primaria

<i>A. ramireziorum</i> ^{Ab} (Espinosa) B.L.Turner		X	Primaria
<i>Baccharis conferta</i> ^{Ab} Kunth		X	Secundaria
<i>Bidens triplinervia</i> ^h Kunth		X	Secundaria
<i>Cirsium ehrenbergii</i> ^h Sch.Bip.	X	X	Secundaria
<i>Galinsoga parviflora</i> ^h Cav.		X	Secundaria
<i>Piqueria trinervia</i> ^h Cav.		X	Secundaria
<i>Senecio angulifolius</i> ^{Ab} DC.		X	Secundaria
<i>S. barba-johannis</i> ^{Ab} DC.	X	X	Secundaria
<i>S. sinuatus</i> ^{Ab} Kunth	X	X	Secundaria
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> ^h Kunth	X	X	Secundaria
<i>Stevia serrata</i> ^h Cav.		X	Secundaria
<i>S. jorullensis</i> ^h Kunth		X	Secundaria
<i>S. tomentosa</i> ^h Kunth		X	Secundaria
Begoniaceae			
<i>Begonia gracilis</i> ^h Kunth		X	Primaria
Betulaceae			
<i>Alnus jollurensis</i> ^A Kunth	X		Primaria
Caryophyllaceae			
<i>Cerastium nutans</i> ^h Raf.		X	Secundaria
Caprifoliaceae			
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> ^{Ab} (Humb. & Bonpl. ex Schult.) Kunth		X	Primaria
Ericaceae			
<i>Arbutus tessellata</i> ^A P.D.Sørensen	X		Primaria
Fagaceae			
<i>Quercus crassifolia</i> ^A Humb. & Bonpl.	X		Primaria
<i>Quercus laurina</i> ^A Humb. & Bonpl.	X	X	Primaria
Lamiaceae			
<i>Salvia elegans</i> ^{Ab} Vahl		X	Primaria
Phytolaccaceae			
<i>Phytolacca iscosandra</i> ^{Ab} L.		X	Secundaria
Rosaceae			
<i>Acaena elongata</i> ^h L.	X	X	Secundaria
<i>Alchemilla procumbens</i> ^h Rose	X	X	Secundaria
<i>Rubus pringlei</i> ^{Ab} Rybd.		X	Primaria
<i>R. pumilus</i> ^h Focke		X	Primaria

Scrophulariaceae

<i>Castilleja scorzonifolia</i> ^h Kunth	X	X	Primaria
<i>C. tenuiflora</i> ^h Benth.	X	X	Secundaria
<i>Penstemon roseus</i> ^h (Cerv. ex Sweet) G. Don	X	X	Secundaria

Solanaceae

<i>Cestrum anagyris</i> ^{Ab} Dunal	X	X	Primaria
<i>Solanum argentinum</i> ^{Ab} Bitter & Lillo	X	X	Secundaria

Hay que destacar que el sotobosque del rodal sin aprovechamiento presentaba una estructura más densa y con mayor desarrollo, además de contar con presencia de varias especies de helechos y una buena cantidad de musgos que son indicadores de humedad y por tal del buen estado de este sitio. En comparación, el rodal con aprovechamiento durante todo el año tuvo un desarrollo raquíptico con la presencia de muy pocas especies en su mayoría malezas (figura 10).



Figura 10. Vista al sotobosque los rodales de estudio. En A se observa el desarrollo del estrato durante la época de lluvias (septiembre) en el rodal con aprovechamiento. En B se observa el piso forestal durante la época seca (enero). Es notable el endeble desarrollo en este sitio durante todo el año resultado de las actividades humanas. En C se puede observar un sotobosque desarrollado en la parte baja del rodal sin aprovechamiento durante a finales de la época de lluvias (noviembre). En D se muestra la parte alta del rodal en el cual el desarrollo de este estrato disminuye.

Análisis de conos y producción de semillas

Del rodal con aprovechamiento se colectó un total de 264 conos mientras que en el rodal sin aprovechamiento se obtuvieron 232. El cuadro 4 y la figura 11 resumen la información obtenida a partir de las variables medidas en los conos.

Cuadro 4. Características morfológicas y reproductivas de los conos de *Pinus patula* colectados en los dos rodales estudiados. RCM= rodal con aprovechamiento; RSM= rodal sin aprovechamiento; PPS= potencial de producción de semillas; ES= eficiencia de semillas; Min.= valor mínimo; Máx.= valor máximo; \bar{X} =media; S.E.= desviación estándar.

Sitio	Variable	Min.	$\bar{X} \pm S.E.$	Max.
RCA	Largo (cm)	5.49	7.89 \pm 0.85	10.16
	Ancho (cm)	2.80	4.08 \pm 0.58	5.95
	Escamas fértiles	38.00	88.53 \pm 21.79	155.00
	Escamas infértiles	12.00	87.34 \pm 20.36	142.00
	Semillas extraídas	41.00	115.94 \pm 38.36	252.00
	Semillas abortadas	22.00	70.44 \pm 27.82	181.00
	Semillas desarrolladas	0.00	45.51 \pm 25.34	114.00
	PPS	76.00	177.05 \pm 43.58	310.00
	ES	0.00	26.52 \pm 15.50	78.75
	RSA	Largo (cm)	0.95	9.18 \pm 1.00
Ancho (cm)		3.63	5.10 \pm 0.81	8.61
Escamas fértiles		57.00	100.80 \pm 16.89	145.00
Escamas infértiles		60.00	108.72 \pm 19.93	193.00
Semillas extraídas		39.00	120.16 \pm 34.08	228.00
Semillas abortadas		1.00	50.78 \pm 31.67	146.00
Semillas desarrolladas		14.00	69.38 \pm 26.65	129.00
PPS		114.00	201.60 \pm 33.79	290.00
ES		5.88	34.29 \pm 12.06	73.03

El número total de semillas extraídas fue de 30,609 en el rodal con aprovechamiento y de 27,877 en el rodal sin aprovechamiento. Del total, en el sitio con aprovechamiento el 60.75% (18,595) de las semillas se clasificaron como abortadas y sólo el 39.25% (12,014) resultaron desarrolladas. En el sitio sin aprovechamiento el 42.26% (11,780) de las semillas se clasificaron como abortadas y el 57.74% (16,097) como desarrolladas. El potencial de producción de semillas (PPS) y la eficiencia de semillas (ES) fue mayor en el rodal sin aprovechamiento que en el rodal con aprovechamiento (cuadro 4); en éste último incluso se encontraron conos en los que no se contaron semillas desarrolladas.

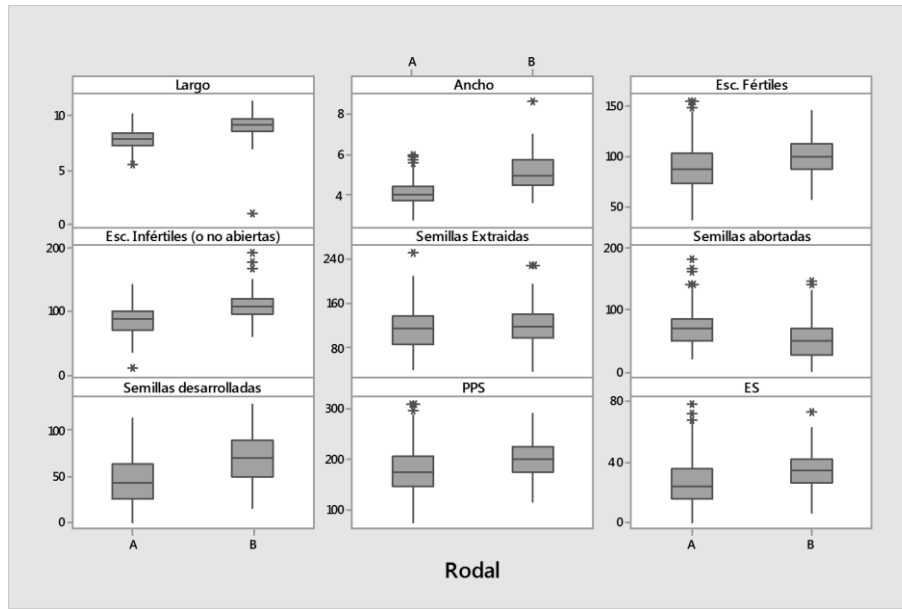


Figura 11. Diagramas de cajas y alambres de los datos obtenidos en cada variable medida en los conos. A=rodal con aprovechamiento; B=rodal sin aprovechamiento; PPS= potencial de producción de semillas; ES= eficiencia de semillas.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p < 0.01$) en todas las variables medidas excepto para el total de semillas extraídas (cuadro 5).

Cuadro 5. Resultados de la prueba ANOVA para evaluar la diferencia de las variables evaluadas en los conos recolectados en los rodales estudiados. SC=suma de cuadrados, grados de libertad= 495; CM= cuadrado medio; *indica diferencias significativas

Variable	SC	CM	F	P
Largo	627.13	205.63	241.00	< 0.001*
Ancho	367.12	128.16	264.94	< 0.001*
Escamas fértiles	209419	18607	48.17	< 0.001*
Escamas infértiles	257179	56397	138.76	< 0.001*
Semillas extraídas	657442	2195	1.65	0.199
Semillas abortadas	482962	47727	54.17	< 0.001*
Semillas desarrolladas	403371	70394	104.44	< 0.001*
PPS	837677	74427	48.17	< 0.001*
ES	104185.4	7455.1	38.07	< 0.001*

El análisis de correlación (cuadro 6) mostró una correlación estadísticamente significativa ($P < 0.001$) y directamente proporcional para la mayoría de las variables, sin embargo, el coeficiente r de Pearson indica que dicha relación es débil, pues para la mayoría de las variables el valor de r fue < 0.5 , por lo cual sólo se considera como correlaciones de mediana intensidad las

siguientes: largo/ancho del cono ($r=0.640$); largo del cono/ número de escamas fértiles ($r=0.539$); largo del cono/número de semillas desarrolladas ($r=0.530$); largo del cono/PPS ($r=0.539$) y ancho del cono/ número de semillas desarrolladas ($r=0.548$). Únicamente cuatro variables tiene una relación considerada fuerte: escamas fértiles/PPS ($r=1$) y ES/semillas desarrolladas ($r=0.877$), sin embargo, esta relación no se discutirá, pues para calcular tanto el PPS como la ES se utiliza el número de escamas fértiles y las semillas desarrolladas respectivamente, debido a lo cual es obvio que su correlación sea alta.

Cuadro 6. Análisis de correlación entre las variables analizadas en los conos de *Pinus patula*. El primer dato indica el valor r de Pearson y el segundo el valor de p .

	Ancho	Esc. fértiles	Esc. Infértiles	Semillas extraídas	Semillas abortadas	Semillas drllas.	PPT	ES
Largo	0.64 < 0.001	0.539 < 0.001	0.338 < 0.001	0.346 < 0.001	-0.081 0.070	0.530 < 0.001	0.539 < 0.001	0.304 < 0.001
Ancho		0.331 < 0.001	0.204 < 0.001	0.318 < 0.001	-0.130 < 0.05	0.404 < 0.001	0.331 < 0.001	0.417 < 0.001
Esc. Fértiles			0.251 < 0.001	0.468 < 0.001	0.178 < 0.001	0.404 < 0.001	1.00 -	-0.029 0.523
Esc. infértiles				0.169 < 0.001	-0.060 0.181	0.281 < 0.001	0.251 < 0.001	0.167 < 0.001
Semillas extraídas					0.654 < 0.001	0.561 < 0.001	0.468 < 0.001	0.400 < 0.001
Semillas abortadas						-0.259 < 0.001	0.178 < 0.001	-0.334 < 0.001
Semillas drllas.							0.404 < 0.001	0.877 < 0.001
PPT								-0.029 0.523

Germinación

Las semillas provenientes del rodal con aprovechamiento tuvieron una capacidad germinativa del 50.93%, pues después de 30 días germinaron 382 semillas de las 750 semillas establecidas (figura 12), mientras que en el rodal sin aprovechamiento después del mismo periodo de tiempo, se obtuvo un porcentaje de germinación del 76.93% (577 semillas); las diferencias en la capacidad germinativa de las semillas fue estadísticamente significativa ($F=16.68$; $P < 0.001$).

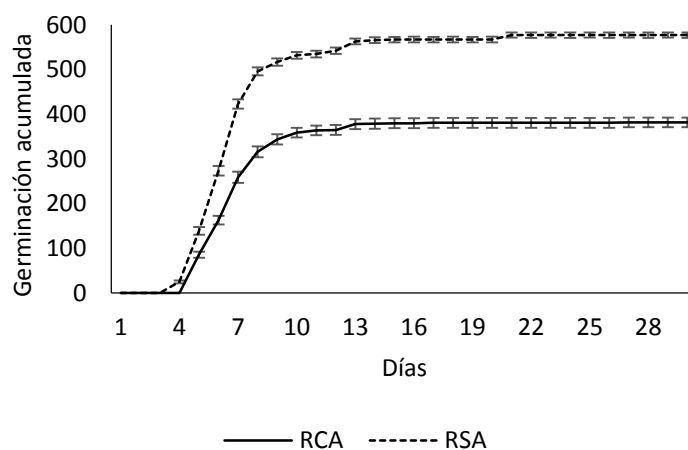


Figura 12. Germinación acumulada \pm S.E. de semillas de *Pinus patula* provenientes de los dos rodales estudiados. RCA= rodal con aprovechamiento; RSA= rodal sin aprovechamiento.

En los dos casos, la germinación inició al cuarto día y se acentuó a partir del quinto y hasta el día 13, momento en el que disminuyó drásticamente hasta volverse casi nula. De ambas procedencias, poco más del 90% de la germinación total se efectuó entre el día 5 y 10 aunque en general requirió de 6 a 9 días (cuadro 7).

Cuadro 7. Comportamiento germinativo de semillas *Pinus patula* provenientes de los dos rodales estudiados. RCM= rodal con aprovechamiento; RSM= rodal sin aprovechamiento; TMG= tiempo medio de germinación; DTMG= desviación del tiempo medio de germinación.

	Capacidad Germinativa (%)	TMG (días)	DTMG (días)
RCA	50.93	6.65	2.23
RSA	76.93	6.61	2.72

Sobrevivencia y crecimiento

En el cuadros 8 se muestran las características de tamaño de las plantas que fueron introducidas en lo rodales. Las plantas obtenidas a partir de las semillas del rodal sin aprovechamiento fueron más altas y robustas.

Cuadro 8. Talla inicial ($\bar{X} \pm S.E.$) de las plantas introducidas en los rodales de estudio.

Ambiente	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Cobertura (cm ²)
RCA	6.04 \pm 1.22	0.95 \pm 0.07	4.30 \pm 0.10
RSA	7.24 \pm 1.18	0.97 \pm 0.07	4.31 \pm 0.68

La talla inicial de las plantas en las variables altura y diámetro presentó diferencias significativas entre los dos sitios de procedencia, mientras que para la cobertura no fueron significativas (cuadro 9).

Cuadro 9. Resultados de la prueba ANOVA para evaluar la diferencia de las medidas iniciales de las plantas que se sembraron en los rodales estudiados. SC=suma de cuadrados, grados de libertad= 438; CM= cuadrado medio;

Variable	SC	CM	F	P
Altura	783.60	157.61	110.02	< 0.001
Cobertura	211.76	0.01	0.01	0.90
Diámetro	2.18	0.08	15.61	< 0.001

Durante los 6 meses de monitoreo, la sobrevivencia disminuyó gradualmente en ambos rodales, no obstante siempre fue mayor en el rodal sin aprovechamiento (figura 13). Al final del monitoreo la sobrevivencia en el rodal con aprovechamiento fue de 110 individuos (50.23%) y en del rodal sin del aprovechamiento 82 individuos (37.27%).

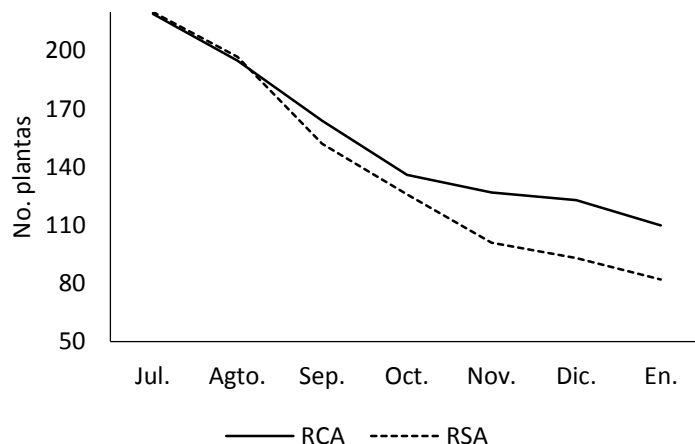


Figura 13. Supervivencia de *Pinus patula* en los dos rodales de estudio a lo largo de 6 meses de monitoreo.

El periodo de mayor número de muertes ocurrió durante los primeros tres meses en el rodal con aprovechamiento, mientras que en el rodal sin aprovechamiento dicho periodo se extendió hasta el cuarto mes, en noviembre. Durante el resto de los meses el número de muertes en los dos sitios disminuyó considerablemente. El mayor número de muertes en ambos rodales ocurrió en septiembre y la menor en enero. El análisis de varianza mostró diferencias significativas en la supervivencia final respecto al rodal ($F=4.73$; $P < 0.01$).

El crecimiento de las plántulas en los dos sitios fue continuo a lo largo del semestre de monitoreo en todas las variables, sin embargo la proporción de crecimiento mensual no fue constante, hubo meses en los que éste fue mayor tal como lo indica tasa mensual de crecimiento relativo (figura 14). En general, el mayor crecimiento de las plantas se obtuvo de agosto a noviembre (época de lluvias) en los dos sitios. La tasa de crecimiento relativo en altura y cobertura siempre fue mayor en el rodal con aprovechamiento, mientras que el diámetro fue prácticamente el mismo (figura 14).

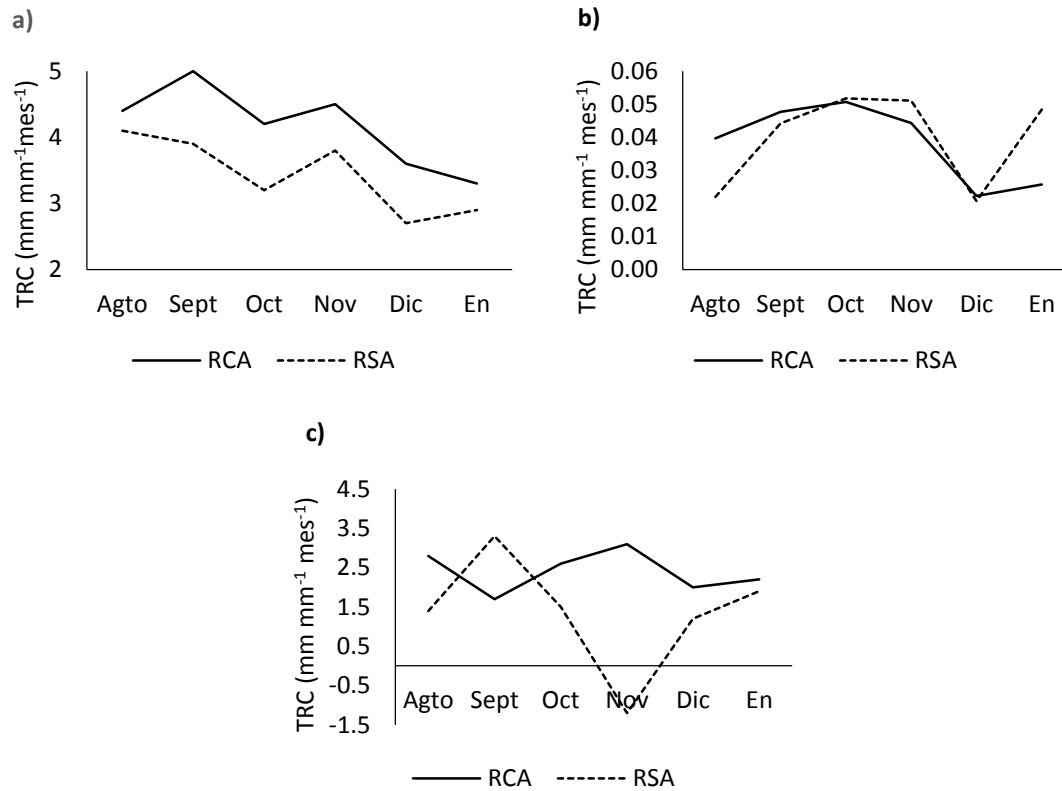


Figura 14. Tasa mensual del crecimiento relativo de las plantas de *Pinus patula* en los dos rodales de estudio. a) altura; b) diámetro, c) cobertura.

Como puede observarse en el gráfico c de la figura 14, en el rodal sin aprovechamiento para el mes de noviembre se obtuvo una tasa de crecimiento relativa negativa debido a eventos constantes de herbívora, sin embargo este fenómeno ocurrió en ambos sitios (figura 15).



Figura 15. Daños observados en plantas de *Pinus patula* introducidas en los rodales de estudio. a) daño por herbivoría; b) daño por aplastamiento; c) muerte por estrés hídrico y d) planta sin daños.

El análisis de varianza (cuadros 10 y 11) manifiesta que la tasa de crecimiento relativa total, no difirió significativamente entre los rodales, únicamente para la cobertura (TCR altura: $F= 0.93$, $P= 0.34$; TCR cobertura: $F= 4.64$, $P= 0.03$; TCR diámetro: $F= 0.93$, $P= 0.33$).

Cuadro 10. Tasa de crecimiento relativo total ($\bar{X} \pm S.E.$) de las plantas de *Pinus patula* introducidas en los dos rodales de estudio después de 6 meses de evaluación.

Ambiente	Altura	Diámetro	Cobertura
RCA	1.22 ± 0.94	0.184 ± 0.147	0.52 ± 1.25
RSA	0.0381 ± 0.036	0.0323 ± 0.036	0.24 ± 0.072

Cuadro 11. Resultados de la prueba ANOVA para evaluar la TRC de las plantas sembradas en cada rodal de estudio después de seis meses de monitoreo. SC=suma de cuadrados, grados de libertad= 391; CM= cuadrado medio; *indica diferencias significativas

Variable	SC	CM	F	P
Altura	0.43	0.001	0.93	0.34
Cobertura	2.95	0.03	4.64	0.03*
Diámetro	0.41	0.0009	0.93	0.33

Los diagramas de caja y alambres (figura 17) muestran la talla mensual de las plantas durante el periodo de evaluación. Como se puede observar ésta fue muy variable en ambos rodales pues los alambres de las cajas son muy largos de modo que indican valores extremos.

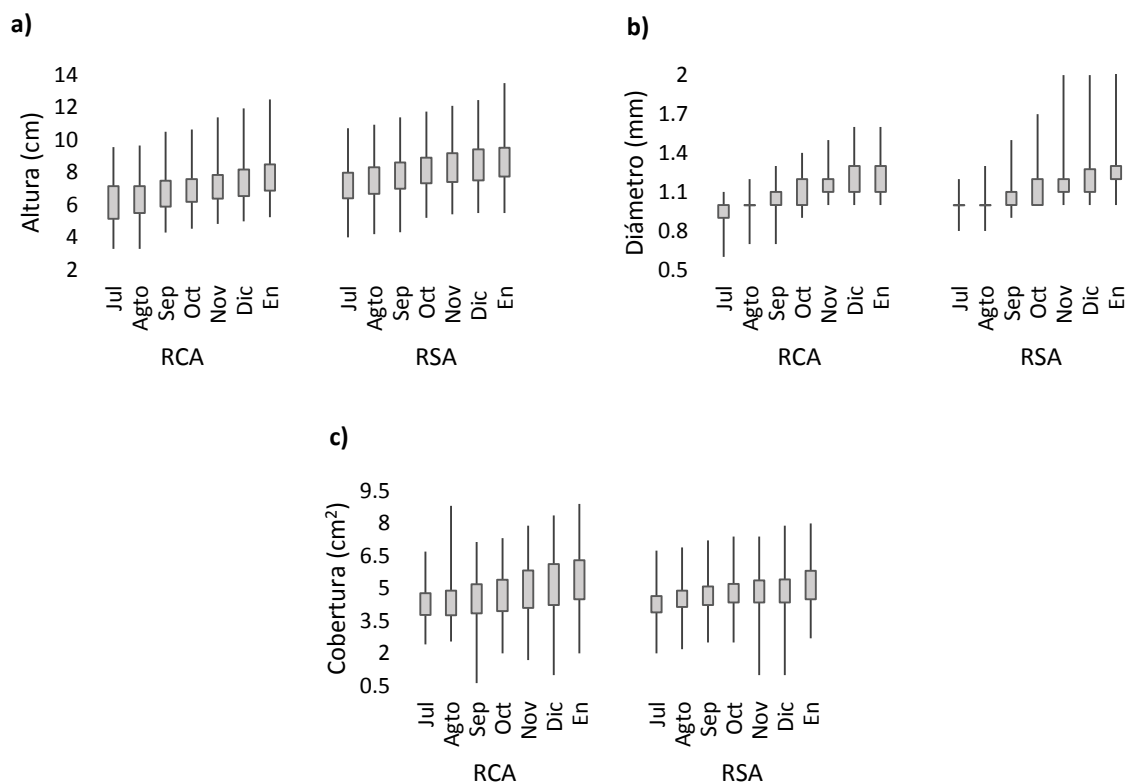


Figura 16. Incremento mensual de talla en cada variable medida para las plantas de *Pinus patula* introducidas en los dos rodales de estudio.

El incremento total promedio en diámetro, altura y cobertura de las plantas fue escaso durante los seis meses de monitoreo (cuadro 12).

Cuadro 12. Crecimiento total ($\bar{X} \pm S.E.$) de las plantas de *Pinus patula* introducidas en los dos rodales de estudio, después de 6 meses de evaluación.

Ambiente	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Cobertura (cm ²)
RCA	1.22 \pm 0.94	0.18 \pm 0.15	0.52 \pm 1.25
RSA	1.05 \pm 0.87	0.17 \pm 0.19	0.42 \pm 0.77

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en el crecimiento total para ninguna variable entre los sitios (altura: F= 3.53, P= 0.06; diámetro: F= 1.03, P=0.31; cobertura: F= 0.96, P= 0.33) (cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados de la prueba ANOVA para evaluar el crecimiento total de las plantas sembradas en cada rodal de estudio después de seis meses de monitoreo. SC=suma de cuadrados, grados de libertad= 391; CM= cuadrado medio; *indica diferencias significativas

Variable	SC	CM	F	P
Altura	321.93	2.89	3.53	0.06
Cobertura	417.12	1.03	0.96	0.33
Diámetro	11.56	0.03	1.03	0.31

DISCUSIÓN

Estructura del estrato arbóreo y composición florística de los rodales

En el presente estudio se encontró que la comunidad está dominada por *Quercus laurina* y *Pinus patula*, es así que la vegetación de los sitios corresponde a un bosque mixto de Encino-Pino. La mezcla de encinares y pinares es una condición típica en muchas regiones del país formando comunidades clímax, estas asociaciones son posibles ya que ambos géneros comparten exigencias ecológicas similares (Rzedowski, 2006).

Por otro lado, encontrar masas dominadas por unas cuantas especies es común en algunos bosques templados de México. Esta condición se ha observado en varias regiones del país tanto en bosques de Pino, Encino, Mixtos y de *Abies* (Aguilar, 2007; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008, 2010; Encina-Domínguez *et al.*, 2008; Juárez-Sánchez *et al.*, 2014; Santibañes, 2009).

De acuerdo a los resultados encontrados, las especies menos representadas fueron *Alnus jorullensis*, *Arbutus tessellata* y *Quercus crassifolia*, es posible que al tratarse de un bosque bajo manejo el disturbio tenga un efecto muy fuerte sobre sus poblaciones. Ya en varios trabajos se ha documentado que la intervención humana disminuye la riqueza de especies arbóreas y su abundancia, pero la baja densidad puede ser resultado de la estructura natural del bosque (Corral *et al.*, 2005; Hernández-Salas *et al.*, 2013). Cualquiera que sea la razón es necesario poner atención en estas especies poco frecuentes si es que se pretende mantener la diversidad e integridad de las comunidades boscosas dentro del parque.

Los individuos dos de cedro (*Cupressus lusitanica*) encontrados en el rodal de aprovechamiento, son resultado del proceso de naturalización y muestran el potencial de invasión que tiene esta especie. Al tratarse de individuos jóvenes es probable que se hayan establecido desde semillas, pues a pesar de no ser una especie nativa de la zona, se han establecido zonas en el parque en las que se eliminó toda la vegetación natural y se reforestó con esta especie. Una vez

establecidos, estos árboles se reprodujeron y sus semillas llegaron hasta zonas de vegetación natural.

De acuerdo al análisis de riqueza y diversidad de especies, el rodal con aprovechamiento presentó un mayor número de especies y una diversidad más alta; respecto a esto se ha documentado que el aprovechamiento forestal en este tipo de bosques aumenta la riqueza y diversidad de especies (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009; Corral *et al.*, 2005). En un estudio realizado en el parque ecológico Chipinque en Nuevo León se compararon dos ecosistemas con daño por incendios forestales contra un bosque sin perturbaciones, en sus resultados se encontró que el sitio sin ningún tipo de restauración presentó un mayor número y riqueza de especies, mientras que el bosque de referencia presentó la menor riqueza y diversidad (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2008).

Resultados similares los encontró González-Tagle y colaboradores (2008) en los que en un bosque después un incendio se encontró una mayor diversidad y riqueza de especies respecto al bosque maduro. Es probable que la mayor riqueza y diversidad encontrada en el rodal con aprovechamiento sea reflejo de las actividades antropogénicas en este sitio.

Por otro lado, el análisis de diversidad β expuso que los dos rodales presentan una alta similitud. El índice de cuantitativo de Chao-Jaccard estima la similitud de dos comunidades a través de las especies compartidas y su abundancia (Chao *et al.*, 2006; Magurran y y McGill, 2013), dado que en los dos sitios *Q. laurina* y *P. patula* fueron las especies más abundantes, y ya que el resto de las especie presentaron bajas densidad, el índice manifestó un alto valor de similitud. Hernández-Salas y colaboradores (2012) indican que conforme los bosques van madurando la similitud entre ellos disminuye, no obstante, en un periodo de 20 años la similitud de se mantiene por arriba del 0.8 con el índice de Sørensen. Es probable que la similitud entre los rodales no sea resultado de las actividades humanas, sino propia de la estructura natural de los rodales.

La estructura de la comunidad revela que sin importar la intensidad del aprovechamiento, en ambos rodales *Q. laurina* codomina con *P. patula*. Al

respecto Vela (1980) y Castellanos-Bolaños y colaboradores (2008, 2010) en sus estudios sobre los bosques de *P. patula* comentan que este pinar en algunas zonas constituye masas puras en las que no existe ningún otro elemento arbóreo, mientras que en otras comunidades las masas puras de *P. patula* existen, sólo en las fases tempranas del bosque, y conforme éste va madurando, la presencia del pinar comienza a declinar y a ser reemplazado por especies de latifoliadas como los encinos.

En las primeras etapas de la sucesión del bosque los pinares dominan pues sus exigencias lumínicas les permiten dominar el dosel, mientras las especies tolerantes a la sombra se mantienen debajo de éstos (Challenger, 1998). Por otro lado, en su fase madura con aproximadamente 100 años, los encinos y otras latifoliadas logran alcanzar a los pinos compitiendo con éstos o formando un subdosel debajo de ellos e incluso en algunas zonas constituyen las especies dominantes (Juárez-Sánchez *et al.*, 2014; Quintana y González, 1993; Rubio-Licona *et al.*, 2011; Rzedowski, 2006). Al parecer el bosque de la presa se trata de un bosque maduro en el que los encinos han alcanzado al pinar y compiten fuertemente con él.

El análisis estructural reveló que ambos rodales tiene una organización similar que consiste en una falta de plántulas y brinzales de *Pinus patula*, mientras que los rebrotes y juveniles de *Quercus laurina* fueron abundantes en ambas zonas. La escasez de *Pinus* se debe a que en general, en los bosques maduros, los pinos, al ser especies heliófilas que prosperan en sitios bien iluminados, no logran establecerse ni germinar adecuadamente, en cambio son las primeras especies arbóreas en establecerse durante la sucesión (Challenger, 1998).

En un estudio sobre los bosques templados de Durango se observó que en sitios después del 100% de remoción de la vegetación, *Pinus cooperi* fue la especie colonizadora (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009). Resultados similares los encontramos en el trabajo de Quintana y Gonzalez (1993) en el que *P. oaxacana*, *P. pseudostrobus*, *P. oocarpa* y *P. montezumae* fueron las especies colonizadoras. A la inversa, se conoce que el género *Pinus* presenta dificultades

para regenerarse en doseles cerrados, pues son especies intolerantes a la sombra lo que provoca eventualmente su muerte (López, 2005; Martínez, 1998; Murillo, 2009; Quintana y Gonzales, 1993).

En comparación los encinos son especies que toleran bien la sombra y pueden emerger bajo estas condiciones (López, 2005; Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009; Villavicencio *et al.*, 2013), además tienen la capacidad de rebrotar una vez cortados. En el rodal con aprovechamiento un buen número de los encinos presentes son producto del rebrote a partir de tocones de árboles talados.

La notable abundancia de las clases de altura y cobertura del estrato bajo-medio, así como las clases de diámetro bajas observada en los dos sitios de estudio es una condición recurrente en los bosques maduros. En este tipo de masas forestales, el promedio de altura oscila entre los 10 y los 25 m, y el promedio de diámetro generalmente se encuentra entre los 20 y los 40 cm, además, el estrato superior siempre es el que contiene el menor porcentaje de individuos (Aguilar, 2007; Castellanos-Bolaños *et al.*, 2010; Encina-Domínguez *et al.*, 2008; Juárez-Sánchez *et al.*, 2014; Martínez, 1998; Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009; Pineda-López *et al.*, 2013; Rubio-Licona *et al.*, 2011; Santibañes, 2009).

En relación a las especies del sotobosque y la cobertura de herbáceas es muy clara la diferencia entre los sitios. Es muy probable que el empobrecimiento de este estrato en el rodal con aprovechamiento sea resultado de las actividades humanas que sin bien no ha afectado notablemente la estructura arbórea sí han producido cambios en la composición y riqueza de los estratos herbáceo y arbustivo. Cerca del rodal con aprovechamiento existen casas, senderos, paso de animales domésticos, pastoreo de ganado, extracción de ocote y extracción de madera para leña.

El rodal sin aprovechamiento presentó una mayor riqueza de especies, pero en comparación con lo documentado con otros estudios y en general para los bosques templados la riqueza es baja (Encina-Domínguez *et al.*, 2008; Rubio-Licona *et al.*, 2011; Rzedowski y Rzedowski, 2005; Rzedowski, 2006). Además es

notable que del total de especies, 21 son consideradas como típicas de vegetación secundaria, indicadoras de la perturbación causada por actividades humanas (Vibrans, 2009; Rzedowski y Rzedowski, 2005) de manera que el impacto en este estrato es considerable en los dos sitios.

La distribución de *P. patula* tiene como referencia el estudio realizado por Vela (1980). El autor comenta que las poblaciones de la Ciudad de México y los individuos detectados del Estado de México no son poblaciones naturales pues piensa que probablemente son producto de plantaciones hechas por el hombre. A continuación, se hacen algunas anotaciones respecto a lo observado en la zona de estudio lo cual plantea la posibilidad de que al menos las poblaciones de la zona de estudio son naturales.

Primero, a diferencias de las plantaciones comerciales en las que la mayoría de los individuos están presentes en uno o dos estratos, la estructura tanto de altura como de diámetro muestra que la población de *Pinus patula* presenta diversos estratos presentes en las clases formadas. Segundo, el análisis realizado por Martínez y Velásquez (2002) indica que el plan de manejo y el aprovechamiento masivo de la zona inició en 1996 por lo que es improbable que en 20 años existan árboles de tales dimensiones (diámetro superior a un metro) derivados de una plantación. Tercero, la gran heterogeneidad observada y la mezcla de encinos y pinos apoya la idea de un bosque natural. Cuarto, Vela (1980) menciona que *Pinus patula* es una especie exigente respecto a los niveles de precipitación con al menos 1,000 mm anuales. En los registros obtenidos del Servicio Meteorológico Nacional en la estación más cercana indican que en un periodo de 20 años la precipitación media anual fue de 1,061.3 mm por lo que las exigencias corresponden con las condiciones del sitio. Y quinto, Montiel y Zamudio (2007) en su estudio preliminar sobre la edad de *P. patula* en árboles con diferentes diámetros y altura indica que los individuos con DAP entre 70 y 100 cm y una altura entre los 35 y 40 m tienen una edad aproximada de 100 años. En el área de estudio existen varios individuos con más de 100 cm de diámetro y más de 35 m por lo cual es probable que no sean árboles reforestados. Es necesario

un estudio dendrocronológico y ecológico completo que justifique completamente este planteamiento.

Análisis de conos

El análisis de conos mostró que las condiciones ambientales en los dos sitios, probablemente debidas a las actividades que se realizan en ellos, han tenido un importante efecto en la producción y calidad de sus semillas. El Potencial de Producción de Semillas registrado en los dos rodales fue similar a lo que se ha demostrado para otras especies mexicanas de pinos (Alba *et al.*, 2003a; Bustamante-García *et al.*, 2012; Morales-Velázquez *et al.*, 2010; Ramírez *et al.*, 2007; Vázquez, 2004; Márquez, 2007).

La eficiencia de semillas fue menor a lo señalado en todos los estudios consultados; incluso menor a *P. maximartinezii*, una especie piñonera que es considerada en grave peligro de extinción, con poblaciones pequeñas y declinantes (Cruz, 2012). Bramlett *et al.* (1977) en su libro fundamental sobre el análisis de conos menciona que porcentajes de eficiencia de semillas menores al 50% indican problemas de endogamia y posible ataque de insectos que se alimentan de las semillas durante su desarrollo.

Por su parte Cruz (2007), en su estudio sobre los bosques de *Pinus patula* en Oaxaca, encontró una eficiencia de semillas mínima de 46 y de hasta 56, por lo que ambos sitios del presente estudio se encuentran por debajo de lo reportado.

Por otro lado, es muy claro que existió variación entre los sitios, de modo que la mejor calidad de los conos en términos de mayor volumen, mayor número de semillas desarrolladas y mayor eficiencia de semillas se encontró en el rodal sin aprovechamiento, por tal, la fuente de germoplasma es de mejor calidad en esta área, mientras que el rodal con aprovechamiento presentó severos problemas en la producción de semillas pues más del 60% corresponden a semillas abortadas, y una eficiencia promedio de tan solo 26.52%.

La variación en la cantidad y calidad de la producción de conos y semillas entre poblaciones y entre individuos se ha reportado con frecuencia, pues se ha visto que tanto los árboles de una misma población como entre poblaciones producen diferentes cantidades de conos con dimensiones distintas y contenido de semillas variable (Bustamante-García *et al.*, 2012; Cruz, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2012; Hernández, 2006; Iglesias *et al.*, 2012; Márquez, 2007; Mendizábal-Hernández *et al.*, 2010; Morales-Velázquez *et al.*, 2010; Vázquez, 2004; Viveros-Viveros *et al.*, 2013). Es por ello que a pesar de las diferencias encontradas, éstas no pueden atribuirse totalmente a las prácticas de manejo.

Por el contrario se ha atribuido a diferentes causas la variación en la producción de semillas. Por ejemplo, Márquez (2007) en su estudio sobre *P. oaxacana* comenta que la variación en el tiempo se atribuye a los años semilleros que experimenta la especie, en los que, en un año se presenta una gran producción de semillas seguido de con un periodo de varios años con baja productividad. Otros autores (Bustamante-García *et al.*, 2012; Gutiérrez *et al.*, 2012; Iglesias *et al.*, 2012; Viveros-Viveros *et al.*, 2013) explican que la variación es controlada tanto por factores intrínsecos como la escasez y mala calidad del polen y regulación genética, como por factores ambientales como la precipitación, temperatura, altitud y la remoción de semillas por insectos. Para *P. patula*, Cruz (2007) atribuye entre lo ya mencionado, a las diferencias en la estructura de la masa de los bosques de *P. patula*, pues en su trabajo se compararon áreas con tratamiento silvícola y una zona considerada bosque natural, de modo que la menor producción se observó en el bosque natural lo que adjudicó a que en las zonas silvícolas el tratamiento elimina árboles y permite una mejor distribución del polen además de que se promueve la eliminación y control de plagas.

La baja eficiencia en la reproducción encontrada en el presente estudio también se puede atribuir a la deficiencia en la disponibilidad y calidad del polen ya que se encontró un elevado número de semillas abortadas producto de una alta tasa de autopolinización y, a la falta de árboles reproductores, pues durante la recolección se encontraron muy pocos árboles productores de conos y como revela la estructura del estrato arbóreo a pesar de contar con árboles de gran

altura, la estructura diamétrica muestra que la mayoría no supera los 33 cm y es posible que no sean totalmente maduros o ésta aun sea insuficiente por lo que la producción de polen puede ser baja. Algunos estudios sobre los pinos de Europa y Norteamérica apoyan esta hipótesis pues se menciona que la estructura del bosque tiene un efecto muy importante en la disponibilidad del polen de manera que ni masas muy densas ni muy reducidas permiten una eficiente polinización, además, se estima que el área basal está relacionada con una mejor calidad en las semillas, de modo que la abundancia de individuos reproductivos es fundamental. (Ayari y Larbi, 2014; Greene *et al.*, 1999; Pardos *et al.*, 2005).

Además es probable que la maduración de los conos no haya sido sincrónica, pues este pino madura sus conos de manera gradual conforme la estación seca se aproxima y la humedad de ambiente disminuye (CONAFOR, 2010a; Gillespie, 1992; Martínez; 1992; Valera y Kageyaman, 1991, Vela 1980), por tal es posible que algunos conos y sus semillas al momento de colectarlos no estuvieran completamente maduros.

Germinación

De acuerdo a los resultados obtenidos, al igual que en la producción de conos y semillas el rodal sin aprovechamiento presentó una capacidad germinativa estadísticamente superior respecto al rodal con aprovechamiento.

Como se ha indicado antes, la estructura de la masa es muy importante para la producción de conos ya que generalmente los árboles más grandes y maduros son los que producen la mayor cantidad de polen, indispensable para una correcta polinización y producción de semillas fértiles (Ayari y Larbi, 2014; Greene *et al.*, 1999; Pardos *et al.*, 2005). Asimismo, diversos estudios apuntan que la humedad es fundamental durante la producción de semillas por lo que el número de semillas fértiles estará directamente influenciado por este factor (Ayari y Larbi, 2014; Cain y Shelton, 2000; Pardos *et al.*, 2005).

Desde otro punto de vista, la capacidad germinativa en los pinos presenta una vasta variabilidad. Diferentes autores han señalado un amplio espectro de la capacidad germinativa en diferentes especies mexicanas tanto dentro de una

misma población como entre poblaciones de la misma especie. Martínez (1998) encontró valores desde 40% hasta 80% de germinación para *Pinus chiapensis* de semillas provenientes de diferentes poblaciones. Otra especie que presenta gran variabilidad en su capacidad germinativa es *P. hartwegii*, Ortega y colaboradores (2003) en su estudio de la capacidad germinativa a lo largo de su área de distribución encontraron un amplio espectro desde el 33% hasta cerca del 98%.

Por otro lado, la capacidad germinativa expuesta en esta investigación es similar a lo encontrado por otros autores para varias especies mexicanas de pino (Alba *et al.*, 2003b; Aparicio *et al.*, 1999; Gómez *et al.*, 2010; López, 2010; Millán, 2008; Ramírez *et al.*, 2001; Villagómez, 1987). Cabe señalar que en el presente estudio no se aplicó ningún tipo de tratamiento a las semillas en comparación con muchos de estos estudios en los que se buscó aumentar la germinación, por lo que la capacidad germinativa de *P. patula* en los dos sitios es conveniente.

Si bien la capacidad germinativa fue diferente, la calidad germinativa es muy similar en los dos sitios, pues el tiempo medio de germinación fue prácticamente el mismo del orden de 6.6 días y una desviación de 2.23 y 2.72 días, el cual se considera como bueno ya que es menor a lo observado en otras especies mexicanas (Alba *et al.*, 2003b; Aparicio *et al.*, 1999; Flores, 2013; Martínez, 1998; Villagomez, 1987) y similar a *P. hartwegii*, *P. cembroides* y *P. leiophylla* (Gómez *et al.*, 2010; López, 2010; Ortega *et al.*, 2003).

Ante todo lo anterior, a pesar de que los estadísticos indican que el rodal con aprovechamiento presentó una menor calidad en la producción y en la emergencia de plántulas respecto al rodal sin aprovechamiento, al comparar los resultados con otras especies ambos sitios representan sitios idóneos como fuente de germoplasma.

Sobrevivencia y crecimiento

Después de los seis meses de monitoreo la sobrevivencia promedio en los dos sitios fue de 43.7%. Se ha visto que las diferentes especies del género *Pinus* presentan tasas de sobrevivencia variables y el valor encontrado en este trabajo es menor a lo señalado en trabajos similares (Castillo-Argüero *et al.*, 2014; Gutiérrez, 2011; Sigala *et al.*, 2015), pero mayor a lo encontrado en un estudio para *P. hartwegii* y *P. patula* (Castillo, 2013; Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2009).

Algunos autores comentan que la sobrevivencia disminuye gradualmente durante los primeros meses, para después estar en función de la estacionalidad con bajas en la temporada seca del año. (Bello *et al.*, 2014; Castillo, 2013; Sigala *et al.*, 2015) En este estudio la mayor mortalidad se registró durante los primeros meses y durante la época lluviosa, de modo que no se descarta que el efecto del trasplante o el cambio en las condiciones ambientales, hayan provocado tal deceso.

La sobrevivencia final entre los sitios mostró diferencias estadísticamente significativas. Tales diferencias se atribuyen a diferentes factores. Si bien la composición y dominancia de especies en cada sitio fue francamente la misma, la estructura de ambos presentó algunas disimilitudes. En el rodal con aprovechamiento existió una menor cobertura del dosel con una diferencia de más de 1500 m² entre los sitios. También en el rodal sin aprovechamiento la cantidad de árboles más altos y de mayor cobertura fue más numerosa. Esta condición permite pensar que en el rodal con aprovechamiento existieron condiciones más propicias para la sobrevivencia de *P. patula*, pues gracias a un dosel más abierto la cantidad de luz que ingresa hasta el piso del bosque es mayor y como se ha mencionado antes ésta es una especie heliófila. Además dado que en este sitio se realizan actividades de obtención de leña, constantemente se eliminan árboles y se abren claros en el bosque lo que permite una mayor incidencia de luz.

Entre los factores más importantes para el éxito de las plántulas de pino se encuentran la capacidad que tenga el medio de crecimiento para aportar agua y la

cantidad de luz que las plántulas necesitan (Pardos *et al.*, 2005). Entre los principales factores que determinan la cantidad de luz que llega a las plántulas están la composición del dosel, la estructura por edades de las especies dominantes, la profundidad de la copa y la persistencia y densidad del follaje, entre otras; mientras que la disponibilidad del agua estará en función de la precipitación, de la capacidad del suelo de retener así como del sistema radicular de la planta (Galindo, 2013).

En un estudio sobre *P. pseudostrobus* se comenta que sitios con disminución del dosel permiten una mayor sobrevivencia respecto a aquellos sin cualquier clase de reducción (Bello *et al.*, 2014). Resultados similares obtuvo Martínez (1998) para *P. chiapensis* y Castillo-Argüero *et al.* (2014) para *Abies religiosa*. Galindo (2013) en su estudio muestra que las especies del género *Pinus* tiene una mayor sobrevivencia en sitios con mayor iluminación y presentan mayor resistencia a la sequía en comparación con las especies del género *Quercus*.

Por su parte, para *P. patula* se ha reportado que es una especie pionera muy invasiva que alcanza densidades de hasta 7,400 plantas por hectárea en sitios desprovistos de vegetación y una alta capacidad para establecerse después de un disturbio (Castelán-Lorenzo y Arteaga-Martínez, 2009; Vela, 1980). Castillo (2013) indica que necesita de claros para su sobrevivencia pues es muy sensible a la sombra; además estudios en Sudáfrica indican que soporta muy bien la baja disponibilidad de agua y se recupera después de un estrés hídrico severo (Rolando *et al.*, 2011), por tal es posible que la baja sobrevivencia en el rodal sin aprovechamiento sea resultado del efecto de la sombra.

Si bien en este trabajo se apunta a que las poblaciones de *P. patula* del parque son naturales, no se descarta la idea de que se haya naturalizada tras varias reforestaciones mucho tiempo atrás, gracias a su alta capacidad invasora y a la posible deficiencia en la disponibilidad de polen. Se tendrán que realizar un estudio en la totalidad de la zona para confirmarse este argumento.

En relación a la cobertura de herbáceas, ésta fue mayor en el rodal sin aprovechamiento en comparación con el sitio con aprovechamiento. Los estudios

discrepan mucho respecto al efecto que tiene la vegetación del sotobosque en la sobrevivencia y desarrollo de las especies de *Pinus*; algunos autores comentan que la eliminación de ésta tiene un efecto positivo en la sobrevivencia (Bello *et al.*, 2014). En varios trabajos se observa que *P. hartwegii* presenta una mayor sobrevivencia cerca de alguna herbácea o arbusto pequeño, aunque este efecto se atribuye a que hierbas y arbustos funcionan como protectoras contra las severas condiciones climáticas a las que se enfrenta *P. hartwegii* (Castillo-Argüero *et al.*, 2014; Gutiérrez, 2011; Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo. 2009).

En comparación, Pérez y Rodríguez (2003) comentan que la eliminación de la vegetación no tiene efecto en la sobrevivencia de *P. patula* pero si en su crecimiento. Es posible que el efecto de la vegetación del sotobosque dependa de la especie y su hábitat. Será necesario explorar en otros diseños la relación entre la cobertura de herbáceas y el crecimiento y sobrevivencia de *Pinus patula*.

Otro punto destacable sobre la sobrevivencia de las plántulas es lo observado en varios muestreos. Durante las visitas a los rodales de estudio se encontraron cuadrantes en los que casi todas las plántulas desaparecieron de un mes a otro, además, durante casi todos los muestreos se necesitó remover la hojarasca para poder medir las plántulas. La pendiente en los dos sitios fue considerable, de 45° en el rodal con aprovechamiento y 55° en el rodal sin aprovechamiento, por tal se cree que el grado de inclinación fue la causa de este fenómeno, pues en los dos rodales se observaron, durante la época de lluvias, marcas en el suelo del curso de escurrimientos procedentes de las partes altas y los cuales arrastraban consigo a la hojarasca e incluso a plántulas eliminándolas de ciertos cuadrantes. El único estudio encontrado sobre el efecto negativo de la pendiente sobre la sobrevivencia de *Pinus* fue el realizado por Sigala *et al.* (2015) quienes comentan que pendientes entre 45° y 60° disminuyó mucho la sobrevivencia.

En relación al crecimiento, en general se considera lento en los dos sitios y la ganancia total no mostró diferencias significativas en ninguna variable. No obstante, en el rodal con aprovechamiento la Tasa de Crecimiento Relativo fue

ligeramente superior en todas las variables, aunque ésta no fue significativa. Campos (2004) registra para *P. teocote* que el crecimiento durante los primeros tres meses después de la emergencia, es lento y éste aumenta gradualmente. Castelán-Lorenzo y Artraga-Martínez (2009) encontraron resultados similares para *P. patula* e indican que durante los primeros años el crecimiento es lento para esta especie y éste aumenta gradualmente. Los valores encontrados en este estudio son menores a los reportados por varios autores (Bello *et al.*, 2014; Campos, 2004; Gutiérrez, 2011).

Durante los tres primeros meses después de la germinación, las plántulas presentaron un crecimiento obteniéndose en vivero individuos que sobrepasan los 10 cm de altura y hasta 6 cm de cobertura (medidas iniciales, ver cuadro 8), de modo que las condiciones ambientales de vivero proporcionaron la cantidad de luz y humedad necesaria para alcanzar tales tallas en un periodo de tiempo corto. Por su parte, después de los seis meses de evaluación en los rodales las plántulas en ambos sitios crecieron lentamente. Es muy probable que los cambios ambientales entre las condiciones de vivero y la sombra que dominan en los rodales de estudio no hayan favorecido el crecimiento de las plántulas. Por otro lado, las diferencias encontradas entre la talla inicial de las plántulas, podría estar relacionado con la madurez de los conos. Como ya se ha mencionado, es probable que los conos procedentes del rodal con aprovechamiento no estuvieran completamente maduros y por tanto las semillas y las plántulas que emergen de ellas tendrán menor vigor y talla, en relación a una semilla completamente desarrollada (Romero-Rangel, coment. person.).

Finalmente, de los estudios consultados (Bello *et al.*, 2014; Campos, 2004; Castillo, 2013; Galindo, 2013; Gutiérrez, 2011; Martínez, 1998), en todos se concluye que, en general, los sitios abiertos desprovistos de ciertos niveles de vegetación representan mejores sitios para el crecimiento de los pinos ya que presentan mayor crecimiento en altura, cobertura y diámetro, mientras que en sitios cerrados o con vegetación densa el crecimiento se ve estancado. Galindo (2013) menciona que el efecto de la sombra y la humedad en el crecimiento y establecimiento de algunas especies mexicanas del género *Pinus* y *Quercus*

presentan un comportamiento contrario. Para los pinos se puntualiza que son bastante intolerantes a la sombra y su crecimiento es menor en esta condición, mientras que bajo condiciones bien iluminadas presentan un mayor crecimiento, además de que no se ven muy afectados por moderados niveles de sequía. De este modo es muy probable que el lento crecimiento en ambos sitios sea resultado de las condiciones de sombra.

Recomendaciones sobre el manejo forestal del parque

Para el uso doméstico de madera, se recomienda realizar la cosecha de manera planificada de forma que, si en una zona se extrae madera de árboles de grandes dimensiones se permita el “descanso” de este sitio y la extracción de traslade a una zona más lejana. De esta forma no se pierde un gran número de árboles maduros en la misma zona, ya que son fuente de semillas para la reforestación y se mantiene la estructura natural del bosque.

En la medida de lo posible, no sobreexplotar el aprovechamiento de una sola especie (encinos o pinos) ya que abusar de cualquiera de las dos especies puede alterar la dinámica y estructura del bosque. Se recomienda aprovechar en igual cantidad ambos grupos y fomentar la reforestación con plántulas de ambos pues se observó que el grueso del material a reforestar consiste de pinos.

Por otro lado, se recomienda recolectar semillas de todas las especies forestales y producir plántulas para contar con las especies propias del bosque en las campañas de reforestación. En caso de contar con los recursos necesarios, establecer un vivero local.

Rechazar totalmente la reforestación con individuos de cedro (*Cupressus lusitanica*) ya que no es una especie propia de la zona y se conoce muy bien que altera las condiciones del bosque.

En aquellas zonas con presencia de cedro, y en general en zonas que se vayan a reforestar, se recomienda abrir claros y realizar la plantación de pinos para que una vez que se hayan establecido, se reintroduzcan plantas de encino que crecen mejor bajo la sombra de los pinos; así como algunos pocos individuos de las especies menos abundantes.

Se recomienda rotar las actividades de pastoreo en diversas zonas, así como mantener zonas libres del paso de turistas, ya que estas actividades provocan la eliminación por completo de hierbas y pastos, además de impedir su crecimiento. Las hierbas son importantes elementos dentro del parque que ayudan a mantener procesos ecológicos, además de brindar alimento para animales y aumentar la belleza escénica del parque.

CONCLUSIONES

Este estudio mostró que el grado de manejo parece no afectar la composición del estrato arbóreo y logran mantener una estructura consistente, sin embargo, sí afecta los estratos herbáceos y arbustivos, esto se puede deber a las prácticas de pastoreo, abertura de caminos y a eliminación en general de estos estratos. Por tal, es importante mantener áreas libres de estas actividades de forma que se permita el desarrollo de herbáceas y arbustos.

Por otro lado se demostró que la producción de semillas y la germinación es menor en el rodal con mayor grado de aprovechamiento lo que sugiere que la eliminación de árboles tiene un efecto negativo en el potencial reproductivo de *Pinus patula*. Se debe cuidar la forma en que se obtiene la madera cuidando de no talar árboles que sean fuente germoplasma y rotar las zonas de aprovechamiento.

Finalmente, se mostró que el crecimiento y la sobrevivencia de *Pinus patula* presenta dificultades en condiciones de sombra, por lo que es necesario el contaste monitoreo de las reforestaciones con el fin de que los árboles que se planten logren establecerse correctamente. Además, es necesario establecer zonas adecuadas para la reforestación y no sobreexplotar el aprovechamiento de una sola especie.

REFERENCIAS

- Aguilar, R. A. 2007. Estructura del bosque templado en la comunidad de Santa María Yavesía, en la sierra de Juárez, Oax., México. Tesis de Licenciatura. UNAM, Facultad de Ciencias. 88p.
- Aguirre-Calderón, O. A. 2015. Manejo forestal en el siglo XXI. *Madera y Bosques* 21: 17-28.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinosa-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O. A. y González-Tagle, M. A. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el parque ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo* 14 (2): 113-118.
- Alba, L. J., Aparicio R. A. y Márquez R. J. 2003a. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* lindl. de dos poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 25-28.
- Alba, L. J., Mendizábal, H. L. y Aparicio, R. A. 2003b. Estudio de germinación y plántulas de tres poblaciones de *Pinus oaxacana* Mirov de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 37-43.
- Alejano, M. R. 2003. La regeneración de pinares mediterráneos naturales con especial referencia a *Pinus nigra* ssp. *salzmanni*. En: Silva-Pando. 2003. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. 1ª edición, Sociedad Española de Ciencias Forestales. España. 77-87.
- Aparicio, R. A., Cruz, J. H. y Alba, L. J. 1999. Efecto de seis sustratos sobre la germinación de *Pinus patula* Sch. et Cham., *Pinus montezumae* Lamb. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. en condiciones de vivero. *Foresta Veracruzana* 1 (2): 31-34.
- Ayaria, A. y Larbi, K. M. 2014. Ecophysiological variables influencing Aleppo pine seed and cone production: A review. *Tree Physiology* 34: 426-437.
- Barnes, B. V., Zak, D. R., Denton, S. R., Spurr, S. H. 1998. Forest Ecology. 4ª edición, Editorial John Wiley & Sons, Inc. Estados Unidos. 94-97, 108-115, 444-457.

- Bello, G. M. A., Segura, W. G., Tinoco E. M. E., Nieves L. C. M. B. y Salgado G. R. 2014. Regeneración inducida de *Pinus pseudostrobus* Lindl., bajo diferentes densidades del dosel y preparación de sitio. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (29): 74-91.
- Bonner, T. F. y Karrfalt, P. R. (eds.) 2008. The woody plant seed manual. United States Department of Agriculture Forest Service. Capítulo *Pinus*: 809-847.
- Bramlett D.L., Belcher Jr. E.W., Debarr G. L., Hertel G.D., Karrfalt R.P., Lantz C.W., Miller T., Ware K.D. y YATES H. O. 1977. Cone analysis of southern pines. A guidebook. USDA. Forest Service. General Technical Report SE 13 Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, North Carolina and Southeastern Area, State and Private Forestry, Atlanta Georgia. USDA 28 p.
- Bustamante-García, V., Prieto-Ruíz, J. A., Merlín-Bermúdez, E., Álvarez-Zagoya, R., Carrillo-Parra, A. y Hernández-Díaz, J. C. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. *Madera y Bosques* 18 (3): 7-21.
- Cain, D. M. y Shelton, G. M. 2000. Revisiting the relationship between common weather variables and loblolly-shortleaf pine seed crops in the natural stands. *New Forests* 19: 187-204.
- Camacho M. F. y Morales, V. G. 1992. Métodos para el análisis del efecto de tratamientos sobre la germinación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Campo experimental Coyoacán. 282-290
- Campos, R. R. T. 2004. Regeneración de *Pinus teocote* (Schiede & Deppe ex Schlechtendal & Chamiso) en el Ajusco Medio, D. F. Tesis de Licenciatura, UNAM, Facultad de Ciencias. 79p.
- Castelán-Lorenzo, M. y Arteaga-Martínez, B. 2008. Establecimiento de regeneración de *Pinus patula* Schl. et Cham., en cortas bajo el método de árboles padres. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 49-57

- Castellanos-Bolaños, J. F., Treviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J., Musalem-Santiago, M. y López-Aguillón, R. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. *Madera y Bosques* 14 (2): 51-63.
- Castellanos-Bolaños, J. F., Trviño-Garza, E. J., Aguirre-Calderón, O. A., Jiménez-Pérez, J. y Velázquez-Martínez, A. 2010. Diversidad arbórea y estructura espacial de bosques de Pino-Encino en Ixtlán de Juárez, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1 (2): 39-52.
- Castillo, A. O. 2013. Lluvia de semillas y emergencia de plántulas de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. en Zacualtipán, Hidalgo. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. 56p.
- Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y. y Barajas-Guzmán, G. 2014. Establecimiento de tres especies arbóreas en la cuenca del Río Magdalena, México. *Botanical Sciences* 92 (2): 309-317.
- Céspedes-Flores, S. E. y Moreno-Sánchez, E. 2010. Estimación del valor de la pérdida de recurso forestal y su relación con la reforestación en las entidades federativas de México. *Investigación ambiental* 2 (2): 5-13.
- CETENAL. 1975. Carta Geológica. E-14-A-28 (Villa del Carbón). Escala 1: 50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México, D.F.
- CETENAL. 1976a. Carta Edafología. E-14-A-28 (Villa del Carbón). Escala 1: 50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México, D.F.
- CETENAL. 1976b. Carta uso del suelo. E-14-A-28 (Villa del Carbón). Escala 1: 50,000. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. México, D.F.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasado presente y futuro. 1ª edición, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Capítulo 10. La zona ecológica templada subhúmeda (bosque de pino y encino). 519-615.

- Challenger, A. 2003. Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En: Sánchez, O., Vega, E., Peters, E. y Monroy-Vilchis O. (eds). 2003. Conservación de ecosistemas templados de montaña en México. 1ª edición, Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 315pp.
- Challenger, A. y Dirzo, R. 2009. Factores de cambio y estado de la biodiversidad. En: Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 37-73.
- Challenger, A. y Soberón, J. 2008. Los ecosistemas terrestres. En: Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 87-108.
- Chao, A., Chazdon, R. L., Colwell, R. K. y Shen, Tsung-Jen, S. 2006. Abundance-Based Similarity Indices and Their Estimation When There Are Unseen Species in Samples. *Biometrics* 62: 361-371.
- CONAFOR. 2010a. Manual básico de prácticas de reforestación. 1ª edición, Comisión Nacional Forestal. México. 64pp.
- CONAFOR. 2010c. Visión de México sobre REDD+. Hacia una estrategia nacional. 1ª edición, Comisión Nacional Forestal. México. 54pp.
- CONAFOR. 2012. Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Informe 2004-2009. 1ª edición, Comisión Nacional Forestal. México. 173pp.
- CONAFOR. 2013. Bosques, cambio climático y REDD+ en México. Guía básica. 2ª edición, Comisión Nacional Forestal. México. 88pp.
- Corral, R. J. J., Aguirre, C. O. A., Jiménez, P. J. y Corral, R. S. 2005. Un análisis del efecto del aprovechamiento forestal sobre la diversidad estructural en el bosque mesófilo de montaña <<El Cielo>>, Tamaulipas, México. *Investigación Agraria: Sistema de Recursos Forestales* 14 (2): 217-228.

- Cruz, H. A. 2012. Producción de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Juchipila, Zacatecas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 48p.
- Cruz, J. H. 2007. Análisis de conos de tres fuentes productoras de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Instituto de Genética Forestal. 90p.
- Earle, A. 2015. *Pinus patula* (pino patula) description – The Gymnosperm Database [online] Conifers.org. Recuperado el 14 de Febrero 2016: http://www.conifers.org/pi/Pinus_patula.php
- Encina-Domínguez, J. A., Encina-Domínguez, F. J., Mata-Rocha, E. y Valdes-Reyna, J. 2008. Aspectos estructurales, composición florística y caracterización ecológica del bosque de Oyamel de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 83: 13-24.
- Farjon, A. 2013. *Pinus patula*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T42389A2977049. Recuperado el 14 de Febrero del 2016. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T42389A2977049>.
- Flores, M. E. 2013. Comportamiento germinativo y crecimiento en vivero de *Pinus maximartinezii* Rzedowski (Pinaceae). Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. 75p.
- Galindo, J. L. 2013. Dinámica de los bosques neotropicales de *Pinus-Quercus*: importancia de la luz y el agua en el desempeño de plántulas y juveniles de especies arbóreas. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. España. 117p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª edición, Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México. México. 90pp.
- Gernandt, D. S. y Pérez-de la Rosa, J. A. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: S126-S133.

- Gillespie, A. J. R. 1992. *Pinus patula* Schiede and Deppe. Patula pine. Pinaceae. Pine family. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Institute of Tropical Forestry; . 5 p. (SO-ITF-SM; 54).
- Gobierno del Estado de México-SEANPEM. 2015. Parque Estatal Zempoala-La Bufa. Gobierno del Estado de México-Sistema Estatal de Áreas Naturales Protegidas del Estado de México. Recuperado el 17/Febrero/2016. http://areasnaturales.edomex.gob.mx/zempoala_bufa
- Gómez, J. D. M., Ramírez, H. C., Jasso, M. J. y López, U. J. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. & Cham. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33 (4): 297-304.
- González-Tagle, M. A., Schwendenmann, L., Jiménez, P. J. y Schulz, R. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pine-oak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management* 256: 161-167.
- Greene, D.F., Zasada, J.C., Sirois, L., Kneeshaw, D., Morin, H. Charron, I. y Simard, M. J. 1999. A review of the regeneration dynamics of North American boreal forest tree species. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 824-839.
- Gutiérrez, U. M. 2011. Establecimiento y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl., en una zona perturbada de la cuenca alta del río Magdalena. Tesis de Licenciatura. UNAM, Facultad de Ciencias. 55p.
- Gutiérrez, V. B. N., Gómez, C. M., Gutiérrez, V. M. H. y Mallén, R. C. 2012. Variación fenotípica de poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (19): 46-61.
- Hernández, S. P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 38p.
- Hernández-Salas, J., Aguirre-Calderón, O. A., Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Treviño-Garza, E. J., González-Tagle, M. A., Luján-Álvarez, C.,

- Olivas-García, J. M., Domínguez-Pereda, L. A. 2013. Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19 (2): 189-199.
- Hutcheson, K. 1970. A test for Comparing Diversities Based on the Shannon Formula. *Journal of theoretical biology* 29: 151-154.
- Iglesias, L. G., Solís-Ramos, L. Y. y Viveros-Viveros, H. 2012. Variación morfométrica en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* lindl. del estado de Veracruz. *ΦYTON* 81: 239-246.
- INAFED-SEGOB. 2010. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. México. Municipio Villa del Carbón. Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal-Secretaría de Gobernación. Recuperado el 17/Febrero/2016.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/index.html>.
- INEGI. 2009a. Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y vegetación: Escala 1:2500 000: Serie III/ Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. 74pp.
- INEGI. 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Villa del Carbón, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 9p.
- Jardel, P. E. J. 2012. El manejo forestal en México: Estado actual y perspectivas. En: Chapela, F. (Coord.) 2012. Estado de los bosques de México. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible A.C. México. 69-115.
- Juárez, G. D. 2012. Dendrocronología de *Quercus laurina* (Fagaceae) en Chapa de Mota, Estado de México. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. 66p.
- Juárez-Sánchez, M., Domínguez-Calleros, P. A. y Návar-Chaidez, J. 2014. Análisis de la estructura silvícola en bosques de la sierra de San Carlos, Tamaulipas, México. *Foresta Veracruzana* 16 (1): 25-34.

- López, S. M. Y. 2010. Tratamiento pregerminativos en semillas de *Pinus cembroides*. Tesis de licenciatura. UNAM, FES Cuautitlán. 65p.
- Madrid, R. L. 2011. Los pagos por servicios ambientales hidrológicos: Más allá de la conservación pasiva de los bosques. Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. México. 11p.
- Magurran, A. E. 2004. Measuring Biological Diversity. 1a edición, Blackwell Publishing. Reino Unido. 256 pp.
- Magurran, A. E. y McGill, B. J. 2013. Biological Diversity Frontiers in Measurement and Assessment. 1a edición, Oxford University Press. Estados Unidos. 276 pp.
- Márquez, R. J. 2007. Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de *Pinus oaxacana* Mirov. Tesis Doctoral. Universidad Veracruzana, Instituto de Genética Forestal. México. 99p.
- Martínez, C. N. 1998. Atributos poblacionales y reproductivos de *Pinus chiapensis* en Chiapas, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica* 69 (2): 119-134
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. 3ª edición, Ediciones Botas. México. 361pp.
- Martínez, O. A. S. y Velásquez, G. B. 2002. El aprovechamiento forestal como una alternativa de desarrollo rural: comunidad agraria de San Jerónimo Zacapexco, Villa del Carbón Mex. Tesis de Licenciatura. UNAM, ENEP Aragón 123p.
- Mendizábal-Hernández, L. del C., Alba-Landa, J., Márquez, R. J., Ramírez-García, E. O. y Cruz-Jiménez, H. 2010. Potencial de producción y eficiencia de semillas de dos cosechas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. *Forestal Veracruzana* 12 (2): 21-26.
- Montiel, O. D. y Zamudio, V. I. 2007. Caracterización de una plantación de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham.) en el municipio de Tezuitlán, estado de

- Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo, División de Ciencias Forestales. 63p.
- Morales-Velázquez, M. G., Ramírez-Mandujano, C. A., Delgado-Valerio, P. y López-Upton, J. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltld. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 1 (2): 31-38.
- Moreno, D. M. 2014. Diagnóstico ambiental del parque ecoturístico Presa El Llano, Villa del Carbón, Edo. de México. Tesis de Licenciatura. UNAM, FES Iztacala. 115p.
- Návar-Cháidez, J. de J. y González-Elizondo, S. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27: 71-87.
- Ortega, M. A., Mendizábal, H. L., Alba, L. J. y Aparicio, R. A. 2003. Germinación y crecimiento inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. de siete poblaciones del estado de México. *Foresta Veracruzana* 5 (2): 29-34.
- Pardos, M., Ruiz, del C. J., Cañellas, I. y Montero, G. 2005. Ecophysiology of natural regeneration of forest stands in Spain. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 14 (3): 434-445.
- Pérez, S. G. y Rodríguez, T. D. A. 2003. Efecto de la calidad de planta en la supervivencia y crecimiento de *Pinus patula* en un área quemada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 9 (1): 34-43.
- Pineda-López, M. del R., Ortega-Solis, R., Sánchez-Velásquez, L. R., Ortiz-Ceballos, G., Vázquez-Domínguez, G. 2013. Estructura poblacional de *Abies religiosa* (Kunth) Schltld. et Cham., en el ejido El Conejo del Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 19 (3): 375-385.
- Quintana, P. F. y González, M. 1993. Afinidad fitogeográfica y papel sucesional de la flora leñosa de los bosques de pino-encino de los Altos de Chiapas, México. *Acta Botánica Mexicana* 21: 43-57.

- Ramírez, G. E. O., Márquez, R. J y Hernández, C. O. 2007. Estudio de conos de *Pinus greggii* Engelm. de una plantación en el municipio de Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana* 9 (2): 39-44.
- Ramírez-Contreras, A. y Rodríguez-Trejo, D. A. 2009. Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente* 15 (1): 43-48.
- Rodríguez, A. O. A. 2012. Mamíferos medianos del parque Presa el Llano, en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México. Tesis de Licenciatura, UNAM, FES Iztacala. 68p.
- Rodríguez-Miranda, L. A. 2012. Herpetofauna del parque Presa el Llano, en el municipio de Villa del Carbón, Estado de México. Tesis de Licenciatura UNAM, FES Iztacala. 87p.
- Rolando, C. A., Pammenter, N. W. y Little, K. M. 2011. Critical wáter stress levels in *Pinus patula* seedlings and their relation to measures of seedlings morphology. *Southern Forests: a Journal of Forest Science* 73 (1): 41-49.
- Romero, R. S., Rojas, Z. E. C. y Aguilar, E. M. de L. 2002. El género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89 (4): 551-593
- Rubio-Licon, L. E., Romero-Rangel, S. y Rojas-Zenteno, E. C. 2011. Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17 (1): 77-90.
- Rzedowski, G. C. y Rzedowski, J. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. 2a. edición, Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 1406 pp.
- Rzedowski, J. 1991a. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mexicana* 19: 3-21.
- Rzedowski, J. 1991b. El endemismos en la flora fanerogámica de México: una apreciación analítica preliminar. *Acta Botánica Mexicana* 15: 47-64.

- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ª edición digital Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México 506 pp.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14 (1): 107-120.
- Santibañes, A. G. 2009. Composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del río Magdalena, México, D. F. Tesis de Maestría. UNAM, Facultad de Ciencias. 134p.
- SEMARNAT. 2006. La gestión ambiental en México. 1ª edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 337pp.
- SEMARNAT. 2013. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. 1ª edición. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 361pp.
- Sigala, R. J. A., González, T. M. A. y Prieto, R. J. A. 2015. Supervivencia en plantaciones de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en función del sistema de producción y preacondicionamiento en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 6 (30): 20-31.
- Valera, F. P. y Kageyaman, P. Y. 1991. *Pinus patula*, Schiede & Deppe. Seedleaflet No. 8A. - Danida Forest Seed Centre, Humlebæk, Denmark.
- Vázquez, C. O. C. 2004. Potencial de producción de semillas y variación de conos y semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en una población del estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana, Instituto de Genética Forestal. México. 39p.
- Vega, T. O. F. 2003. Emergencia de plántulas de *Pinus patula* Schl. et Cham. en relación con la densidad de siembra. Tesis de Licenciatura. UNAM, Facultad de Ciencias. 63p.

- Vela, G. L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schlecht et cham. Instituto de Investigaciones Forestales. Publicación especial no. 19. México. 109pp.
- Vibrans, H. (ed.) 2009. Malezas de México, Fecha de acceso 7/Abril/2015. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm>.
- Villagómez, A. Y. 1987. Germinación de semillas de *Pinus montezumae* Lamb. en diferentes temperaturas, sustratos y tratamientos de asepsia. *Revista Ciencias Forestales* 61 (12): 159-190.
- Viveros-Viveros, H., Caramillo-Luna, A. R., Sáenz-romero, C. y Aparicio-Rentería, A. 2013. Variación altitudinal en caracteres morfológicos de *Pinus patula* en el estado de Oaxaca (México) y su uso en la zonificación. *BOSQUE* 34 (2): 173-179.
- Willan, R. L. 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales: con especial referencia a los trópicos. [en línea] Roma: FAO. [Estudio FAO Montes 20/2] 502 p. ISBN 92-5-302291-4 [Consultado: 02/02/2016] Disponible en: <<http://www.fao.org/docrep/006/AD232S/ad232s00.htm>>.

APÉNDICES

Apéndice A. Fórmulas utilizadas para calcular estimadores de riqueza y diversidad biológica. Tomados de Magurran y McGill (2013) y Magurran, (2004); para la Prueba de hipótesis a la H_B de Shannon se tomó de Hutcheson (1970) y para Chao-Jaccard (J_{abd}) y Chao-Sørensen (L_{abd}) se tomaron de Chao y colaboradores (2006).

Descriptor	Fórmula
Número total de individuos (N)	$N = \sum_{i=1}^S n_i$ <p>Donde: n_i= número total de individuos de la i-ésima especie</p>
Riqueza (S)	$S = \text{número total de especies}$
Índice de Brillouin (H_B)	$H_B = \frac{\ln N! - \sum \ln n_i!}{N}$
Chao-Jaccard (J_{abd})	$J_{abd} = \frac{UV}{U + V - UV}$ <p>Donde: U=Abundancia relativa total de las especies compartidas en el ensamble 1 V=Abundancia relativa total de las especies compartidas en el ensamble 2</p>
Jaccard (I_j)	$I_j = \frac{a}{a + b + c}$ <p>Donde: a=número de especies compartidas b=número de especies en el ensamble 1 c=número de especies en el ensamble 2</p>

Apéndice B. Fórmulas utilizadas para el análisis estructural de la comunidad arbórea. Tomados de Matteucci y Colma (1982) y Sculze y colaboradores (2005).

Estimador	Fórmula
Diámetro D	$D = \frac{PAP}{\pi}$
Área total (o cobertura total) AB	$AT = \left(\frac{C_1 + C_2}{4} \right)^2 \pi$ <p>Donde: C₁=Cobertura 1 del individuo C₂=Cobertura 2 del individuo</p>
Índice de Valor de Importancia (IVI)	<p><i>IVI = Abundancia Relativa + Dominancia relativa + Densidad relativa</i></p> <p>Donde:</p> $\text{Abundancia relativa} = \frac{\text{No. de individuos por especie}}{\text{No. de individuos total}} \times 100$ $\text{Dominancia relativa} = \frac{\text{AB total de todos los individuos de la especie}}{\text{AB total de todos los individuos}} \times 100$ <p>Donde:</p> $\text{Área Basal (AB)} = \frac{D^2}{4} \pi$ $\text{Densidad relativa} = \frac{\text{Densidad total de la especie}}{\text{Densidad total de todos los individuos}} \times 100$ <p>Donde:</p> $\text{Densidad } D = \frac{\text{No. total de individuos de la especie}}{\text{Área total muestreada}}$

APÉNDICE C. Formulas utilizada para el cálculo del Potencial de Producción de Semillas y la Eficiencia de Semillas de los conos. Tomado de Bramletty y colaboradores (1977).

Estimador	Fórmula
Potencial de Producción de Semillas	$PPS = 2X \text{ No. de escamas fértiles}$
Eficiencia de Semillas	$ES = \frac{\text{Total de semillas}}{PPS} \times 100$

APÉNDICE D. Fórmulas utilizadas para describir el comportamiento germinativo según lo propuesto por Camacho y Morales (1992).

Estimador	Fórmula
Capacidad Germinativa (CG)	$CG = \frac{\text{(Germinación acumulada hasta la última evaluación} \times \text{Total de semillas establecidas)}}{100}$
Tiempo Medio de Germinación (TMG)	$TMG = \frac{SPG}{SG}$
Desviación Típica del Tiempo Medio de Germinación (DTG)	$DTG = \sqrt{\frac{SCG - (SPG^2/SG)}{SG - 1}}$ <p>Donde:</p> $SCG = \left(\sum_{i=1}^e P_i^2 \right) G_i$ $P_i = \frac{[T_i - (T_i - 1)]}{2}$ $SPG = \sum_{i=1}^e P_i$ $SG = \sum_{i=0}^e G_i$ <p>SCG= Suma de los puntos medios cuadrados por germinaciones sencillas. ([P₁X P₁X G₁]+[P₂X P₂X G₂]...+ [P_eX P_eX G_e])</p> <p>SPG= Suma de los puntos medios por germinaciones sencillas. ([P₁X G₁]+[P₂X G₂]...+ [P_eX G_e])</p> <p>SG=Suma de las germinaciones sencillas.</p> <p>P_i= Punto medio entre dos evaluaciones.</p> <p>e= número total de evaluaciones realizadas.</p> <p>T_i= tiempo transcurrido desde el establecimiento hasta la evaluación numero i.</p> <p>G_i= germinación sencillas d la i-ésima evaluación</p>

APÉNDICE E. Fórmulas utilizadas para calcular la tasa de crecimiento relativo según lo propuesto por Harper (1977).

Estimador	Fórmula
Tasa Relativa de Crecimiento (<i>TRC</i>)	$TRC = \frac{(\text{Log}_e H_2 - \text{Log}_e H_1)}{t_2 - t_1}$ <p>Donde:</p> <p>H₂ y H₁ es la variable de crecimiento (diámetro, altura, cobertura) evaluada a diferentes tiempos (t₂ y t₁).</p>