



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

BIODIVERSIDAD ARBÓREA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DEL
PINO COLORADO (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham) EN SAN
GERÓNIMO ZACAPEXCO, VILLA DEL CARBÓN, ESTADO DE MÉXICO

OBDULIA SOTELO SIXTO

T E S I N A

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN CONSERVACIÓN Y MANEJO
SUSTENTABLE DE BOSQUES

MONTECILLO, TEXCOCO EDO. DE MÉXICO

2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

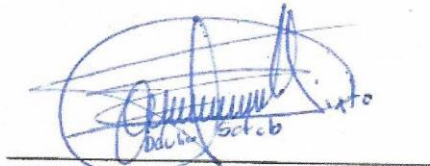
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Obdulia Sotelo Sixto,

Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Carlos Ramírez Herrera, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis


BIODIVERSIDAD ARBÓREA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DEL PINO COLORADO
(Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham) EN SAN GERÓNIMO ZACAPEXCO, VILLA DEL CARBÓN, ESTADO DE MÉXICO

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 31 de octubre de 2017



Firma del
Alumno (a)



Dr. Carlos Ramírez Herrera
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **BIODIVERSIDAD ARBÓREA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DEL PINO COLORADO (*Pinus patula* Schiede ex Schlttdl. et Cham) EN SAN GERÓNIMO ZACAPEXCO, VILLA DEL CARBÓN, ESTADO DE MÉXICO**, realizada por la alumna: Obdulia Sotelo Sixto, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRÍA TECNOLÓGICA EN CONSERVACIÓN Y MANEJO SUSTENTABLE DE BOSQUES


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



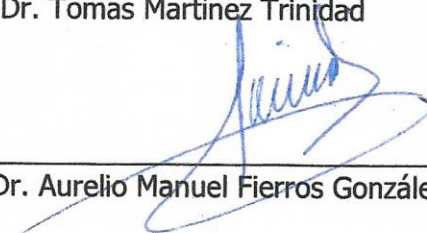
Dr. Carlos Ramírez Herrera

ASESOR



Dr. Tomas Martínez Trinidad

ASESOR



Dr. Aurelio Manuel Fierros González

ASESOR



Dr. Alejandro Velázquez Martínez

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, octubre 2017

**BIODIVERSIDAD ARBÓREA E INDICADORES REPRODUCTIVOS DEL PINO
COLORADO (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham) EN SAN GERÓNIMO
ZACAPEXCO, VILLA DEL CARBÓN, ESTADO DE MÉXICO**

Obdulia Sotelo Sixto, M.T.
Colegio de Postgraduados, 2017.

RESUMEN

Los árboles de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham que crecen en un rodal aislado en Villa del Carbón Estado de México pueden estar adaptados a condiciones ambientales muy particulares del Eje Neovolcánico. La semilla de árboles en este tipo de rodal puede ser recolectada para producir plantas para el establecimiento de plantaciones en regiones con ambientes similares por lo que los objetivos del presente estudio fueron: evaluar la biodiversidad arbórea del estrato dominante y estimar los indicadores reproductivos de *Pinus patula* en un rodal en Villa del Carbón Estado de México. Se establecieron ocho sitios de muestreo en donde se contó el número de árboles dominantes y se recolectaron conos de ocho árboles. Se midieron nueve variables en los conos y semillas. La densidad fue 75 árboles ha⁻¹, mientras que la densidad relativa de *Pinus patula* fue 63%. La riqueza fue cuatro especies arbóreas en el rodal y el índice de Shannon –Wiener fue 0.27. La altura promedio de árboles de *P. patula* fue 26.9 m mientras que la altura promedio fue 18.8 m para las otras especies en el rodal. El peso seco de cono fue 32.2 g con un potencial de semillas de 200 semillas por cono. El número de óvulos abortados fue 113 por cono, mientras que el número de semillas llenas fue 44 por cono. Los números de semillas vanas, abortadas y dañadas fueron 20, 22 y 1 por cono, respectivamente. El peso de semillas llenas fue 0.356 g por cono y el peso de mil semillas fue 8.3 g. El índice de endogamia fue 0.304 mientras que la eficiencia de semillas fue 22.5% y eficiencia reproductiva fue 11.83 mg g⁻¹. La biodiversidad y la densidad fueron

bajas en el rodal. Finalmente, los indicadores reproductivos fueron variables. Se encontró asociación entre la densidad arbórea dominante y semillas llenas, peso de semillas por cono y eficiencia reproductiva.

Palabras clave: *Pinus patula*, eficiencia de la semilla, eficiencia reproductiva, índice de endogamia, semilla llenas.

**TREE BIODIVERSITY AND REPRODUCTIVE INDICATORS OF RED PINE
(*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham) IN SAN GERÓNIMO ZACAPEXCO,
VILLA DEL CARBÓN, MÉXICO STATE**

Obdulia Sotelo Sixto, M.T.
Colegio de Postgraduados, 2017.

ABSTRACT

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham trees that grows in an isolated stand in Villa del Carbón in México state might be adapted to the Neovolcanic Axis particular environment. Seeds can be collected from this stand to produce plants for tree plantations in regions with similar environments so that the objectives in the present study were to evaluate tree biodiversity in the dominant canopy and estimate the reproductive indicators of *Pinus patula* in a stand in Villa del Carbón in Mexico State. Eight sampled plots were established and the number of dominate trees was counted in each plot. Cones were collected from eight trees, and nine variables were measured in cones and seeds. The density was 75 trees ha⁻¹ in the stand. The relative density of *Pinus patula* was 63%. The richness was four tree species in the stand. The Shannon- Wiener index was 0.27. The average height was 26.9 m for *P. patula* trees while the average height was 18.8 m for the other species in the stand. The cone weight was 32.2 g. The seed potential was 200 seeds per cone. The number of abortive ovules was 113 per cone while the number of filled seeds was 44 per cone. The numbers of empty seeds, abortive seeds and damaged seeds were 20, 22 and 1 per cone, respectively. The weight of filled seed was 0.356 g per cone while the weight of one thousand seeds was 8.3 g. The endogamy index was 0.304 while the seed efficiency was 22.5% and the reproductive efficiency was 11.83 mg g⁻¹. The biodiversity and density were low in the stand. The

reproductive indicators were variable finding association between tree density with filled seeds, weight of filled seeds per cone and the reproductive efficiency.

Key words: *Pinus patula*, seed efficiency, reproductive efficiency, endogamy index, filled seeds.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia el apoyo otorgado para cursar la maestría tecnológica, a la tolerancia brindada para la culminación de este proceso de mis niños, Pedro Quetzael, Nereida y Xiadani, ya que mi abandono de fines de semana durante un año fue difícil de superar.

También a mi ex jefe y gran ser humano, Ing. Alfredo Arciniega Mendoza, que me invitó a participar en este proyecto. Es un ejemplo a seguir en el ámbito laboral, quien me brindó la oportunidad de desarrollarme en la actividad forestal.

A mis padres Francisca Sixto y José Luis Sotelo, por haberme dado la vida y haber sembrado en mí las ganas de superarme.

A la Comisión Nacional Forestal y al Colegio de Postgraduados por brindarme el apoyo y las facilidades para la toma de los módulos necesarios para aprender sobre el manejo y la conservación de los recursos forestales.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera que ha dado luz para la elaboración y culminación de este proyecto, arriesgando incluso su vida e invirtiendo su tiempo para el logro de la difusión de la genética forestal.

A los Doctores Tomás Martínez Trinidad, Aurelio M. Fierros González y Alejandro Velázquez Martínez por la revisión y sugerencias para mejorar el presente documento.

A los Señores Manuel Barrera Sánchez y Raúl Eduardo López Lozano, trabajadores del Colegio de Postgraduados quienes apoyaron en la toma de datos de los conos y semillas.

A Mary C. Galicia López, Karla Ramírez Galicia y Mary C. Ramírez Galicia por el apoyo en la toma de datos.

Al Señor Ricardo González Martínez y comuneros de San Gerónimo Zacapexco, por las facilidades brindadas varios fines de semana para la colecta de conos en sus terrenos forestales.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi Madre Francisca Sixto Hernández, QEPD, por darme la oportunidad de vivir, por haberme brindado su apoyo cuando más lo necesite, por haberme defendido de las cosas malas del mundo y por inyectarme su valentía y coraje para salir adelante siempre y nunca rendirse.

A mis hijos Pedro Quetzael, Nereida y Xiadani por darme tantas alegrías y satisfacciones así como su cariño genuino. Los amo y deseo que sus planes de vida se cumplan.

Al Colegio de Postgraduados y sus profesores quienes son una institución de vanguardia en la investigación agropecuaria y forestal. Gracias a esta cada año generan personas y proyectos que brindan beneficios al agro mexicano.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DEDICATORIA	x
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Antecedentes	4
Importancia de Pinus patula	4
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Ubicación de un rodal de Pinus patula	8
Densidad y Biodiversidad	9
Indicadores reproductivos	9
Análisis estadísticos	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Densidad y biodiversidad	13
Indicadores reproductivos	16
CONCLUSIONES	29
LITERAURA CITADA	30

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Coordenadas geográfica de los árboles seleccionados de <i>Pinus patula</i> en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón.	10
Cuadro 2. Densidad e índice de Shannon - Wiener en ocho sitios de muestreo de 1 000 m ² en la población de <i>Pinus patula</i> en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.....	14
Cuadro 3. Significancia de 12 variables de conos y semillas de ocho árboles seleccionados en el área boscosa en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.	17
Cuadro 4. Características reproductivas de conos y semillas de <i>Pinus patula</i> en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Edo. de México.	19
Cuadro 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de biodiversidad e indicadores reproductivos.	20
Cuadro 6. Endogamia, eficiencia de semillas y eficiencia reproductiva de conos y semillas de <i>Pinus patula</i> en San Geronimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Árbol adulto de <i>Pinus patula</i> en un rodal en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón Estado de México.	6
Figura 2- Semillas y conos de <i>Pinus patula</i> en un rodal en San Gerónimo Zacapexco. Villa del Carbón.	7
Figura 3. Localización del rodal (imagen izquierda) y árboles (imagen derecha) de <i>Pinus patula</i> en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón.	8

INTRODUCCIÓN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham es una especie de importancia mundial que es endémica de México. Esta especie se distribuye en la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico, Sierra Norte y Sierra Madre del Sur a una altitud entre 1 490 y 3 100 m (Dvorak y Donahue 1992). En la actualidad se está plantado en diversas partes del mundo en los cinco continentes donde cubre una superficie de alrededor de un millón de hectáreas (Dvorak, 2002). El rápido crecimiento de los árboles es una de las razones principales para establecer plantaciones forestales con esta especie.

La demanda de semilla de especies forestales es alta para cubrir la superficie de plantaciones que se realizan anualmente. El gobierno mexicano tiene como meta producir aproximadamente 200 millones de plantas anualmente para cubrir el programa de reforestación (CONAFOR, 2017a). La densidad común de plantación es de 1 100 plantas por hectárea por lo que requiere al menos 200 millones de semillas para cubrir el área de plantación, si el 100% de la semilla germinara y todas las plantas sobrevivieran en el vivero. Por lo tanto, la demanda de semilla debe ser mucho mayor al número de plantas que se requieren para la reforestación.

Los niveles de supervivencia de la planta en los programas de reforestación fueron menores al 57% en años anteriores (CONAFOR, 2017b). Una de las causas puede ser el origen de las semillas diferente una la región en la cual serán plantadas y esta no se adapta a las condiciones ambientales. Por tal razón, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), promovió la promulgación de la norma mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016 donde se establecen los lineamientos para el uso y movimiento del germoplasma en la producción de planta para

reforestar en una región determinada (Secretaría de Economía, 2016). Lo anterior, contribuye a incrementar los porcentajes de éxito dentro de los programas de reforestación.

Una unidad productora de germoplasma de un rodal de *Pinus patula* en la comunidad de San Gerónimo Zacapexco puede ser una de las fuentes de germoplasma para suplir la demanda de planta dentro de la provincia fisiográfica Eje Neovolcánico. Esto podría incrementar el porcentaje de supervivencia de la planta que se utiliza en los programas de reforestación debido a que la semilla se obtendría de árboles adaptados a las condiciones ambientales locales. Además, la venta de semilla con características de adaptación al sitio a reforestar, puede ser una alternativa para elevar los ingresos de los habitantes de San Gerónimo Zacapexco. Por lo anterior se plantean los objetivos siguientes:

OBJETIVOS

1. Evaluar la biodiversidad arbórea del estrato dominante de un rodal con la presencia de *Pinus patula* en el Eje Neovolcánico en la comunidad de San Gerónimo Zacapexco.
2. Estimar los indicadores reproductivos de árboles de *Pinus patula* en un rodal en el Eje Neovolcánico en la propiedad de la comunidad de San Gerónimo Zacapexco.

HIPÓTESIS

1. Un número reducido de especies arbóreas crecen en asociación con *Pinus patula* debido a que los bosques en clima templado generalmente tienen una biodiversidad arbórea baja.
2. Los indicadores reproductivos varían entre árboles de *Pinus patula* como consecuencia de la asociación arbórea que se localiza alrededor de éstos.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

La comunidad de San Gerónimo Zacapexco Estado de México ha tenido la intención de establecer una Unidad Productora de Germoplasma Forestal desde el año 2010, ya que cuentan con bosques naturales de *Pinus pseudostrobus* Linld. y *P. patula*. Los comuneros cuentan con un vivero en donde reproducen planta de estas especies para fines de reforestación y establecimiento de plantaciones forestales comerciales en su comunidad, en el municipio de Villa del Carbón y en la región norte del Estado de México. Por lo anterior, los comuneros tienen interés en conocer las características de propagación de estas especies, ya que la normatividad regula el movimiento del germoplasma desde 2014 con la publicación de la Norma Mexicana NMX-AA-169- SCFI-2016 actualizada en 2016 (Secretaría de Economía, 2016). Esta normatividad puede dar certeza a los comuneros para la recolección y comercialización de la cantidad de semilla existente en su bosque y la calidad de la misma para la obtención de plantas de calidad y al mismo tiempo generar empleos. Una ventaja de la recolección de la semilla en rodales específicos es que se conoce el origen de las semillas y posteriormente puede monitorear y evaluar el crecimiento y adaptación de las progenies (White *et al.*, 2007).

Importancia de *Pinus patula*

Esta especie se utilizan principalmente para obtener madera de alta resistencia para la construcción debido a sus traqueidas largas (postes, durmientes, vigas, pilotes, cajas, molduras) y celulosa para papel (Pery, 1991; Devorak *et al*, 2000). Sin embargo, *P. patula* también se utiliza para fines de restauración forestal ya que puede sobrevivir en sitios con suelo arcillosas o arenosas con pH entre 3.8 y 6.6, climas con temperaturas entre 14 y 40 °C

y precipitación entre 1 200 y 250 mm anuales (Dvorak *et al.*, 2000). Esta especie también se utiliza en sistemas agrosilvopastoriles y como ornato (Protectora de Bosques, 2006). Aunado a lo anterior, esta especie es considerada de alto potencial de conservación y protección de los recursos asociados a los bosques nativos debido a su rápidos crecimientos, alto rendimiento, alta demanda en el mercado y alto valor ecológico (Vela, 1980), ya que es una especie que promueve la biodiversidad, generación de suelo y el almacén de bióxido de carbono (Protectora de Bosques, 2006). En plantaciones comerciales, es aceptada por alcanzar altos porcentajes de sobrevivencia y poca presencia de plagas y enfermedades (Dvorak *et al.*, 2000).

Los árboles de *P. patula* pueden alcanzar alturas entre 20 y 55 m y diámetros normales entre 50 a 90 cm con fuste recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m (Figura 1) (Dvorak *et al.*, 2000). Las copas son abiertas y redondeadas. Sus raíces son profundas y poco extendidas. Los árboles de esta especie tienen un rápido crecimiento que puede alcanzar rendimientos de alrededor de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Dvorak *et al.*, 2000).



Figura 1. Árbol adulto de *Pinus patula* en un rodal en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón Estado de México.

Los conos son serotinos, largamente cónicos de 7-9 cm, a veces 12; duros, sésiles, reflejados algo encorvados, oblicuos y puntiagudos, generalmente agrupados en número de 3-8; frecuentemente, los conos se quedan en el tronco y en las ramas gruesas (Perry, 1991). El color de los conos es amarillo ocre, rojizo y café o café-amarillento en estado de madurez y lustroso, son persistentes y se abren parcialmente en diferentes épocas del año (Figura 2)

(Perry, 1991). Las escamas son duras, casi uniformes, con el ápice redondeado, umbo deprimido o algo engrosado en las escamas basales, con una punta oscura, muy pequeña, extendidas miden cerca de 30 mm de largo por 12-14 de ancho (Perry, 1991). La semilla es muy pequeña, casi triangular, aguda, de color moreno, alcanzando un tamaño medio de 15 mm incluida un ala, algo engrosada en la base, de color café claro con estrías oscuras (Figura 2) (Perry, 1991).



Figura 2- Semillas y conos de *Pinus patula* en un rodal en San Gerónimo Zacapexco. Villa del Carbón.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de un rodal de *Pinus patula*

El rodal de *Pinus patula* se localiza en los terrenos de la comunidad de San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón Estado de México, se encuentra aislado y se ha estudiado poco. Se localiza entre las coordenadas geográficas 19° 37' 45" y 99° 31' 42" a una altitud entre 2,420 y 3,269 m (Figura 3). El clima es templado semifrío C(E)(w2)(w) con lluvias predominantes en verano de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (INEGI, 2008). La precipitación anual es superior a los 800 mm y con una temperatura media anual que varía de 5 a 12 °C (INEGI, 2008). Los suelos predominantes en el predio son de tipo Feozem (H), Luvisol (L) y Andosol (T) (CETENAL 1976).

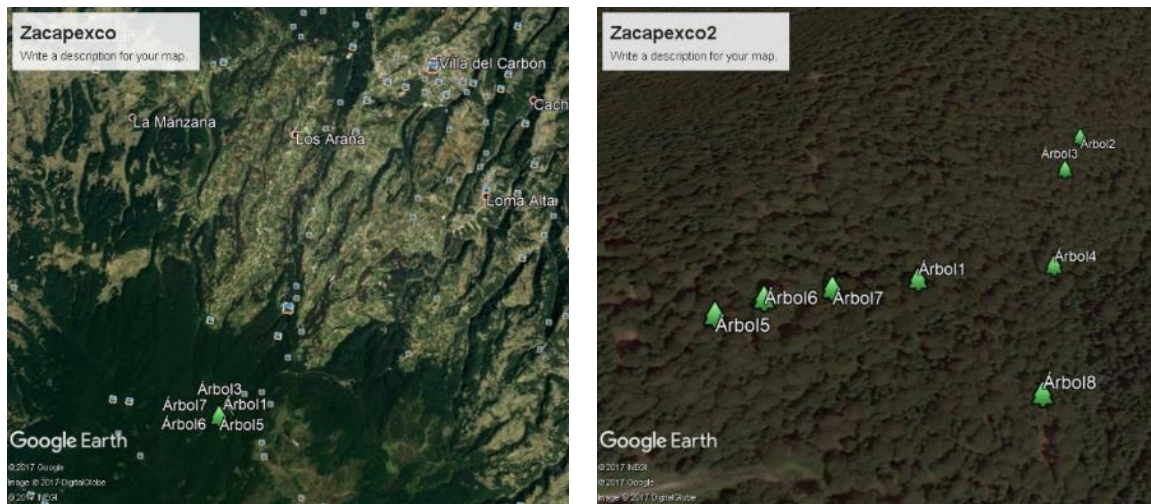


Figura 3. Localización del rodal (imagen izquierda) y árboles (imagen derecha) de *Pinus patula* en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón.

Densidad y Biodiversidad

Se levantaron ocho sitios de muestreo que se ubicaron en el árbol seleccionado de *P. paula*. Cada sitio de muestreo tuvo una superficie de 1,000 m². Se registró el número de árboles del estrato dominante y la altura de cada uno de los árboles dentro del sitio. Posteriormente se calculó la densidad y la densidad relativa para *Pinus patula*. Se calculó la riqueza e índice de Shannon-Wiener como indicadores de diversidad genética. También, se obtuvo la altura promedio de los árboles de *P. patula* y de las otras especies en cada sitio.

Indicadores reproductivos

Los ocho árboles referidos se seleccionaron en con base en la altura, diámetro y además, que tuvieran conos cerrados. Se registraron las coordenadas geográficas de cada uno de los árboles (Cuadro 1). La recolección de los conos se realizó en abril de 2016. Los conos se obtuvieron de la parte superior de la copa y para la recolección se utilizaron espuelas, cuerdas y bandolas para seguridad del escalador. El escalador utilizó casco, lentes de protección, guantes y ropa adecuada, mientras que el descenso se realizó con cuerda. Los árboles se enumeraron de acuerdo a la secuencia de selección. La producción de conos fue escasa. El número de conos que se recolectaron varió entre 20 y 48 por árbol. Los conos se colocaron en bolsas de papel las cuales se identificaron con el número asignado al árbol y se transportaron al lugar de beneficio.

Cuadro 1. Coordenadas geográfica de los árboles seleccionados de *Pinus patula* en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón.

Árbol	Latitud Norte	Latitud Oeste	Altitud (msnm)	Exposición
1	19° 37' 35.46''	99° 31' 37.74''	3 165	Este
2	19° 37' 42.44''	99° 31' 33.57''	3 125	Este
3	19° 37' 40.94''	99° 31' 34.11''	3 125	Este
4	19° 37' 37.03''	99° 31' 34.58''	3 129	Este
5	19° 37' 33.54''	99° 31' 41.40''	3 199	Sureste
6	19° 37' 34.08''	99° 31' 40.62''	3 195	Sureste
7	19° 37' 34.68''	99° 31' 39.42''	3 183	Sureste
8	19° 37' 32.70''	99° 31' 34.98''	3 129	Norte

Los conos se expusieron al sol para que perdieran humedad y antes de que las escamas abrieran se colocaron en una bolsa de plástico la cual se etiquetó con el número del árbol para identificarlos. Las escamas fértiles de cada cono se contaron y se registró el número de éstas. Las escamas fértiles de cada cono se contaron y registró el número de éstas. Las escamas fértiles se localizan en la parte media del cono y se distinguen de las escamas infértiles por el tamaño y ubicación. Las escamas infértiles se localizan en la base del cono y en la punta de este. Posteriormente, el potencial de semillas se calculó multiplicando por 2 el número de escamas fértiles (Bramlett *et al.*, 1977). Después de que las escamas abrieron, las semillas desarrolladas se obtuvieron golpeando los conos sobre una mesa en el laboratorio del Posgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados. Las semillas desarrolladas pueden ser tanto semillas llenas como vanas por lo que se procedió a separarlas

exponiéndolas a una corriente de aire. Las semillas vanas son transportadas por el aire. Se registró el número de semillas llenas y vanas. Las semillas abortadas son semillas muy pequeñas. Las semillas dañadas por insecto son aquellas que presentan un orificio sobre la testa.

El peso de las semillas llenas se obtuvo utilizando una balanza analítica. Los óvulos abortados (OA) se estimaron con la ecuación siguiente (Bramlett *et al.*, 1977):

$$OA = NPS - (NSLL + NSV + NSA + NSD)$$

donde: NPS es el número potencial de semillas, NSLL es el número de semillas llenas, NSV es el número de semillas vanas, NSA es el número de semillas abortadas y NSD es el número de semillas dañadas.

Los conos se secaron a 70 °C hasta que alcanzaron un peso constante en una estufa de secado para posteriormente obtener el peso con una balanza analítica. El índice de endogamia (IE), la eficiencia de semillas (ES) y la eficiencia reproductiva (ER) se estimaron con las ecuaciones siguientes (Bramlett *et al.*, 1977):

$$IE = \frac{NSV}{NSV + NSLL + NSD}$$

$$ES = \left(\frac{NSLL}{NPS} \right) * 100$$

$$ER = \frac{PSLLC}{PSC}$$

donde: PSLLC es el peso en miligramos de semillas llenas por cono y PSC es el peso seco del cono en gramos.

Análisis estadísticos

Los indicadores de diversidad genética no se sometieron a ningún análisis estadístico. Sin embargo, los indicadores reproductivos se analizaron con el modelo de muestreo que se especifica a continuación utilizando el procedimiento Mixed de SAS (SAS Institute, 2012).

$Y_{ij} = \mu + A_i + \xi_{ij}$ donde Y_{ij} es la variable respuesta; μ es la media de muestreo; A_i es el efecto del i - ésimo árbol y ξ_{ij} es el error de muestreo.

El coeficiente de correlación se calculó para las variables de biodiversidad y altura con los indicadores reproductivos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Densidad y biodiversidad

La densidad promedio fue 75 árboles por hectárea del estrato arbóreo dominante de un rodal el área de estudio. La densidad arbórea fue menor en el sitio ocho mientras que el sitio cinco, fue mayor (Cuadro 2). Cuatro especies constituyeron el estrato arbóreo dominante (Cuadro 2). Los árboles de *Pinus patula* representaron el 63% de la densidad del rodal seguido por los árboles de *Abies religiosa* Kunth Schltl. et Cham con el 30%. Los árboles de *Pinus paula* dominaron completamente el sitio cuatro. También, esta especie tuvo mayor presencia en la mayoría de los sitios con excepción de los sitios uno y siete donde *Abies religiosa* dominó el estrato arbóreo. Los árboles de *Pinus pseudostrobus* Lindl. se encontraron en los sitios uno y siete, mientras que los árboles de *Quercus rugosa* Neé sólo se registraron en el sitio tres. Las diferencias en el número de especies pueden estar asociadas con las variaciones micro ambientales de suelo y temperatura en cada uno de los sitios muestreados. La densidad arbórea en el presente estudio fue menor a la densidad arbórea (595 árboles ha⁻¹) que se encontró en el estrato dominante de un rodal de *Pinus patula* localizado en un rodal en Ixtlán Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008).

Cuadro 2. Densidad e índice de Shannon - Wiener en ocho sitios de muestreo de 1 000 m² en la población de *Pinus patula* en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.

Especies	Sitios de muestreo							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Densidad total (árboles 0.1 ⁻¹)	7	7	10	7	11	8	6	4
DR† de <i>Pinus patula</i> (%)	29	57	90	100	55	62	33	75
DR de <i>Abies religiosa</i> (%)	43	43	0	0	45	38	50	25
DR de <i>Pinus pseudostrobus</i> (%)	29	0	0	0	0	0	17	0
DR de <i>Quercus rugosa</i> (%)	0	0	10	0	0	0	0	0
Riqueza	3	2	2	1	2	2	3	2
Índice de Shannon-Wiener	0.47	0.30	0.14	0.00	0.30	0.29	0.44	0.24
Altura promedio <i>P. patula</i> (m)	25.0	24.5	25.7	25.4	27.8	30.4	33.5	22.7
Altura promedio otras especies (m)	20.6	21.0	18	0	20.0	23.3	22.3	25.0

† DR = Densidad Relativa

La riqueza o número de especies indicó una biodiversidad baja en el estrato arbóreo dominante del rodal como se espera en un rodal ya que se localiza en un bosque de coníferas que crece en un clima templado a una altitud sobre los 3 000 msnm (Rzedowski, 2006). La mayor riqueza se encontró en los sitios uno y siete con la presencia de tres especies arbóreas, mientras que la menor riqueza se registró en el sitio cuatro con la presencia de sólo una especie arbórea. El número de especies o riqueza fue menor que el valor (siete especies) que se reportó para rodales de *P. patula* en Ixtlán de Juárez, Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). El alto número de especies que se encontró en rodales de esta especie en Ixtlán de

Juárez se puede deber a las condiciones ambientales favorables para el crecimiento de las especies arbóreas presentes a una altitud entre 2 000 y 2 500 msnm en la Sierra Norte de Oaxaca. Un bajo número de especies se espera encontrar en los climas templados a elevadas altitudes. Por ejemplo, sólo se encontró *Pinus hartwegii* Lindl. en el estrato dominante en un rodal localizado en el Nevado de Toluca a una altitud superior a los 3 000 msnm (Villers *et al.*, 1998). También, el valor de riqueza fue similar en la presente investigación al valor (cuatro especies) que se reportó para el estrato dominante en un rodal dominado por especies del género *Pinus* en el estado de Durango (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009).

El índice promedio de Shannon – Wiener, un indicador de biodiversidad, fue 0.27 y varió entre 0 y 0.47 en los sitios cuatro y uno, respectivamente (Cuadro 2). Un valor del índice de Shannon – Wiener igual a cero indica una biodiversidad igual a cero y el valor máximo se espera cuando un número mayor de especies con el mismo número de individuos crecen en un ecosistema (Hunter, 2001). Con base en lo anterior, la biodiversidad fue nula en el sitio cuatro mientras que la mayor biodiversidad se encontró en el sitio uno seguido por la biodiversidad registrada en el sitio siete. Una biodiversidad alta es deseable en los ecosistemas para garantizar la conservación de éstos cuando una de las especies desaparece por un disturbio la sucesión se puede realizar y garantizar el permanencia de la cubierta vegetal (Hunter, 2001). Por lo que los sitios con una menor diversidad pudieran estar en mayor peligro de perder la cubierta vegetal sin embargo la distancia entre éstos es pequeña por lo tanto otras especies pudieran repoblar las áreas perturbadas en caso de ser necesario. El índice de Shannon– Wiener en la presente investigación fue menor al valor (2.16) que se encontró en rodales de esta especie en Ixtlán de Juárez en la Sierra Norte de Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). También, el índice de Shannon – Wiener fue menor en

el presente estudio al valor (1.22) que se reportó para un rodal dominado por especies del género *Pinus* en el estado de Durango (Návar-Cháidez y González-Elizondo, 2009). Esta diferencia podría deberse a que se incluyeron todas las especies arbóreas en los diferentes estratos para el cálculo del índice de Shannon en el mencionado estudio mientras que en la presente investigación sólo se incluyeron en el cálculo las especies en el estrato dominante. Otra razón que el rodal de *P. patula* se localiza a una altitud mayor a los 3 000 msnm y sólo un número reducido de especies arbóreas se adaptan a las condiciones de temperaturas extremas y heladas que se presentan a esa altitud (Perry, 1991).

La altura promedio de los árboles de *P. patula* fue 26.9 m. y esta fue mayor en el sitios siete mientras que la altura menor se registró en los árboles del sitio dos (Cuadro 2). La altura promedio de los árboles de las otras especies que crecen en simpatria con *P. patula* fue 18.8 m. La altura promedio de *P. patula* fue menor que la altura de otras especies en el sitio ocho. La altura promedio de los árboles de esta especie fue menor a la altura promedio (34 m) que se reportó para rodales de *P. patula* que se localizan entre los 2 000 y 2 500 msnm en Ixtlán de Juárez en el estado de Oaxaca (Castellanos-Bolaños *et al.*, 2008). Las temperaturas bajas y helas que se son comunes a altitudes superiores a los 3 000 msnm podrías ser la causa del crecimiento en altura de los árboles de *P. patula* en la presente investigación.

Indicadores reproductivos

Se encontraron diferencias significativas ($p \geq 0.01$) entre árboles para todas las variables de conos y semillas que se evaluaron en la presente investigación con excepción del número de semillas dañadas (Cuadro 3). El peso promedio de los conos fue 29.9 g. Los conos del árbol siete presentaron el mayor peso mientras que los conos del árbol cinco tuvieron el menor peso (Cuadro 4). El peso seco promedio de los conos fue muy similar al peso seco promedio

(30, 32 y 29 g) de los conos que se cosecharon en un huerto semillero de *Pinus patula* que se localiza en Acaxochitlán, Hidalgo en tres años de evaluación y en dos poblaciones naturales (29 y 33 g) de esta especie en los Ejidos La Selva en Huayacocotla, Veracruz y Villa Cuauhtémoc, Chinahuapan, Puebla (Mendoza, 2016; Méndez, 2016). También el peso promedio del cono en este estudio fue menor al peso (36 a 50 g) que Patiño y Kageyama, (1991) reportaron para conos de *P. patula*. Los conos son la estructuras que contienen los óvulos y atrapan el polen para que la fecundación se realice (Tomlinson *et al.*, 1991). Además, éstos protegen del ataque de predadores a las semillas durante y posterior a su desarrollo (Smith, 1970). El peso de cono puede tener una correlación alta con el tamaño determinado por su ancho y largo. Estas últimas características que se utilizan en la identificación de las especies del género *Pinus* por su variabilidad estable (Perry, 1991).

Cuadro 3. Significancia de 12 variables de conos y semillas de ocho árboles seleccionados en el área boscosa en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.

Variable	Pr > F	Variable	Pr > F
Peso seco de conos	< 0.0001	No.† de semillas dañadas	0.1908
Número potencial de semillas	< 0.0001	Peso de semillas llenas	< 0.0001
Número de óvulos abortados	< 0.0001	Peso de mil semillas	< 0.0001
Número de semillas llenas	< 0.0001	Índice de endogamia	< 0.0001
Número de semillas vanas	< 0.0001	Eficiencia de semillas	< 0.0001
Número de semillas abortadas	< 0.0001	Eficiencia Reproductiva	< 0.0001

† No. = número

Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre esta peso seco del cono y las variables de densidad, el índice de Shannon-Wiener, la altura de *P. patula* y la altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

El número potencial promedio fue 200 semillas por cono. Los conos de los árboles dos, siete y ocho tuvieron el mayor número de semillas potenciales por cono con una diferencia de una a cuatro semillas entre los conos de estos árboles, mientras que los conos del árbol tres tuvieron menor número de semillas potenciales. El potencial de semilla de los conos fue superior a los potenciales (179 y 183) de semilla por cono que se han reportado en poblaciones de *P. patula* que se localizan en los Ejidos de La Selva en Huayacocotla, Veracruz y Villa Chignahuapan, Puebla, respectivamente (Méndez, 2016). También, el número potencial de semillas por cono de *P. patula* fue muy superior a los potenciales (97 y 117) de semillas por conos que se han reportado para conos recolectados en 2014 y 2013 en árboles de esta especie en un huerto semillero sexual que se localiza en Acaxochitlán, Hidalgo (Mendoza, 2016). Los coeficientes de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el número potencial de semillas por cono y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5). Por lo que el número potencial de semillas no está influenciado por las variables del rodal antes mencionadas.

Cuadro 4. Características reproductivas de conos y semillas de *Pinus patula* en San Gerónimo Zacapexco, Villa del Carbón, Edo. de México.

No.† de Árbol	Peso seco del cono (g)	No. Potencial Semillas	No. de óvulos abortados	Número de semillas				Peso de semillas llenas x cono ⁻¹ (g)	Peso de mil Semillas (g)
				Llenas	Vanas	abortadas	Dañadas		
Uno	32.5 ± 2.5	200 ± 8	117 ± 8	54 ± 6	25 ± 4	3 ± 1	1 ± 0	0.412 ± 0.04	7.93 ± 0.31
Dos	32.6 ± 1.0	246 ± 7	156 ± 7	42 ± 4	15 ± 2	30 ± 3	2 ± 0	0.339 ± 0.04	7.83 ± 0.21
Tres	28.0 ± 1.7	130 ± 8	59 ± 7	32 ± 4	20 ± 4	18 ± 4	2 ± 1	0.314 ± 0.04	9.78 ± 0.24
Cuatro	26.8 ± 1.7	179 ± 10	96 ± 7	47 ± 6	15 ± 3	20 ± 3	1 ± 0	0.377 ± 0.05	7.72 ± 0.31
Cinco	23.3 ± 1.5	192 ± 8	112 ± 9	28 ± 4	8 ± 3	43 ± 4	0 ± 0	0.210 ± 0.03	7.65 ± 0.40
Seis	29.8 ± 1.1	170 ± 12	91 ± 12	23 ± 2	46 ± 3	8 ± 2	2 ± 1	0.204 ± 0.02	9.03 ± 0.27
Siete	41.2 ± 1.8	245 ± 10	136 ± 13	57 ± 6	15 ± 3	34 ± 7	2 ± 1	0.539 ± 0.06	9.58 ± 0.35
Ocho	27.5 ± 0.9	241 ± 6	134 ± 6	69 ± 5	16 ± 2	21 ± 3	1 ± 0	0.456 ± 0.03	6.89 ± 0.19

† No. = número

Cuadro 5. Coeficiente de correlación de Pearson entre variables de biodiversidad e indicadores reproductivos.

	PSC†	Potencial semillas	Óvulos abortados	Semillas				PSIIC†	PdMS†	IE†	EdS†	ER†
				llenas	vanas	Abortadas	dañadas					
D†	-0.451 (0.26)	-0.688 (0.06)	-0.579 (0.13)	-0.857 (0.01)	-0.028 (0.95)	0.237 (0.57)	-0.218 (0.60)	-0.755 (0.03)	0.346 (0.40)	0.165 (0.70)	-0.643 (0.09)	-0.720 (0.04)
DRPP†	-0.611 (0.11)	-0.506 (0.20)	-0.539 (0.17)	-0.175 (0.68)	-0.068 (0.87)	-0.049 (0.91)	0.004 (0.99)	-0.251 (0.55)	-0.087 (0.84)	0.080 (0.85)	0.080 (0.85)	0.019 (0.96)
H'†	0.604 (0.11)	0.493 (0.21)	0.509 (0.19)	0.203 (0.63)	0.128 (0.76)	-0.006 (0.99)	0.062 (0.88)	0.261 (0.53)	0.115 (0.79)	-0.029 (0.95)	-0.023 (0.96)	0.007 (0.99)
APP†	0.553 (0.16)	0.017 (0.97)	-0.046 (0.92)	-0.287 (0.49)	0.257 (0.54)	0.240 (0.57)	0.305 (0.46)	0.025 (0.95)	0.674 (0.07)	0.267 (0.52)	-0.224 (0.59)	-0.441 (0.27)
AOS†	0.290 (0.49)	0.356 (0.39)	0.340 (0.40)	0.060 (0.89)	0.240 (0.57)	0.029 (0.95)	0.201 (0.63)	0.014 (0.97)	0.109 (0.80)	0.135 (0.75)	-0.129 (0.76)	-0.133 (0.75)

†PSC es peso seco de cono, PSIIC es peso de semillas llenas por cono, PdMS es peso de mil semillas llenas, IE es índice de endogamia, EdS es eficiencia de semillas, ER es eficiencia reproductiva, D es densidad arbórea, DRPP es la densidad relativa de *P. patula*, APP es la altura de *P. patula*, AOS es la altura promedio de las otras especies, H' es índice de Shannon-Wiener.

El número promedio de óvulos abortados fue 113 por cono. Este promedio representó el 56% del promedio de semillas potenciales de los conos de *P. patula* en la población localizada en el área forestal de la Comunidad de San Gerónimo Zacapexco. Los conos del árbol dos tuvieron el mayor número de óvulos abortados que representó el 64% del potencial de semillas de los conos de este árbol. Los conos del árbol tres produjeron el menor número de óvulos abortados que constituyó el 45% del potencial de semillas de los conos de este árbol. El porcentaje de óvulos abortados en la presente investigación fue menor al porcentaje (53%) que se han reportado en dos poblaciones de esta especie que se localizan en los Ejidos La Selva, Huayacocotla y Villa Cuauhtémoc, Chignahuapan, Puebla (Méndez, 2016). Los coeficientes de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el número de óvulos abortados y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

El número promedio de semillas llenas fue 44 por cono. Los conos del árbol ocho tuvieron el mayor número promedio de semillas por cono, mientras que los conos del árbol seis registraron el menor número promedio de semillas por cono (Cuadro 4). El número promedio de semillas llenas por cono fue menor que los números promedios (58 y 69) y de semillas por cono que se encontraron en una población de *P. patula* en los Ejidos La Selva en Huayacocotla, Veracruz y Villa Cuauhémoc en Chignahuapan, Puebla, respectivamente (Méndez, 2016). También, el número de semillas por cono fue menor a los números promedios (55, 72 y 75) de semillas que se registraron en las cosechas 2014, 2012 y 2013 en un huero semillero de *Pinus patula*, respectivamente (Mendoza, 2016). La presencia de conos fue baja en los árboles que crecen en el rodal de esta especie en el área de estudio por lo que quizás, también se presentó una producción baja de polen en esta población cuando los conos

que se recolectaron estuvieron receptivos. Los coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el número de semillas llenas y las variables de densidad, biodiversidad y altura de las especies, incluyendo *P. patula*, del área de estudio (Cuadro 5). Sin embargo, el valor del coeficiente de correlación entre el número de semillas llenas y la densidad arbórea fue significativo con un valor negativo (Cuadro 5). Esto significa que a menor densidad, el número de semillas llenas es mayor. Lo anterior se puede deber a que el viento transporta el polen de árboles lejanos con mayor facilidad al existir menos barreras (de-Lucas *et al.*, 2008) y se promueve el cruzamiento entre individuos no emparentados evitando depresión endogámica por la unión de alelos diferentes en la formación de los genotipos (Hartl y Clark, 2007).

El número promedio de semillas vanas fue 20 por cono. El número mayor de semillas vanas se encontró en los conos recolectados en el árbol seis mientras que el número menor de este tipo de semillas se registró en los conos del árbol cinco (Cuadro 4). El número de semillas vanas representó el 10% del número potencial de semillas vanas. La mayoría de semillas vanas se originan por autofecundación en plantas monoicas donde las estructuras femeninas y masculinas crecen en el mismo árbol (Richards, 1997). También, el cruzamiento entre árboles emparentados puede ser otra causa del aborto del embrión y por consiguiente de la producción de semillas vana. El número promedio de semillas vanas fue similar al número (23) tipo de semillas que se hallaron en los conos de *P. patula* en una población en el Ejido la Selva en Huayacocotla, Veracruz (Méndez, 2016). Sin embargo, la cantidad de semillas vanas fue mayor que el número registrado en conos de *P. patula* que se recolectaron en una población de esta especie en el Ejido Villa Cuauhtémoc, Chignahuapan, Puebla (Méndez, 2016). El número de semillas vanas puede variar entre años de producción de semillas. Por

ejemplo, la cantidad de semillas por cono fueron de 18 y 15 semillas por cono en los años de producción 2012 y 2014, respectivamente, en un huerto semillero de *P. patula* en Acoxitlán (Mendoza, 2016). Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativo ($p \leq 0.05$) entre el número de semillas vanas y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

La cantidad promedio de semillas abortadas por cono fue de 22. El número mayor de semillas abortadas se encontró en los conos del árbol cinco mientras que el número menor de esta variable se registró en los conos del árbol uno. El número de semillas abortadas de *P. patula* en el presente estudio fue mayor que los números (3 y 8) de semillas abortadas que se encontraron en el estrato bajo y alto de la copa de árboles de *P. pseudostrobus* (Hernández, 2016). Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el número de semillas abortadas y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

Con relación a la cantidad promedio de semillas dañadas, solamente se presentó una semilla dañada por cono de *P. patula* en el este estudio la menor cantidad de semillas dañadas registró en los conos del árbol cinco mientras que la mayor, se encontró en los conos de árbol seis (Cuadro 4). En el presente estudio, la cantidad de semillas con daño fue similar a las cantidades reportadas en otros estudios para la misma especie (Méndez, 2016; Mendoza, 2016). Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el número de semillas dañadas y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

Por otro lado, el peso promedio de semillas llenas por cono fue 0.36 g. La diferencia fue 0.33 g entre el peso mayor de la semilla llenas por cono del árbol siete y el peso menor de la semilla llenas del árbol seis (Cuadro 4). El número de conos necesarios para obtener un kg de semillas de árboles de *P. patula* en el área de estudio sería 2 778 considerando el promedio de semillas por cono. Sin embargo, el número de conos puede variar dependiendo del árbol en donde se recolectan los conos. Por ejemplo, mientras que para el árbol cinco se requiere recolectar 4 762 para obtener un kg de semilla, y sólo se necesitan 1 855 conos si éstos se obtienen del árbol seis.

La mayoría de los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el peso de semillas llenas por cono y las variables de densidad, biodiversidad y altura de las especies, incluyendo *P. patula* (Cuadro 5). Sin embargo, el valor del coeficiente de correlación entre el peso de semillas llenas por cono y la densidad arbórea fue significativo con un valor negativo (Cuadro 5). Esto significa que a menor densidad el peso de la semilla por cono es mayor.

El peso promedio de mil semillas llenas fue 8.30 g con una diferencia de 2.69 g entre mil semillas del árbol siete y las del árbol ocho (Cuadro 4). Esta variable es importante para conocer el número de semillas que pueden obtenerse en un kilogramo, información importante en la planeación de la producción de planta en los programas de reforestación. El número promedio sería 120 482 semillas llenas por kilogramo considerando en el peso promedio de mil semillas y por lo tanto, podrían producirse un número similar de plantas en un programa de reforestación. El número de semillas por kg puede variar entre árboles. Por ejemplo, los conos del árbol tres pueden producir 102 259 semillas por kg, mientras que los del árbol ocho pueden tener hasta 145 060 semillas por kg. Por otro lado, el número de

semillas por kg puede variar de acuerdo a la localidad donde éstas se recolectan. Por ejemplo, el número promedio de semillas por kg en un rodal de *P. patula* en el Ejido Villa Cuauhtémoc en Chignahuapan, Puebla fue 116 279 mientras que en otro rodal en el Ejido La Selva en Huayacocotla en el estado de Veracruz éste fue 131 578 semillas por kg (Méndez, 2016). El número promedio fue 105 263 semillas por kg en conos que se recolectaron en un huerto semillero de *P. patula* en Acoxochitlán, Hidalgo (Mendoza, 2016). Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el peso de mil semillas y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies del rodal (Cuadro 5).

Con relación al índice promedio de endogamia, se encontró un valor de 0.304 para la producción de semilla. El menor índice se encontró en los conos del árbol cinco mientras que el mayor en los conos del árbol seis (Cuadro 6). La endogamia es producto de la autofecundación y cruzamiento entre árboles emparentados (White *et al.*, 2007). La endogamia puede conducir a la depresión endogámica la cual se manifiesta con la muerte del embrión en las semillas del género *Pinus* (Sarvas, 1962). El índice de endogamia varía entre localidades, años y especies. Por ejemplo, el índice de endogamia en el presente estudio fue similar al índice de endogamia (0.301) que se encontró en conos que se recolectaron en un rodal de *P. patula* el Ejido La Selva, Huayacocotla, Veracruz, pero mayor al índice de endogamia (0.105) que se registró en conos que se recolectaron en un rodal de la misma especie en el Ejido Villa Cuauhtémoc, Chignahuapan, Puebla (Méndez, 2016). También, el índice de endogamia fue mayor en el presente estudio que en los índices de endogamia (0.21, 0.22 y 0.24) que se encontraron en tres años de producción de semilla en un huerto semillero de *P. patula* en Acaxochitlán, Hidalgo (2012, 2013 y 2014) (Mendoza, 2016). El valor del

índice de endogamia en el presente estudio fue muy similar al valor (0.35) que se encontró en conos de *P. rigida* Mill (Mosseler *et al.*, 2004), pero menor al valor (0.5) que se reportó para *P. leiophylla* (Gómez-Jiménez *et al.*, 2010). Los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre el índice de endogamia y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

Cuadro 6. Endogamia, eficiencia de semillas y eficiencia reproductiva de conos y semillas de *Pinus patula* en San Geronimo Zacapexco, Villa del Carbón, Estado de México.

Número de árbol	Índice de Endogamia	Eficiencia de Semillas (%)	Eficiencia Reproductiva (mg g ⁻¹)
Uno	0.316 ± 0.05	27 ± 2.7	14.51 ± 1.63
Dos	0.268 ± 0.03	17 ± 1.4	10.16 ± 0.91
Tres	0.365 ± 0.04	24 ± 2.7	10.92 ± 1.07
Cuatro	0.261 ± 0.05	25 ± 2.8	13.63 ± 1.66
Cinco	0.170 ± 0.05	15 ± 2.2	8.73 ± 1.08
Seis	0.635 ± 0.03	19 ± 3.5	6.92 ± 0.72
Siete	0.220 ± 0.4	25 ± 3.9	13.04 ± 1.08
Ocho	0.199 ± 0.02	28 ± 1.6	16.69 ± 0.87

La eficiencia promedio de semillas fue 22.5% en el presente estudio, sin embargo ésta varió entre 15 y 28% en los conos de los árboles cinco y ocho, respectivamente (Cuadro 6). La eficiencia de semillas fue menor a los valores (32.4 y 37.5%) de esta variable que se encontraron en dos rodales de *P. patula* en los Ejidos de La Selva en Huayacocotla, Veracruz y Villa Cuauhtémoc en Chignahuapan, Puebla (Méndez, 2016). También la eficiencia de semillas fue mucho menor a los valores (50 y 58%) que se encontraron en la producción de conos en 2012 y 2013 en un huerto semillero de *P. patula* en Acaxochitlán, Hidalgo (Mendoza, 2016). El bajo valor en la eficiencia de semilla puede estar asociado a una baja producción de polen debido a que los conos se recolectaron en un año no semillero. Sin embargo, este fue superior al valor reportado (18%) por Barrett (1972) en esta especie. Por otro lado, la eficiencia reproductiva en el presente estudio fue menor que el reportado para conos de *P. engelmannii* Carr. (49%) (Bustamante-García *et al.*, 2012). El coeficiente de correlación fue no significativo ($p \leq 0.05$) entre la eficiencia de semillas y las variables de densidad, índice de Shannon-Wiener, altura de *P. patula* y altura de las otras especies en el rodal (Cuadro 5).

Finalmente, en este estudio la eficiencia reproductiva fue 11.83 mg g^{-1} . Los conos del árbol seis tuvieron el menor valor de esta variable, mientras que los conos del árbol ocho registraron el valor mayor para esta variable (Cuadro 6). La eficiencia reproductiva fue menor a los valores reportados para conos y semillas de *P. paula* en rodales en los Ejidos de La Selva en Huayacocotla y Villa Cuauhtémoc en Chignahuapan (15.1 y 17.6 mg g^{-1}) (Méndez 2016). También, la eficiencia reproductiva fue menor a los valores reportados en tres años de producción de semilla de un huerto semillero de *P. patula* en Acaxochitlán, Hidalgo (20.72 , 21.53 y 16.75 mg g^{-1}) (Mendoza, 2016). La eficiencia reproductiva estudio fue menor

a la eficiencia reproductiva que se encontró en conos de *P. leiophylla* (Gómez-Jiménez *et al.*, 2010). La mayoría de los valores del coeficiente de correlación fueron no significativos ($p \leq 0.05$) entre la eficiencia reproductiva y las variables de densidad, biodiversidad y altura de las especies, incluyendo *P. patula*, que crecen en el rodal en el presente estudio (Cuadro 5). El coeficiente de correlación entre la eficiencia reproductiva y la densidad arbórea fue significativo con un valor negativo (Cuadro 5). Esto significa que a menor densidad la eficiencia reproductiva es mayor. Una densidad menor representa un número menor de barreras en el movimiento del viento el cual transporta el polen de árboles distantes (de Luca *et al.*, 2008), lo cual promueve la producción de un mayor número de semillas llenas debido a la fecundación del óvulo por polen de árboles genéticamente diferentes.

La recolección de semilla de árboles superiores puede influir en el crecimiento de los árboles que se producen para las plantaciones forestales y en la repoblación de los predios donde se hace aprovechamiento de esta especie. Esto puede influir en la reducción del turno y en la calidad de la madera (Dvorak *et al.*, 2000)

CONCLUSIONES

El número de semillas llenas fue moderado mientras que el peso de mil semillas por cono fue alto. La eficiencia de semillas y la eficiencia reproductiva fueron moderadas. Se encontró asociación entre la densidad arbórea dominante con semillas llenas, peso de semillas por cono y eficiencia reproductiva. Por otro lado, la biodiversidad en el rodal fue baja con base en la riqueza de especies y en el índice de Shannon-Wiener. La densidad del estrato arbóreo fue baja en el rodal en estudio. Los indicadores reproductivos fueron variables con un potencial de semillas alto pero un número elevado de óvulos abortados, número de semillas vanas y número de semillas abortadas. Cabe indicar que los demás indicadores reproductivos no presentaron correlación con las variables de diversidad, biodiversidad y altura.

LITERAURA CITADA

- Barrett, W. G. 1972. Variación de características morfológicas en poblaciones naturales de *Pinus patula* Schltld. et Cham. en México. Suplemento Forestal 7, Institute for Domestic and Internal Affairs, Argentina. pp: 9-35
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher Jr., G. L. DeBarr, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware, and H. O. Yates III. 1977. Cone analysis of southern pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. USDA, Forest Service. Asheville, NC. 28 p.
- Bustamante-García, V., J. Á. Prieto-Ruíz, E. Merlín-Bermudes, R. Álvarez-Zagoya, A. Carrillo-Parra y J. C. Hernández-Díaz. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semilla de *Pinus engelmannii* Carr., en tres rodales semilleros del estado de Durango, México. Madera y Bosques 18:7-21.
- Castellanos-Bolaños J. F., E. J. Treviño-Garza, Ó. A. Aguirre-Calderón, J. Jiménez-Pérez, M. Musalem-Santiago y R. López-Aguillón. 2008. Estructura de bosques de pino pátula bajo manejo en Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. Madera y Bosques 14:51-63.
- CETENAL. 1976. Carta de uso del suelo Villa del Carbón E-14-A-28 1:50000. México D.F.
- CONAFOR. 2017a. Repunta México en la calidad de la producción de planta para reforestación. Consultado en <https://www.gob.mx/conafor/prensa/repunta-mexico-en-la-calidad-de-la-produccion-de-plantas-para-reforestacion>. 19 de septiembre de 2017.

- CONAFOR. 2017b. Es 2014 el año en que se alcanzó el índice más alto de supervivencia; 57% de los árboles plantados siguen vivos. Consultado en <https://www.gob.mx/conafor/prensa/crece-23-4-por-ciento-indice-de-supervivencia-de-arboles-plantados-entre-2013-y-2014> 19 de septiembre de 2017
- de-Lucas, A.I., J.J. Robledo-Arnuncio, E. Hidalgo and S.C. González-Martínez. 2008. Mating system and pollen gene flow in mediterranean maritime pine. *Heredity* 100: 390–399.
- Dvorak, W. S. y J. K. Donahue. 1992. Research review 1980-1992. Central American and Mexico Coniferous Resources Cooperative. Raleigh, N.C. U.S.A. pp: 37-52.
- Dvorak, W.S., G.R. Hodge, J.E. Kietzka, F. Malan, L.F. Osorio, and T.K. Stanger. 2000. *Pinus patula*. In: Conservation & Testing of Subtropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative College of Natural Resources, NCSU. Raleigh. pp: 149-173
- Dvorak, W. S. 2002. *Pinus patula* Schiede & Schltdl. & Cham. In: Vozzo, J. (ed.). Tropical Tree Seed Manual. Agricultural Handbook 721. USDA, Forest Service. pp: 632-635.
- Gómez-Jiménez, D. M., C. Ramírez-Herrera, J. Jasso-Mata, y J. López-Upton. 2010. Variación en características reproductivas y germinación de semillas de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Rev. Fitotec. Mex.* 33: 297-304.
- Hartl, D. L., and A. G. Clark. 2007. Principles of Population Genetics. 4th ed. Sinauer Associates, Inc. Massachusetts. 652 p.

- Hernández M., A. J. 2016. Indicadores reproductivos y calidad de la semilla de *Pinus pseudostrabus* Lindl. En un rodal natural en el ejido EL Paso de San Cristobal, Ocampo, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco Estado de México. 36 p.
- Hunter Jr M. L. 2001. Fundamentals of Conservation Biology. Second Edition. Blackwell Science. Inc. Williston, VT, USA. 547p.
- INEGI. 2008. Cartas climáticas escala 1:1 000 000. Estados Unidos Mexicanos. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.
- Méndez N., M. 2016. Diversidad genética y sistemas de cruzamiento en poblaciones de *Pinus patula* con diferentes densidades. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco Estado de México. 75 p.
- Mendoza H., N. B. 2016. Diversidad genética en un huerto semillero de *Pinus patula*. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco Estado de México. 44 p.
- Mosseler, A., O. P. Rajora, J. E. Major, and K. H. Kim. 2004. Reproductive and genetic characteristics of rare, disjunct pitch pine populations at the northern limits of its range in Canada. *Conserv. Genet.* 5: 571–583.
- Návar-Cháidez J. J. y S. González-Elizondo. 2009. Diversidad, estructura y productividad de bosques templados de Durango, México. *Polibotánica* 27: 71-87.

- Patiño V., F., y P. Y. Kageyama. 1991. *Pinus patula*, Schiede & Deppe. Seedleaflet No. 8A. Danish International development Agency (DANIDA), Forest Seed Centre. Humlebaek, Denmark. 25 p.
- Perry, 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. USA. 234 p.
- Protectora de Bosques. 2006. Programa de desarrollo forestal sustentable del Estado de México 2005-2006. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. Gobierno del Estado de México. Metepec, Edo. de México. Mexico.100 p.
- Richards, A.J. 1997. Plant breeding systems. 2nd ed. Chapman and Hall, London, U.K. 529 p.
- Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.
- SAS Institute, 2012. SAS/STAT Computer Software. Version 9.4. SAS Institute Inc. Cary, USA.
- Sarvas R. 1962. Investigations of the flowering and seed crop of *Pinus sylvestris*. Commun Inst For Fenn 53: 1–198
- Secretaria de Economía. 2106. Norma mexicana NMX-AA-169-SCFI-2016 establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal y especificaciones técnicas (cancela la NMX-AA-169-SCFI-2014). Secretaria de Economía, Dirección General de Normatividad. Diario Oficial de la Federación. Disponible

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455455&fecha=03/10/2016.

[Consultado 19/09/2017](#).

Smith, C. C. 1970. The coevolution of Pine Squirrels (*Tamiasciurus*) and conifers. *Ecological Monographs* 40:349–371.

Tomlinson, P. B., J. E. Braggins, and J. A. Ratenbury. 1991. Pollination drop in relation to cone morphology in Podocarpaceae: a novel reproductive mechanism. *American Journal of Botany* 78:1289–1303.

Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Publicación especial No. 19. INIFAP. México, D.F.

Villers R., L., L. Garcia del V. y J. López B. 1998. Evaluación de los bosques templados en México: una aplicación en el parque nacional Nevado de Toluca. *Investigaciones Geográficas Boletín* 36. Instituto de Geografía UNAM. 19 p.

White, T. L., W. T. Adams, and D. B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. London, UK. 682 p.