

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Producción e Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas en el Año 2018 para
Poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson en Nuevo León

Por:

GUADALUPE ESTEFANÍA RIVAS DEL BOSQUE

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2020

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Producción e Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas en el Año 2018
para Poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson en Nuevo León

Por:

GUADALUPE ESTEFANÍA RIVAS DEL BOSQUE

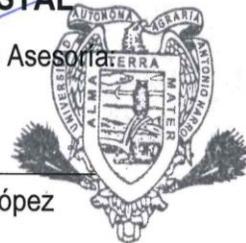
TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesores:

Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal



DEPARTAMENTO FORESTAL

M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor

Dr. Eduardo Alberto Lara Reimers
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Septiembre de 2020

Esta tesis ha sido apoyada por el Proyecto de Investigación del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR “Cambios demográficos, reproducción y estatus de poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez y *Picea martinezii* T.F. Patterson en México: especies susceptibles a eventos de variabilidad climática” con clave No. 292615, que tiene como responsable al Dr. Celestino Flores López.

DEDICATORIA

A mis padres Esperanza Del Bosque Mata y Víctor Manuel Rivas Murillo por haberme dado la vida, formarme con buenos principios y sobre todo por los sacrificios que realizaron para darnos educación a mí y a mis hermanos, así como los sabios consejos brindados durante este trayecto; pero muy especialmente por su amor y comprensión incalculable, son mi mayor motor para seguir adelante y devolverles todo, y aún más, de lo que me han dedicado. Este logro es para ustedes PADRES.

A mis hermanos Luis Rodrigo Rivas Del Bosque, Erika Mariela Rivas Del Bosque, Víctor Manuel Rivas Del Bosque y Moisés Alegría Nuricumbo con quienes espero seguir compartiendo momentos de dicha y felicidad, por el desmesurado apoyo brindado durante mi preparación profesional y sobre todo eso, por el obsequio más preciado que un hermano te puede dar que es la dicha de ser tía de cinco hermosos sobrinos: Omar Emiliano Alvarado Rivas, Grecia Altahir Rivas Mata, Sofía Mariel Alvarado Rivas, Víctor Abel Rivas Mata, Juan Antonio Alegría Moreno y el bebé que viene en camino, porque sean una esperanza para el futuro.

A la memoria de mi abuela Florentina Mata Constante pilar esencial en mi vida, la mujer con el más noble corazón y sincero amor que no he conocido jamás, y a quien recuerdo siempre con esa sonrisa tan peculiar que me regalaba cada vez que me veía ¡Abuela siempre seré tu Lupita!

A mis amigos Bianey Yaricela Rodas De León, Ana Lucía Morán Martínez, Leonel Rosario Montesinos Adán y José Porfirio Almanza Navarro; con quienes he tenido la dicha de coincidir y compartir momentos inolvidables en diferentes etapas de mi vida. Porque la amistad es la herramienta más poderosa en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme salud para realizar esta meta, por bendecirme con una familia de la cual formo parte y concebirme fortaleza en los momentos difíciles.

A mi ALMA MATER, la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por gestarme en su vientre y brindarme la oportunidad de egresar de tan noble institución y ser una buitre de la Narro.

Al Dr. Celestino Flores López por su tiempo, apoyo, dirección, pero sobre todo por la enorme paciencia brindada para la culminación de este trabajo, aunado a las excelentes aportaciones para la mejora del mismo.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo y Dr. Eduardo Lara Reimers por su tiempo, apoyo y dirección para la culminación de este trabajo.

A todas las personas que participaron en la colecta para la realización de esta investigación, así como también a los alumnos de servicio social que contribuyeron en trabajos de laboratorio, principalmente a los compañeros Erick Santizo, Seraias López, Hugo Vázquez, Roberto Vázquez, Bianey Rodas, Ana Morán, Leonel Montesinos y muy especialmente al Ing. Jesús Pérez por su enorme colaboración tanto en campo como en laboratorio; sin su ayuda la culminación de este trabajo no habría sido exitosa.

Al cuerpo académico del Departamento Forestal por las enseñanzas aportadas durante este trayecto de mi vida; así como a todo el personal que labora en él.

A toda mi familia que se preocupó por mí, por su apoyo y sus sensatos consejos, en particular a las familias Mata Esquivel, Tovar Del Bosque, Del Bosque Constante, Del Bosque Ulloa, Del Bosque Rivas y Montes Del Bosque.

A mi abuela Isabel Murillo Guzmán por siempre estar al pendiente de mis estudios y cuidar de mí y mis primos en la etapa de nuestra niñez.

A todos los compañeros y a mis amigos de la generación CXXIX de la Carrera de Ingeniero Forestal, por los momentos compartidos en el proceso de la carrera.

A mis amigos Bianey Rodas, Leonel Montesinos, Ana Moran, José Almanza, Jaquelin Castro, Arturo Hernández, Lizbeth Esquivel, Arely Esquivel, Gilberto Elizondo, Virginia Castañeda, Mariel Ramírez, Guillermo Roblero, Pedro Guzmán, Alejandro Churape e Ignacio Pérez por los momentos veraces y dichosos compartidos en diferentes etapas de la vida o la carrera profesional y los que faltan por vivir.

Y aquellas demás personas que creyeron en mí y participaron directa e indirectamente en la elaboración de este trabajo y que en este momento mi mente deja escapar.

MANIFIESTO DE HONESTIDAD ACADÉMICA

La suscrita, Guadalupe Estefanía Rivas Del Bosque, estudiante de la carrera de Ingeniero Forestal, con matrícula 41155698 y autora de la presente Tesis manifiesto que:

1. Reconozco que el plagio académico constituye un delito que está penado en nuestro país.
2. Las ideas, opiniones datos e información publicadas por otros autores y utilizadas en la presente Tesis han sido debidamente citadas reconociendo la autoría de la fuente original.
3. Toda la información consultada ha sido analizada, interpretada y redactada según el criterio y apreciación de la suscrita, de tal manera que no se ha incurrido en el copiado y pegado de dicha información.
4. Reconozco la responsabilidad sobre los derechos de autor de los materiales bibliográficos consultados por cualquier vía y manifiesto no haber hecho mal uso de ninguno de ellos.
5. Entiendo que la función y alcance de mi Comité de Asesoría está circunscrito a la orientación y guía respecto a la metodología de la investigación realizada por la siguiente tesis, así como del análisis e interpretación de los resultados obtenidos, y por lo tanto eximo de toda responsabilidad relacionado al plagio académico a mi Comité de Asesoría y acepto que cualquier responsabilidad al respecto es únicamente por parte mía.

Atentamente

Guadalupe Estefanía Rivas Del Bosque

TABLA DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
1.3 Hipótesis.....	5
2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
2.1 Localización.....	7
2.2 Selección, fecha y colecta de conos	7
2.3 Análisis de conos y semillas.....	10
2.3.1 Análisis de conos	10
2.3.2 Análisis de semillas	12
2.4 Procesamiento de conos y semillas	14
2.5 Indicadores reproductivos	15
2.6 Análisis de indicadores reproductivos	15
2.7 Análisis estadístico.....	16
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
3.1 Producción y pérdida de semilla.....	18
3.1.1 Potencial de semillas.....	18
3.1.2 Eficiencia de semillas	22
3.2 Indicadores reproductivos	23

3.2.1	Correlación de Pearson entre los indicadores reproductivos ...	30
4	CONCLUSIONES	33
5	RECOMENDACIONES.....	34
6	LITERATURA CITADA	35

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características de las poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el Estado de Nuevo León.....	9
Cuadro 2. Comparación de potencial y eficiencia de semillas entre poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el año de colecta 2006 y 2018.	20
Cuadro 3. Potencial de semillas en coníferas de diferentes especies y localidades.	21
Cuadro 4. Eficiencia de semillas en coníferas de diferentes especies y localidades.	24
Cuadro 5. Medias de indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el año de colecta 2018.	26
Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson entre los indicadores reproductivos en las cuatro poblaciones de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson en el año de colecta 2018.	31

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se presentan las poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson distribuidas en tres municipios del Estado de Nuevo León.	8
Figura 2. Variables evaluadas de los conos de <i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson.	11
Figura 3. Características morfológicas de las escamas evaluadas de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson para la evaluación de indicadores reproductivos y pérdida de semillas.	13
Figura 4. Producción y pérdida de semillas en cuatro poblaciones naturales de <i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson.....	19

RESUMEN

Picea martinezii T. F. Patterson es una de las tres especies de *Picea* endémicas de México, ésta se localiza en Nuevo León con cuatro poblaciones pequeñas y fragmentadas, por lo que está incluida en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Actualmente sufre impactos como incendios forestales, tala clandestina y endogamia, ésta última, afecta el establecimiento de la regeneración. Por ello, el presente trabajo se enfoca en determinar la producción de semillas e indicadores reproductivos de conos y semillas de sus poblaciones del periodo de colecta 2018.

Las poblaciones de estudio fueron El Butano, Agua Fría, La Encantada y Agua Lardín, en las que se seleccionaron 30, 21, 13 y 30 árboles, respectivamente, y a su vez, 10 conos aleatorios por árbol. De estos conos se analizó el potencial y eficiencia de semillas, considerando el análisis de pérdida de semilla, también, se determinaron catorce indicadores reproductivos. El análisis de varianza se realizó con el programa SAS®, utilizando un diseño completamente aleatorio, cuando se encontraron diferencias se consideró la prueba de medias de Bonferroni. Por último, se sometieron los valores medios de ocho indicadores reproductivos a una correlación del coeficiente de Pearson.

La población Agua Lardín presentó mayor potencial y eficiencia de semillas, en tanto que, Agua Fría y La Encantada obtuvieron los valores menores, respectivamente. En cuanto a los indicadores reproductivos, Agua Lardín mostró mayor peso seco del cono, número de semillas llenas, peso de 1000 semillas llenas, diámetro y volumen del cono que las otras poblaciones. La correlación de Pearson encontró una relación negativa ($r = -0.78$) y significativa ($p = <0.001$) entre el coeficiente de endogamia y la eficiencia reproductiva, es decir, a mayor endogamia menor eficiencia reproductiva y por lo tanto disminución en el peso de semillas. Aunque el valor del potencial de semilla es de los más altos comparado a otras coníferas, la eficiencia de semillas resultó ser muy baja, esto implica un problema de endogamia en sus poblaciones principalmente en La Encantada.

Palabras claves: poblaciones pequeñas; especie endémica; potencial de semilla; eficiencia de semilla; endogamia.

SUMMARY

Picea martinezii T. F. Patterson is one of the three endemic *Picea* species of Mexico, it is located in Nuevo León with four small and fragmented populations, being included in the NOM-059 SEMARNAT-2010. Currently it suffers impacts such as forest fires, clandestine logging and inbreeding, this last, affecting the establishment of regeneration and, therefore, their conservation. For this reason, this work focuses on determining the production of seeds and reproductive indicators of cones and seeds of their populations during the 2018 collection period.

The study populations were El Butano, Agua Fría, La Encantada and Agua Lardín, in which 30, 21, 13 and 30 trees were selected, respectively, and also, 10 random cones per tree. Seed potential and efficiency of these cones was analyzed, considering the seed loss analysis, also, fourteen reproductive indicators were determined. The analysis of variance was performed with the SAS® program, using a completely random design. When differences were found, the Bonferroni mean test was considered. Finally, the mean values of eight reproductive indicators were subjected to a Pearson coefficient correlation.

The Agua Lardín population presented higher potential and seed efficiency, while Agua Fría and La Encantada obtained the lowest values, respectively. Regarding the reproductive indicators, Agua Lardín showed greater dry weight of the cone, number of filled seeds, weight of 1000 filled seeds, diameter and volume of the cone than the other populations. Pearson's correlation found a negative ($r = -0.78$) and significant ($p = <0.001$) relationship between the inbreeding coefficient and reproductive efficiency, that is, the higher the inbreeding, the lower the reproductive efficiency and therefore the decrease in the weight of seeds. Although the value of the seed potential is one of the highest compared to other conifers, the seed efficiency turned out to be very low, this implies a problem of inbreeding in its populations, mainly in La Encantada.

Keywords: small populations; endemic species; seed potential; seed efficiency; inbreeding

1 INTRODUCCIÓN¹

En la actualidad, Farjon (2010) reconoce 38 especies de *Picea* A. Dietr. que se basan primeramente en los caracteres del cono y las hojas y adicionando el rango de subgénero. Sin embargo, ha habido discrepancias con otros autores ya que consideran otro número diferente de especies, Sigurgeirsson y Szmidt (1993) describen 31 especies resultado de observaciones de datos moleculares del cloroplasto, aunque es necesario la revisión de un trabajo más exhaustivo para poder modificar o reemplazar la clasificación en que se basa Farjon (2010).

De un total de diez taxones localizados en América del Norte, seis se encuentran en el suroeste de Estados Unidos y México, siendo cuatro de ellos reliquias basadas en evidencia fósil o biogeográfica. En la actualidad se consideran especies endémicas raras (Lozano-García, Ortega-Guerrero, Caballero-Miranda, & Urrutia-Fucugauchi, 1993; Ledig *et al.*, 2000a).

En México, únicamente se encuentran tres especies de este género; en Chihuahua y Durango se distribuye *Picea chihuahuana* Martínez en la porción norte de la Sierra Madre Occidental, *Picea mexicana* Martínez se encuentra en los dos picos más altos de la Sierra Madre Oriental entre los límites de los estados de Coahuila y Nuevo León y el pico más alto de la Sierra Madre Occidental en Chihuahua y *Picea martinezii* T.F. Patterson, distribuida en la Sierra Madre Oriental en el Estado de Nuevo León (Ledig *et al.*, 2000a; Mendoza-Maya *et al.*, 2015).

Las tres especies de *Picea* se consideran raras, relictos de la última glaciación, y de distribución muy restringida por lo que se encuentran catalogadas como en peligro de extinción en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), debido a que sus áreas de distribución y el tamaño de sus poblaciones han disminuido drásticamente poniendo en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural (SEMARNAT, 2010). Además, la UICN en su Lista Roja ha incluido

¹ Esta tesis se apega a la guía de autores de la Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente.

a *P. martinezii* y *P. chihuahuana* en la categoría de peligro de extinción (UICN, 2020).

En particular, *P. martinezii* se distribuye en cuatro poblaciones localizadas en la Sierra Madre Oriental y las cuales son conocidas como Cañón El Butano en el municipio de Montemorelos; La Tinaja perteneciente al municipio de Zaragoza y Cañón Puerto I y Agua Fría localizadas en el municipio de Aramberri (Ledig *et al.*, 2000a; Flores-López, Geada-López, López-Upton, & López-Ramírez, 2012; Mendoza-Maya *et al.*, 2015), todas en el Estado de Nuevo León.

Las poblaciones de *P. martinezii* se desarrollan en altitudes que van desde los 2250 y 2650 m de altitud, específicamente esta especie se encuentra asociada con especies de familias de regiones boreales, templadas, tropicales y subtropicales. Las poblaciones que se localizan en los municipios de Montemorelos y Zaragoza se asocian al tipo de vegetación de bosque mesófilo de montaña, conocido también como bosque de niebla o bosque deciduo templado (Capó, Valencia, Flores, & Braham, 1997; Valdez, Foroughbakhch, & Alanís, 2003; Flores-López *et al.*, 2012) el cual ocupa en el país menos del 1% del territorio, variando según los autores de 0.2%, (Flores, Jiménez, Madrigal, Moncayo, & Takaki, 1971), 0.5% (Leopold, 1950) y 0.86% (Rzedowski, 1996).

Por otra parte, la especie está sujeta a impactos negativos que ponen en riesgo sus poblaciones, principalmente debido a los incendios forestales (Alanís, Velazco, Foroughbakhch, Valdez, & Alvarado, 2004; Flores-López, López-Upton, & Vargas-Hernández, 2005) y, en segundo término, por la tala clandestina (El Norte, México; 11 de febrero de 2001: Sección B).

De acuerdo con Mendoza-Maya *et al.* (2015) estos impactos pueden reducirse con la implementación de Unidades de Manejo y Conservación de Vida Silvestre (UMA'S) o bien, Áreas Prioritarias para la Conservación de la Biodiversidad, modalidad impulsada por la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Sin embargo, este no es el único riesgo que la especie enfrenta, ya

que se ha demostrado mediante estudios genéticos que presenta diferentes grados de endogamia, lo que consecuentemente afecta el establecimiento de nuevas generaciones y la conservación de la misma, debido a que sus poblaciones son fragmentadas y pequeñas (Ledig *et al.*, 2000b)

Al respecto, Frankham (1998) encontró que las especies que presentan endogamia, como ya se mencionó, generan una menor capacidad reproductiva y, en consecuencia, mayor riesgo de extinción. Lo anterior radica de la falta de polinización cruzada que genera un aumento considerable de semillas vanas, así como la disminución en el tamaño de las semillas y el vigor inicial de las plántulas, las cuales tienden a producirse débiles y, por lo tanto, son más propensas a sufrir depresión endogámica (Mosseler *et al.*, 2000).

Sin embargo, para conocer este grado de endogamia, existen herramientas como el análisis de conos y semillas que proporciona información necesaria para evaluar la producción y pérdida de semillas de los árboles a partir de la estimación del potencial y la eficiencia de semillas. El potencial de semilla es considerado como el número máximo de semillas que los conos son capaces de producir, es decir, dos veces el número de escamas fértiles de un cono. Mientras que la eficiencia es la cantidad de semillas llenas en relación al potencial de semillas. Por lo tanto, la eficiencia de las semillas mide la productividad de un cono en relación con su capacidad biológica (Bramlett *et al.*, 1977).

Aunado a lo anterior, este análisis también evalúa características designadas como indicadores reproductivos, considerados como una herramienta básica en el monitoreo de las poblaciones, especialmente las pequeñas y aisladas ya que pueden presentar problemas de endogamia (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler & Rajora, 1998; Flores-López *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2012), permitiendo evaluar el estado genético y la viabilidad de las poblaciones, inclusive las endémicas (Flores-López *et al.*, 2005). Se consideran indicadores reproductivos: largo del cono, peso seco del cono, escamas fértiles, proporción de óvulos abortados y óvulos rudimentarios, proporción de semillas vanas y semillas llenas, el coeficiente de

endogamia y la eficiencia reproductiva (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005).

Son cuantiosos los estudios acerca del tema enfocados a coníferas o pinos, entre las especies más estudiadas se encuentran *Pinus greggii* Engelm. (Ramírez, Márquez, & Hernández, 2007), *Pinus oaxacana* Mirov. (Alba, & Márquez, 2006), *Pinus cembroides* Zucc. (González-Ávalos *et al.*, 2006), *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Hernández, Ramírez, & Mendizábal, 2003) y *Pinus hartwegii* Lindl. (Alba, Aparicio, & Márquez, 2003) que conforman poblaciones grandes o tienen una amplia distribución. Sin embargo, son pocos los trabajos que se concentran a especies en riesgo o pequeñas poblaciones, tal el caso de *Pinus maximartinezii* Rzedowski., *Pinus catarinae* M.F. Robert-Passini., *Pinus johannis* M.-F. Robert., *Pinus nelsonii* Shaw. y *Pinus pinceana* Gordon; siendo sus poblaciones las que ocupan mayor importancia para la conservación, ya que su fuente de semilla está adaptada a condiciones de estrés; por lo que éstas semillas serán de gran utilidad ante el cambio climático (Rajora & Mosseler, 2001).

Por otro lado, con respecto al género *Picea* en México, Flores *et al.* (2005) encontraron una variación significativa de las características reproductivas tanto entre poblaciones como entre árboles en *Picea mexicana* para dos años de recolecta. De la misma manera estimaron altos índices de endogamia, baja eficiencia de semillas y una alta proporción de óvulos abortados en sus poblaciones. En cuanto a *Picea chihuahuana* se carece de este tipo de información. Por lo que en *Picea martinezii* se tiene un trabajo realizado por Flores-López *et al.* (2012) donde encontró un potencial de semillas alto (266 por cono) pese a que la eficiencia de semilla promedio fue baja en las poblaciones (7%). Así mismo se estimó gran pérdida de semilla por óvulos abortados y rudimentarios y semillas vanas, esto por endogamia que resultó de un 75%.

En este sentido el interés del presente trabajo se sustenta en corroborar la información realizada por Flores-López *et al.* (2012) que corresponde a la colecta efectuada en el 2006, con respecto a este estudio que corresponde a la colecta

realizada en el 2018. Se considera que los valores resultantes sean relativos para diferentes periodos de colecta debido a diferentes causas como condiciones ambientales que pudieran ocasionar fluctuaciones en los indicadores reproductivos (Flores-López *et al.*, 2005).

1.1 Objetivo general

El objetivo del presente trabajo fue determinar la producción de semillas e indicadores reproductivos para conos y semillas en el periodo de colecta 2018, para cuatro poblaciones de *Picea martinezii* en el Estado de Nuevo León.

1.2 Objetivos específicos

Determinar el potencial y eficiencia de semillas, así como la pérdida de semilla para el año de colecta 2018, como indicadores de la producción de semillas, en cuatro poblaciones de *Picea martinezii*.

Estimar en cuatro poblaciones de *Picea martinezii*, para el año de colecta 2018, los valores de indicadores reproductivos de conos y semillas: a) peso seco del cono, b) número de semillas llenas por cono, c) eficiencia de semilla, d) proporción de semillas llenas, e) proporción de semillas vanas, f) proporción de óvulos abortados, g) proporción de óvulos rudimentarios, h) proporción de semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias, i) eficiencia reproductiva, j) peso de 1000 semillas llenas, k) coeficiente de endogamia, l) longitud del cono, m) diámetro del cono y n) volumen del cono.

Comparar la producción de semillas del año de colecta 2018 realizado en este estudio, con el trabajo de Flores-López *et al.* (2012) para cuatro poblaciones de *Picea martinezii* en el Estado de Nuevo León.

1.3 Hipótesis

Ho: Todas las poblaciones son iguales en el potencial y eficiencia de semillas.

Ha: Al menos una población es diferente en el potencial y/o eficiencia de semillas.

Ho: Todas las poblaciones son iguales para cada uno de los indicadores reproductivos, para la colecta 2018.

Ha: Al menos una población es diferente en alguno de los indicadores reproductivos, para la colecta 2018.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización

La especie en estudio se distribuye en la Sierra Madre Oriental entre los paralelos 23° 53' 24" y 25° 10' 41" de latitud Norte y los meridianos 99° 42' 39" y 100° 07' 37" de longitud Oeste, en cuatro poblaciones naturales que se encuentran en los siguientes tres municipios Zaragoza, Montemorelos y Aramberri los cuales comprenden las poblaciones La Encantada (La Tinaja), El Butano (Cañón El Butano), Agua Fría y Agua Lardín (Cañón Puerto I)², respectivamente (Ledig *et al.*, 2000a; Flores-López *et al.*, 2012; Mendoza-Maya *et al.*, 2015), todas en el Estado de Nuevo León (Figura 1, Cuadro 1).

2.2 Selección, fecha y colecta de conos

A principios de octubre de 2018, se realizó la selección de los árboles que se emplearon para la colecta de conos. El muestreo que se eligió para los árboles seleccionados en las cuatro poblaciones fue de forma selectiva, considerando que entre árboles existiera una distancia mínima de 10 m, con el propósito de reducir la probabilidad de parentesco entre ellos. Los árboles seleccionados cumplieron con las siguientes características fenotípicas: árboles totalmente rectos, dominantes y/o codominantes, con diámetros normales mayores de 10 cm y con las mejores condiciones de producción de conos.

De cada árbol seleccionado se midieron las siguiente variables dasométricas: altura total y diámetro normal; asimismo, con el apoyo de un GPS marca Garmin cada árbol se georreferenció.

Para tener mayor certeza en los resultados, se seleccionó un tamaño de muestra grande, es decir, mayor o igual a 30 árboles; sin embargo, esto solo se

² Las poblaciones en paréntesis se encuentran citadas en los estudios de Ledig *et al.* (2000a); Flores-López *et al.* (2012); Mendoza-Maya *et al.* (2015); sin embargo, en este trabajo las poblaciones serán presentadas tal cual se citan en el trabajo de López (2014) a partir de esta página.

logró en las poblaciones “El Butano” y “Agua Lardín”, mientras que las poblaciones “La Encantada” y “Agua Fría” no se logró llegar a un tamaño grande debido a que no todos los árboles de esas poblaciones cumplían con una buena producción de conos. De esta manera, el número de árboles seleccionados por población varió de 13 a 30 (Cuadro 1).

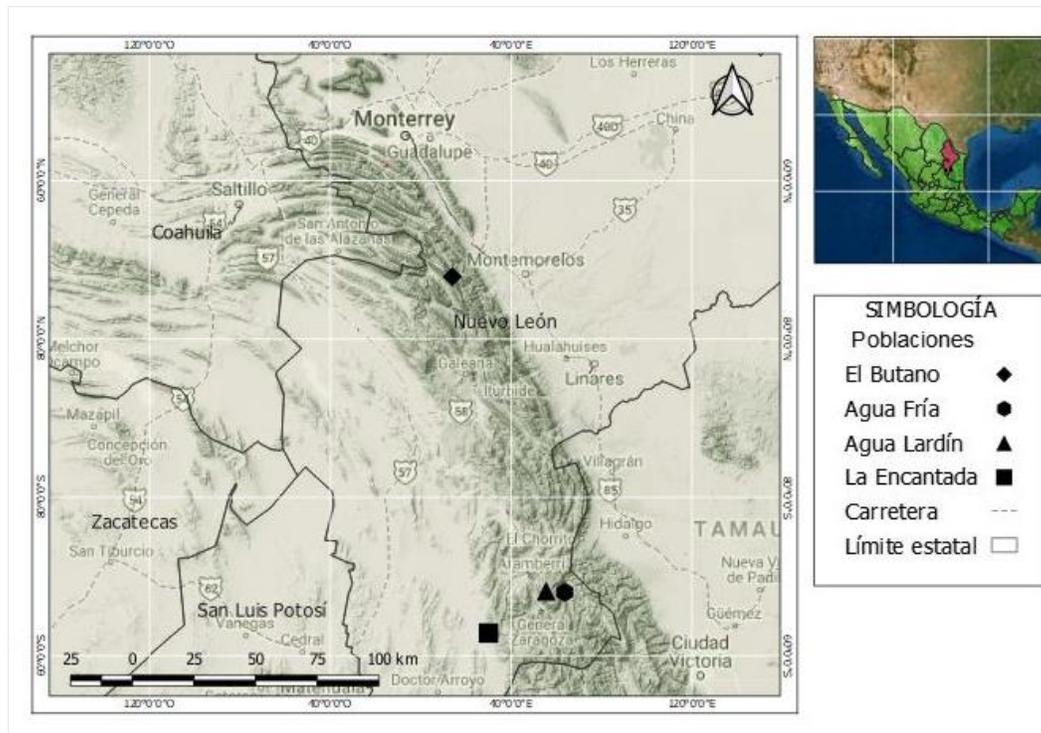


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio donde se presentan las poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson distribuidas en tres municipios del Estado de Nuevo León.

La colecta de conos se realizó por el método de escalado de árboles, esto debido a que la mayor concentración de conos se dispone en el último cuarto de la copa; por lo tanto, fue necesario el uso de espolones, arneses, una cuerda de seguridad y ropa resistente para el escalador. Se colectaron conos en distintas partes de la copa del árbol (alta, media y baja), así como en diferentes exposiciones

Cuadro 1. Características de las poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el Estado de Nuevo León

Poblaciones ¹	Municipio ²	No. De árboles	Altitud ⁴ (msnm)	Coordenadas ⁵	Clima ⁶	Vegetación ⁷	Fisiografía ⁸	Hidrología ⁹
El Butano	Montemorelos	30	2180	25° 10' 41'' N 100° 07' 37'' O	Semicálido subhúmedo(A)C(w1)	Vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	Provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental	Región Hidrológica Bravo-Conchos, cuenca Río Bravo, (CH_1424)
Agua Fría	Aramberri	21	1820	24° 02' 17'' N 99° 42' 39'' O	Templado, subhúmedo C(w1)	Bosque de pino-encino	Provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental	Región Hidrológica San Fernando-Soto la Marina, cuenca Río Soto La Marina, (CH_806)
Agua Lardín	Aramberri	30	2120	24° 02' 34'' N 99° 44' 04'' O	Templado, subhúmedo C(w2)	Bosque de pino-encino	Provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental	Región Hidrológica San Fernando-Soto la Marina, cuenca Río Soto La Marina, (CH_806)
La Encantada	Zaragoza	13	2515	23° 53' 24'' N 99° 47' 30'' O	Templado, subhúmedo C(w1)	Bosque de pino-encino	Provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental	Región Hidrológica San Fernando-Soto la Marina, cuenca Río Soto La Marina, (CH_806)

1. Nombre de las poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson (Ledig, 2000a) 2. Información tomada de los Datos Vectoriales de la División Política Municipal, escala 1: 250 000 (INEGI, 2018). 3. Número total de árboles colectados en el presente estudio. 4. y 5. Las coordenadas y la altitud fueron tomadas con un sistema de posicionamiento geográfico (GPS, GeoExplorer de Trimble) (Ledig, 2000a). 6. Información tomada del Conjunto de Datos Vectoriales de Climas, escala 1:1 000 000 (García & CONABIO, 1998) 7. Información obtenida del Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del suelo y vegetación, escala 1:250 000, serie VI (continuo nacional) (INEGI, 2016). 8. Información tomada del Conjunto de Datos Vectoriales de Provincias fisiográficas, escala: 1 000 000, serie I (continuo nacional) (INEGI, 2001). 9. Información obtenida de los Datos Vectoriales de Cuencas Hidrográficas de México, escala 1:250 000 (INEGI, INE, CONAGUA & Priego *et al.*, 2007).

(Norte, Sur Este y Oeste); para los que se encontraban en las partes más altas u orillas del árbol, fue indispensable el uso de la garrocha o gancho corta conos. Se eligieron conos verdes, maduros, cerrados y en buen estado.

Se depositaron de 30 a 70 conos por árbol en arpilleras grandes, las cuales previamente se marcaron con plumón de tinta permanente con los siguientes datos para facilitar su identificación: población, número de árbol y fecha de colecta. Posteriormente dicho material colectado fue trasladado al Laboratorio de Ingeniería Forestal del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), donde fueron seleccionados aleatoriamente 10 conos de cada uno de los árboles de las cuatro poblaciones, y de esta manera continuar con las actividades posteriores al análisis de los conos.

2.3 Análisis de conos y semillas

2.3.1 Análisis de conos

En el Laboratorio de Ingeniería Forestal se separaron individualmente los conos de cada uno de los árboles de las cuatro poblaciones y se colocaron en bolsas de papel estraza #1/6; las cuales se identificaron con un marcador de tinta permanente con los siguientes datos: población, número de árbol y número de cono.

A continuación se midieron las variables morfológicas de longitud y diámetro por cono; cabe mencionar que este procedimiento se realizó cuando éstos aún se encontraban cerrados (Figura 2). La longitud del cono se midió desde la base hasta el ápice del cono, en tanto que, el diámetro fue en la parte más amplia del cono. En estas mediciones se utilizó un vernier digital con aproximación de 0.1 mm de precisión. Los valores obtenidos se registraron en el formato correspondiente.

Posteriormente, los conos se colocaron en un piso de concreto donde fueron expuestos directamente al sol por dos horas completas durante 10 días seguidos, logrando de esta manera facilitar su apertura, extraer la humedad y evitar que se dañarán por hongos (Bustamante-García, Prieto-Ruiz, Merlín-Bermudes, Álvarez-Zagoya, Carrillo-Parra, & Hernández-Díaz, 2012).



LC =Largo del cono DC =Diámetro del cono

Figura 2. Variables evaluadas de los conos de *Picea martinezii* T.F. Patterson.

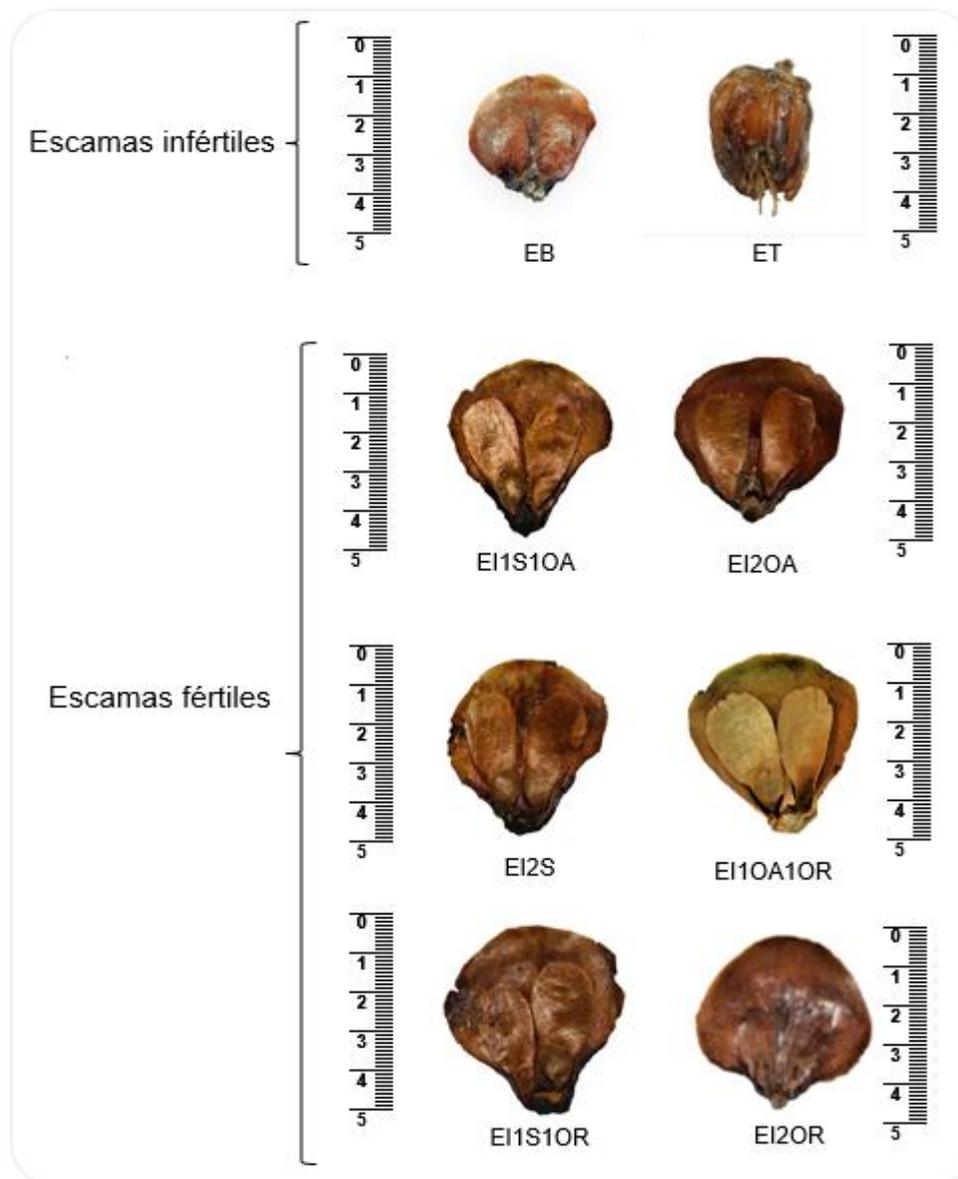
Al finalizar el periodo del secado de conos se procedió a destrozarlos por completo, separando las escamas manualmente o con la ayuda de un desarmador en algunos casos. La forma como se realizó la separación de escamas de cada cono fue sistemática, comenzando por las escamas basales las cuales se producen en la base del cono; siguiendo por las escamas intermedias que ocurren a dos tercios centrales del cono y las cuales contienen óvulos funcionales o semillas desarrolladas, y por último, las escamas terminales que se encuentran en el ápice del cono, y al igual que las basales no tienen la capacidad de producir semillas.

Enseguida se clasificaron de acuerdo a la metodología de Bramlett *et al.* (1977) con apoyo de una cartulina de papel dividida en ocho cuadrículas en las cuales se ingresaron las siguientes claves: EB =Escama basal con óvulos rudimentarios; ET =Escama terminal con óvulos rudimentarios; EI1S1OR =Escama intermedia con una semilla desarrollada y un óvulo rudimentario; EI1S1OA =Escama intermedia con una semilla desarrollada y un óvulo abortado; EI2S =Escama intermedia con dos semillas desarrolladas; EI1OA1OR =Escama intermedia con un óvulo abortado y un óvulo rudimentario; EI2OA =Escama intermedia con dos óvulos abortados y EI2OR =Escama intermedia con dos óvulos rudimentarios (Figura 3).

Al término de la clasificación las escamas se regresaron a las bolsas de papel estraza previamente etiquetadas y por último, en el formato correspondiente se registraron los valores obtenidos.

2.3.2 Análisis de semillas

La extracción de la semilla del cono se hizo golpeando éstos en una superficie plana y en algunos casos en apoyo de un desarmador. Posteriormente, la semilla de cada cono se desaló con ayuda de un limpiador de alas, luego fueron almacenadas en bolsas de plástico (15 x 30 cm), procurando mantener la identidad de la población, el número de árbol y del cono al que pertenecían.



EB =Escama basal con óvulos rudimentarios; ET =Escama terminal con óvulos rudimentarios; EI1S1OA =Escama intermedia con una semilla desarrollada y un óvulo abortado; EI2OA =Escama intermedia con dos óvulos abortados; EI2S =Escama intermedia con dos semillas desarrolladas; EI1OA1OR =Escama intermedia con un óvulo abortado y un óvulo rudimentario; EI1S1OR =Escama intermedia con una semilla desarrollada y un óvulo rudimentario; EI2OR =Escama intermedia con dos óvulos rudimentarios.

Figura 3. Características morfológicas de las escamas evaluadas de *Picea martinezii* T. F. Patterson para la evaluación de indicadores reproductivos y pérdida de semillas.

Mediante el método de flotación en alcohol se realizó la separación de semillas vanas y llenas por cono. En este procedimiento se sumergieron las semillas en un recipiente con alcohol de 70° G.L por aproximadamente 10 segundos. Debido a su ligero peso las semillas vanas flotaron, mientras que las semillas llenas por ser más pesadas se quedaron en el fondo del recipiente. Inmediatamente se apartaron las semillas vanas y con la ayuda de un escurridor de plástico se retiraron las semillas llenas, las cuales se secaron en papel higiénico para extraer la humedad.

Después se procedió al conteo de ambos tipos de semillas, anticipando separar las semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias por cono, las cuales también se contabilizaron. Los resultados generados se registraron en el formato correspondiente. Finalmente, todas las semillas se regresaron a las bolsas de plástico previamente etiquetadas para no perder su identidad y se guardaron en un refrigerador doméstico para evitar pérdida de calidad de semilla.

2.4 Procesamiento de conos y semillas

El conteo total derivado de la clasificación de escamas, permitió evaluar el potencial de semilla que tiene *Picea martinezii* para el año de colecta 2018 y el cual se determinó por la fórmula descrita por Bramlett *et al.* (1997).

Potencial de semillas (PS) = 2 x total de escamas fértiles

Total de escamas fértiles = EI1S1OR +EI1S1OA +EI2S +EI1OA1OR +EI2OA +EI2OR.

Por otra parte, la separación de semillas llenas y vanas por el método de flotación en alcohol, permitió conocer el total de semillas llenas por cono de cada árbol por población y con base al potencial de semillas determinar la eficiencia de semillas. A continuación se muestra la fórmula descrita por Bramlett *et al.* (1997) que se empleó.

Eficiencia de semilla (ES) = total de semillas llenas (NSLL) / potencial de semillas (PS) x 100

2.5 Indicadores reproductivos

Los indicadores reproductivos que se evaluaron en el presente trabajo fueron: peso seco del cono (PSC), número de semillas llenas por cono (NSLL), eficiencia de semilla (ES), proporción de semillas llenas (PSLL), proporción de semillas vanas (PSV), proporción de óvulos abortados (POA), proporción de óvulos rudimentarios (POR), proporción de semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias (PSDIHB), eficiencia reproductiva (ER), peso de 1000 semillas llenas (P1000SLL), coeficiente de endogamia (CE), longitud del cono (LC), diámetro del cono (DC) y volumen del cono (VC) (Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005).

2.6 Análisis de indicadores reproductivos

El procedimiento para la obtención del PSC consistió en acomodar las escamas de cada cono (contenidas en bolsas de papel estraza #12 y ordenadas por población) en una estufa de secado marca Thermo Scientific modelo OMH750 que se localiza dentro del vivero forestal de la UAAAN. Estas escamas se dejaron a una temperatura aproximada de $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, por un periodo de 12 horas consecutivas. Pasado ese lapso, cada bolsa (que contenía las escamas por cono) fue separada individualmente de la estufa de secado y de inmediato se pesó en una balanza electrónica de bolsillo marca Rhino modelo Babol y con precisión de 0.01 g. Finalmente el peso de cada bolsa se restó del total del PSC obtenido y ese valor se registró en la base de datos correspondiente.

Las variables NSLL por cono, ES, LC y DC, se explican en los apartados 2.3.2; 2.4 y 2.3.1 respectivamente.

Las siguientes variables se determinaron con base en las fórmulas reportadas por Bramlett *et al.* (1997) y Mosseler *et al.* (2000)

$$\text{PSLL} = \text{semillas llenas (SLL)} / \text{potencial de semilla (PS)} \times 100$$

$$\text{PSV} = \text{semillas vanas (SV)} / \text{potencial de semilla (PS)} \times 100$$

POA = óvulos abortados (OA) / potencial de semilla (PS) x 100

$$OA = EI1S1OA + EIOA1OR + EI2OA \times 2$$

POR = óvulos rudimentarios (OR) / potencial de semilla (PS) x 100

$$OR = EI1S1OR + EI1OA1OR + EI2OR \times 2$$

PSDIHB = semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias (SDIHB) / potencial de semilla (PS) x 100

CE = semillas vanas (SV) / semillas desarrolladas (SD) X 100

$$SD = (SV) + (SLL) + (SDIHB)$$

ER = peso de semillas llenas mg / peso seco del cono (PSC) g

P1000SLL = (1000 x peso de semillas llenas gr) / número de semillas llenas (NSLL)

Tomando como referencia que los conos de *Picea martinezii* asemejan una forma geométrica tipo elipsoide, se utilizó su fórmula para estimar el volumen por cono de cada árbol por población.

$VC = \frac{2c}{6} (0+0+4* \pi ab) = \frac{4}{3} \pi abc$ dónde: a = diámetro del cono, b = diámetro del cono y c = longitud del cono

2.7 Análisis estadístico

Los valores reunidos de las variables PS, ES e indicadores reproductivos en el formato correspondiente, se capturaron en una hoja de Microsoft Excel en la cual se procesaron las formulas citadas anteriormente; finalmente se analizaron en el paquete SAS ®, versión 9.0. Previo al análisis, se ejecutó el comando Proc univariate con la finalidad de identificar datos aberrantes o no representativos que pudieron haberse omitido en la base de datos de Excel y de esta manera revisarlos y corregirlos con las estadísticas descriptivas y los diagramas de hojas y tallos (Tukey, 1977).

Las variables PS, ES, NSLL, PSL, PSV, POA, POR, PSDIHB y ER necesitaron una transformación conforme a Box y Cox (1964), la cual también se realizó en el paquete estadístico antes mencionado, dichas variables se transformaron elevándolas a un valor lambda (λ) de 0.7, 0.5, 0.5, 0.8, 0.9, 0.3, 0.3, 0.3 y 0.4 respectivamente. De esta manera los datos se normalizaron y se adecuaron a una distribución normal (Tukey, 1977).

Posteriormente se determinaron los valores medios de las variables PS, ES, e indicadores reproductivos mediante el comando Proc means. Se hizo un análisis de varianza con los valores medios de PSC, NSLL, ES, PSL, PSV, POA, POR, PSDIHB, P1000SL, CE, LC, DC y VOLCONO con el Proc glm en SAS mediante un diseño completamente aleatorio. Cuando se encontraron diferencias entre las poblaciones se realizó la prueba de comparación de medias de Bonferroni tomando en cuenta un diseño desbalanceado (Cervantes y Marques, 2007).

Finalmente se hizo un análisis de correlación para las poblaciones empleando el coeficiente de correlación de Pearson (Zar, 2010) mediante el procedimiento Proc corr de SAS®, utilizando las variables LC, VOLCONO, PSC, P1000SL, PSL, CE, ER y la variable combinada de P1000SL*PSC.

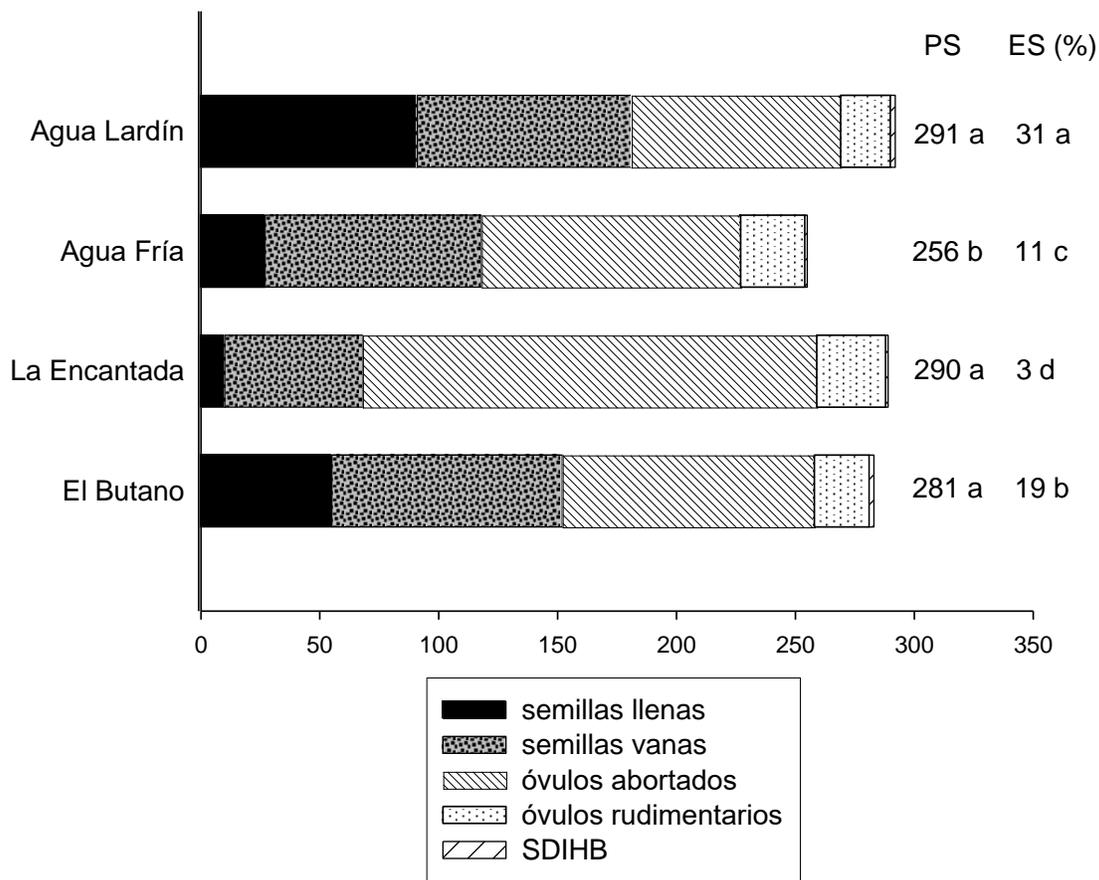
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Producción y pérdida de semilla

3.1.1 Potencial de semillas

Con base al análisis de conos y semillas realizado en las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii*, el potencial promedio resultante fue de 280 semillas por cono. Por su parte, el análisis de varianza mostró diferencias significativas entre poblaciones, por lo que se recurrió a realizar la prueba de comparación de medias de Bonferroni en la cual se encontró que, estadísticamente, el potencial de semillas de la población Agua Fría es más bajo (256 semillas por cono) y diferente al resto de las poblaciones. De modo que, el valor más alto se presentó en la población Agua Lardín (291 semillas por cono); seguidamente por La Encantada (290 semillas por cono) y finalmente El Butano (281 semillas por cono) (Figura 4).

En contraste a este estudio, Flores *et al.* (2012) reportaron que el potencial de semillas promedio para las cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* en el año de colecta 2006 fue de 266 semillas por cono. Así mismo, los valores promedio más bajos se presentaron en El Butano y La Encantada con 254 y 261 semillas por cono, respectivamente. Por el contrario, el valor promedio más alto y diferente al resto de las poblaciones se obtuvo en Agua Lardín con un promedio de 294 semillas por cono (Cuadro 2). Por lo tanto, el potencial promedio de semillas en cada población varió en relación al año de colecta realizada; por lo que, posiblemente se atribuya a que la mayoría de las especies arbóreas no producen cantidades iguales de semilla año con año (Hawley & Smith, 1972; Bramlett *et al.*, 1977; Alba-Landa *et al.*, 2003).



Dónde: PS = Potencial de semilla; ES = Eficiencia de semillas; SDIHB = Semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias.

Nota: Los valores de las medias de PS y ES con distintas letras son significativamente diferentes y con letras iguales no hay diferencia significativa ($p \leq 0.001$) determinado por la prueba de comparación de medias de Bonferroni.

Figura 4. Producción y pérdida de semillas en cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson.

Cuadro 2. Comparación de potencial y eficiencia de semillas entre poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el año de colecta 2006 y 2018.

Población	Potencial de semillas		Eficiencia de semillas (%)	
	Colecta (2006)	Colecta (2018)	Colecta (2006)	Colecta (2018)
La Encantada	262 b	290 a	2 b	3 d
Agua Fría	255 b	256 b	8 ab	11 c
Agua Lardín	294 a	291 a	13 a	31 a
El Butano	252 b	281 a	4 b	19 b

Dónde: Colecta 2006 = Flores *et al.* (2012); Colecta 2018 = Estudio actual.

Nota: Los valores de las medias de PS y ES con diferentes letras son significativamente diferentes ($p < 0.001$) y con letras iguales no hay diferencia significativa.

Lo reportado en el presente estudio así como en el de Flores *et al.* (2012) sobre el potencial promedio de semillas de *Picea martinezii*, es alto si lo comparamos con otras coníferas (Cuadro 3). Existen enormes diferencias de esta especie comparada con otras, como es el caso de un estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* ubicada en San José Los Molinos Veracruz, México, el cual presentó un potencial promedio igual a 26.8 semillas por cono; en contraste a un trabajo efectuado de *Pinus hartwegii* el cual mostró un potencial promedio de 193 semillas por cono, para dos de sus poblaciones naturales localizadas en La Malinche, Tlaxcala y en el Cofre de Perote, Veracruz.

Estas diferencias se pueden atribuir a que las coníferas que habitan en zonas áridas (como muchos de los piñoneros) donde prevalece la escasa humedad, tienen un potencial de semillas más bajo a diferencia de las coníferas de zonas templadas o zonas con bosques mesófilos, como *Picea martinezii* que se encuentra en mejores condiciones y por ende su potencial de semillas es más elevado. Por lo que una buena producción de biomasa así como una mejor producción de semilla está relacionada a la condición de humedad del sitio (Flores *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Potencial de semillas en coníferas de diferentes especies y localidades.

Espece	Potencial de semilla (rango)	Cita
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	199 (Cofre de Perote) ^a 187 (La Malinche) ^a 193 promedio de las dos	Alba, Aparicio, & Márquez, (2003)
<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen.	107.98 42 a 178 (variación de semillas)	Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, Hernández-Jiménez, Ramírez-García, & Rodríguez-Juárez, (2015)
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	155	Ramírez, Márquez, & Hernández, (2007)
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	61.9	Alba, & Márquez, (2006)
<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.	73.86 81.02 (2006) ^b 66.7 (2007) ^b	Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, Márquez-Ramírez, Ramírez-García, & Cruz-Jiménez, (2010)
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	103 (91 a 116) ^{a b}	Flores <i>et al.</i> , (2005)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	266 ^a (254 a 294)	Flores-López <i>et al.</i> , (2012)
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	130.26 136.10 (2010) ^b 129.02 (2011) ^b	Ochoa <i>et al.</i> , (2013)
<i>Pinus leiophylla</i> Schiede ex Schlttdl. & Cham.	108 (90 a 128)	Gómez, Ramírez, Jasso, & López, (2010)
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> D.K. Bailey	26.8	García, Ramírez-García, Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, & Márquez, (2014)
<i>Pinus engelmannii</i> Carr.	160.9 149.2 (Las Cumbres) ^a 171.9 (El Encinal) ^a 161.7 (La Florida) ^a	Bustamante-García <i>et al.</i> , (2012)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	280	Trabajo actual

^a Estudios realizados en diferentes poblaciones. ^b Estudios realizados en diferentes años de colecta.

3.1.2 Eficiencia de semillas

De acuerdo con Bramlett *et al.* (1977) la eficiencia de semillas se puede emplear para estimar el rendimiento de la semilla de un huerto semillero, tanto clonal como asexual. El valor promedio obtenido de la eficiencia de semillas para las poblaciones estudiadas en el presente trabajo fue de 16 %. Conforme a la prueba de comparación de medias de Bonferroni realizada para dicha variable, se encontró que todas las poblaciones de *Picea martinezii* son estadísticamente diferentes; siendo Agua Lardín la población con el porcentaje medio más alto (31 %) cuando por otro lado, La Encantada presentó el porcentaje medio más bajo de eficiencia (3%) (Figura 4).

Flores-López *et al.* (2012) en su trabajo de producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii*, obtuvieron un valor promedio del 7 %, encontrando que el porcentaje medio más bajo de eficiencia de semillas se presentó en la población La Encantada con tan sólo el 2 %, lo que difiere del valor del porcentaje más alto de eficiencia de las cuatro poblaciones, que en este caso se obtuvo en la población Agua Lardín con el 13 %, aunque similarmente también se obtuvo un valor mayor en Agua Fría con el 8 % (Cuadro 2).

Por el contrario de la variable de potencial de semilla, el resultado de la eficiencia de semilla para las poblaciones naturales de *Picea martinezii* en el año de colecta 2018, es baja en comparación a otras especies (Cuadro 4). Tal es el caso de un estudio realizado en dos poblaciones de *Pinus hartwegii* ubicadas en el Cofre de Perote, Veracruz y La Malinche, Tlaxcala, en el que se obtuvo una eficiencia promedio de 71.5 %. De modo similar en un trabajo realizado por Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, Hernández-Jiménez, Ramírez-García, & Rodríguez-Juárez (2015) para *Pinus chiapensis*, encontraron una eficiencia de semillas que varió entre el 6 y 79% en una población natural de la comunidad “Los Manueles” Arroyo Colorado, municipio de Atzalan, Veracruz.

El resultado de la baja eficiencia de semillas producidas para las únicas cuatro poblaciones naturales de *Picea martinezii* se debe sustancialmente a tres

causas que son: escasa polinización, presencia de genes letales y daños por insectos (Karrfalt & Belcher, 1977; Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2012). Además, sus poblaciones son pequeñas con distribución muy restringida, caso contrario a otras especies que abarcan una distribución más amplia. En este sentido, por las pequeñas poblaciones de esta especie, la capacidad de los individuos para reproducirse y desarrollarse disminuye, ya que la endogamia es mayor como resultado de la autofecundación o polinización entre árboles emparentados (Frankham, 1998; Flores-López *et al.*, 2005).

3.2 Indicadores reproductivos

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticas significativas ($p < .0001$) para el peso seco del cono, por lo que se recurrió a la prueba de Bonferroni para separación de medias, la cual señala a las poblaciones El Butano y Agua Lardín como estadísticamente semejantes entre ellas y superiores a Agua Fría y La Encantada (Cuadro 5).

La prueba de comparación de medias de Bonferroni también se efectuó para el número de semillas llenas por cono, ya que el análisis de varianza mostró que las cuatro poblaciones de *Picea martinezii* fueron estadísticamente diferentes ($p < .0001$). Por su parte, Agua Lardín presentó el valor medio máximo con 90.45, seguido de El Butano con 54.92 y Agua Fría con 27.23. Mientras que La Encantada mostró el valor medio mínimo con tan solo 9.91 semillas llenas por cono (Cuadro 5).

Los valores medios de la eficiencia de semillas en las poblaciones de *Picea martinezii* fueron estadísticamente diferentes según la prueba de comparación de medias antes mencionada. A manera de resumen, la población La Encantada presentó la eficiencia de semillas más baja con 3.37 %, entretanto la población Agua Lardín superó al resto de las poblaciones con el 31.21 %. El resultado de los bajos porcentajes de esta variable (revisar más detalles en el apartado 3.1.2) se atribuye principalmente a tres causas importantes que son: escasa polinización, presencia

de genes letales y daños por insectos (Karrfalt & Belcher, 1977; Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2012).

Cuadro 4. Eficiencia de semillas en coníferas de diferentes especies y localidades.

Especie	Eficiencia de semilla	Cita
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	75% (La Malinche) ^a 68% (Cofre de Perote) ^a 71.5% promedio de las dos	Alba, Aparicio, & Márquez, (2003)
<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen.	40.97% 6 y 79% (variación de semillas)	Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, Hernández-Jiménez, Ramírez-García, & Rodríguez-Juárez, (2015)
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	40.25%	Ramírez, Márquez, & Hernández, (2007)
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov.	53.77%	Alba, & Márquez, (2006)
<i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.	40.25% 36.01% (2006) ^b 44.49% (2007) ^b	Mendizábal-Hernández, Alba-Landa, Márquez-Ramírez, Ramírez-García, & Cruz-Jiménez, (2010)
<i>Picea mexicana</i> Martínez.	13.5% (9 al 18%)	Flores <i>et al.</i> , (2005)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	7% (2 al 13%)	Flores-López <i>et al.</i> , (2012)
<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	39.17% 34.44% (2010) ^b 40.18% (2011) ^b 48.90%	Ochoa <i>et al.</i> , (2013)
<i>Pinus engelmannii</i> Carr.	66.9% (Las Cumbres) ^a 40.4% (El Encinal) ^a 39.6% (La Florida) ^a	Bustamante-García <i>et al.</i> , (2012)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	16%	Trabajo actual

^a Estudios realizados en diferentes poblaciones. ^b Estudios realizados en diferentes años de colecta

La citada prueba ejecutada para la proporción de semillas llenas mostró que todas las poblaciones fueron estadísticamente diferentes ($p < .0001$). Por un lado, el valor medio menor se presentó en la población La Encantada (0.03), posteriormente Agua Fría (0.11), seguido de El Butano (0.19) y finalmente Agua Lardín (0.31), siendo ésta última la población con mayor proporción de semillas llenas (Cuadro 5). Por su parte, Flores *et al.* (2005) en un estudio de indicadores reproductivos de tres poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez, reportaron valores medios que variaron entre el 9 y 18 % en dos años de recolecta, concluyendo que dichos porcentajes son notoriamente bajos comparados a otras especies de coníferas.

Los reducidos porcentajes en las proporciones de semilla llena de *Picea mexicana* se atribuyen a una limitada cantidad de polen, así como el elevado autocruzamiento entre individuos emparentados que trae consigo la generación de altas cantidades de semillas vanas, como queda demostrado en otras especies de *Picea* (Brown, 1970; Sorensen y Miles, 1974; Caron y Powell, 1989; Mosseler *et al.*, 2000; Flores *et al.*, 2005; Flores *et al.*, 2012). Por lo que muy probablemente esto también este sucediendo en las poblaciones de *Picea martinezii*, ya que similarmente éstas dos especies se caracterizan por presentar poblaciones pequeñas y aisladas (Mosseler *et al.*, 2000).

En relación a la prueba de comparación de medias antes mencionada, la proporción de semillas vanas mostró que la población La Encantada presentó el valor medio mínimo y diferente al resto de las poblaciones con 0.20 semillas vanas; mientras que las otras tres poblaciones Agua Fría, El Butano, y Agua Lardín fueron estadísticamente iguales entre ellas con valores medios máximos de 0.35, 0.34 y 0.31 respectivamente (Cuadro 5). Los valores medios de este estudio son mayores a los presentados por Flores-López *et al.* (2012) para la misma especie. Los autores reportaron valores medios de 0.12, 0.31, 0.26 y 0.10 en las poblaciones El Butano, Agua Lardín, Agua Fría y La Encantada, en ese orden. Así mismo, Flores *et al.* (2005) encontraron valores medios de 0.49, 0.44 y 0.46 para tres poblaciones de *Picea mexicana* en dos años de recolecta.

Cuadro 5. Medias de indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el año de colecta 2018.

Indicadores reproductivos	El	Agua	Agua	La
	Butano	Lardín	Fría	Encantada
Peso seco del cono (gr)	36.48a	36.44a	26.60c	30.24b
Número de semillas llenas por cono	54.92b	90.45a	27.23c	9.91d
Eficiencia de semillas (%) ^z	19.36b	31.21a	10.63c	3.37d
Proporción de semillas llenas	0.19b	0.31a	0.11c	0.03d
Proporción de semillas vanas	0.34a	0.31a	0.35a	0.20b
Proporción de óvulos abortados	0.39c	0.30d	0.43b	0.66a
Proporción de óvulos rudimentarios	7.68bc	7.00c	10.37a	9.47ba
Proporción de semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias	0.005a	0.006a	0.002b	0.001b
Eficiencia reproductiva ^y (mg/g)	0.37b	0.55a	0.26c	0.07d
Peso de 1000 semillas llenas (g)	24.27a	22.22b	23.46ba	17.48c
Coefficiente de endogamia ^x	0.62b	0.49c	0.77a	0.82a
Longitud del cono (cm)	14.03b	14.76a	12.64c	12.96c
Diámetro del cono (cm)	3.52a	3.50a	3.25b	3.47a
Volumen del cono (cm ³)	93.33a	96.04a	71.29c	83.83b

Dónde:

^z Total de semillas llenas / Potencial de semillas x 100

^y Peso de semilla llena en mg / Peso seco del cono en g.

^x Semillas vanas / Semillas desarrolladas.

Nota: Los valores de las medias con diferentes letras son estadísticamente diferentes ($p < 0.001$) determinado por la prueba de comparación de medias de Bonferroni.

Existen dos causas principales conocidas sobre el surgimiento de semillas vanas, las cuales son debido a alelos recesivos embrionarios y la alimentación de semillas por insectos u hongos (Bramlett *et al.*, 1977). Sin embargo, en cuanto a semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias en el presente estudio, el porcentaje medio más alto fue del 0.006, lo contrario al valor medio más bajo con 0.001 en las poblaciones Agua Lardín y La Encantada, respectivamente (Cuadro 5). Las pérdidas de semillas debido a estos factores son inferiores al 10 % por lo que no representan un problema considerable a las poblaciones de la especie de estudio (Bramlett *et al.*, 1977).

Por otro lado, en estudios controlados de autopolinización se tienen evidencias que generalmente más del 80 % de semillas vacías en *Picea* son resultado de la expresión de efectos genéticos nocivos debido al aumento de la homocigosidad resultante de la endogamia (Mergen *et al.*, 1965; Coles y Fowler 1976; Fowler y Park 1983; Mosseler *et al.*, 2000). Otra posible causa no genética para el desarrollo de semillas vacías puede ser la influencia de efectos climáticos perjudiciales (Andersson, 1965; Sarvas, 1968; Mosseler *et al.* 2000).

La misma prueba de comparación de medias de Bonferroni realizada para la proporción de óvulos abortados encontró diferencias significativas ($p < .0001$) entre las cuatro poblaciones de *Picea martinezii*. Asimismo, la población con mayor porcentaje de óvulos abortados se presentó en La Encantada con un valor de 0.66, mientras que, 0.30 fue el valor medio menor y se obtuvo en la población Agua Lardín. En las poblaciones El Butano y Agua Fría se registraron 0.39 y 0.43 óvulos abortados, respectivamente (Cuadro 5). De igual manera, Flores-López *et al.* (2012) en su trabajo reportaron que las poblaciones La Encantada y El Butano presentaron las mayores proporciones de óvulos abortados con 0.87 y 0.83 respectivamente, mientras que, Agua Lardín y Agua Fría obtuvieron las menores proporciones con 0.54 y 0.65 para la misma especie.

El aumento en la formación de óvulos abortados posiblemente se deba a una escasa producción y viabilidad del polen (Bramlett *et al.*, 1977). Bramlett y Johnson (1975) y Bramlett *et al.* (1977) mencionan que si en el primer año de desarrollo del

como el óvulo aborta temprano es porque el polen no puede germinar o éste no está presente. Por si fuera poco, la presencia de insectos es otra de las causas del aborto temprano del óvulo (Mosseler *et al.*, 2000). Sin embargo, para este estudio no se encontraron daños considerables por insectos, hongos o bacterias que pudieran afectar severamente la producción de semillas de la especie; aunque cabe mencionar que en *Picea chihuahuana* si se han encontrado daños desfavorables a causa del barrenador *Cydia phyllisi* Miller (Cibrián *et al.*, 1995).

Con respecto a la proporción de óvulos rudimentarios, se encontró que las poblaciones Agua Fría y La Encantada fueron estadísticamente iguales entre ellas y superiores a las poblaciones El Butano y Agua Lardín (Cuadro 5).

Para la eficiencia reproductiva, la prueba de comparación de medias encontró diferencias estadísticas ($p < .0001$) entre las cuatro poblaciones de *Picea martinezii*. La población La Encantada presentó el valor medio inferior con 0.07 mg/g, seguido de Agua Fría con 0.26 mg/g, El Butano con 0.37 mg/g y Agua Lardín con el valor medio superior de 0.55 mg/g, resultando esta población con la mayor eficiencia reproductiva (Cuadro 5). Los valores medios son muy contrastantes a lo reportado en el estudio de Flores-López *et al.* (2005) en el que determinaron una eficiencia reproductiva media para dos años de recolecta en *Picea mexicana* de 15.70 mg/g, 19.30 mg/g y 36.10 mg/g para las poblaciones El Coahuilón, El Mohinora y La Marta, respectivamente.

Para el peso de 1000 semillas llenas se encontró que la población La Encantada es estadísticamente diferente e inferior a las otras tres poblaciones que fueron estadísticamente iguales entre ellas (Cuadro 5). Otros estudios como el de Flores *et al.* (2005) sobre indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* en el norte de México, reportaron que el valor medio más alto del peso de 100 semillas llenas fue de 3.94 g en la población La Marta, mientras que la población El Coahuilón presentó el valor medio más bajo con 3.57 g para dos años de recolecta.

Las diferencias en los valores del peso de semillas llenas en las dos especies de *Picea*, puede atribuirse a la presencia de algún factor ambiental que esté

vinculado con la nutrición de la planta y la calidad del sitio, o bien, al tamaño de las semillas entre las dos especies (Mosseler *et al.*, 2000).

Para el coeficiente de endogamia, se encontró que las poblaciones La Encantada y Agua Fría fueron estadísticamente iguales entre ellas y con valores superiores a El Butano y Agua Lardín (Cuadro 5). Los valores registrados del coeficiente de endogamia para este estudio son muy similares a lo reportado por Flores-López *et al.* (2012) donde reportaron valores de 0.62 a 0.82 en las poblaciones de esta misma especie. Además, Flores *et al.* (2005) encontraron valores elevados del índice de endogamia (0.73 a 0.84) en tres poblaciones de *Picea mexicana* para dos años de recolecta.

Los valores obtenidos del coeficiente de endogamia de *Picea mexicana* en el estudio de Flores *et al.* (2005) y de *Picea martinezii* en el estudio actual, son muy altos en comparación con otras especies. Estas diferencias pueden atribuirse a que las poblaciones de las dos especies de *Picea* son pequeñas y además con bajas densidades de arbolado, por lo que muy probablemente ocurra el efecto de la autopolinización lo que en consecuencia genera el aumento en la formación de semillas vacías (Mosseler *et al.*, 2000; Flores *et al.*, 2005).

Por otra parte, para la longitud del cono se encontró que la población Agua Lardín tiene el mayor valor y es diferente al resto de las poblaciones. A su vez, El Butano es diferente a La Encantada y Agua Fría que son estadísticamente las de menor valor e iguales entre ellas (Cuadro 5).

En el estudio de Flores *et al.* (2012) la longitud de cono es menor en las cuatro poblaciones de la misma especie, encontrando que Agua Fría presentó la mayor longitud de cono con 11.65 cm, mientras que La Encantada fue el valor menor de esta variable con 9.90 cm. El aumento de la longitud de cono entre un año a otro puede atribuirse a que hubo una polinización más apropiada en el año 2018. De acuerdo a Bramlet *et al.* (1977), los conos son más grandes cuando hay una polinización adecuada.

Para el diámetro del cono se encontró que la población Agua Fría presentó el valor medio mínimo y diferente al resto de las poblaciones con 3.25 cm; las otras tres poblaciones El Butano, Agua Lardín y La Encantada fueron estadísticamente iguales entre ellas con valores medios máximos de 3.52 cm, 3.50 cm y 3.47 cm respectivamente (Cuadro 5).

Por último, para el volumen del cono, se encontró que las poblaciones Agua Lardín y El Butano fueron estadísticamente iguales entre sí y con valores superiores a las otras dos poblaciones. A su vez, La Encantada fue superior a Agua Fría (Cuadro 5).

3.2.1 Correlación de Pearson entre los indicadores reproductivos

El análisis del coeficiente de correlación de Pearson entre diversos indicadores reproductivos determinados en las poblaciones de *Picea martinezii*, muestran una relación positiva y significativa ($p < .0001$) entre la longitud del cono, volumen del cono, peso seco del cono y eficiencia reproductiva con la variable combinada de peso de 1000 semillas llenas con el peso seco del cono ($r = 0.63, 0.73, 0.78$ y 0.31) (Cuadro 6), lo que significa que a mayor longitud, volumen y peso seco del cono, habrá mayor peso de 1000 semillas llenas; esto coincide con el estudio de Flores-López *et al.* (2005) que reportan que entre mayor sea el tamaño de cono de los árboles, más semillas grandes se van a producir. Por otra parte, Bramlett *et al.* (1977) indican que entre más grande sea el cono habrá una buena polinización.

Además, considerando que la eficiencia reproductiva se correlaciona positivamente con la variable combinada de peso de 1000 semillas llenas con el peso seco del cono, se puede interpretar que a mayor peso de 1000 semillas llenas, más eficiencia reproductiva habrá; esto coincide con estudios comprobables en otras coníferas donde las plántulas más robustas que se producen al menos durante

el primer año de vida son producto de semillas de un mayor tamaño (Mosseler *et al.*, 2000; Flores-López *et al.*, 2005).

Cuadro 6. Coeficientes de correlación de Pearson entre los indicadores reproductivos en las cuatro poblaciones de *Picea martinezii* T. F. Patterson en el año de colecta 2018.

	VOL CONO	PSC	P1000 SLL	PSLL	P1000S LL*PSC	CE	ER
LC	0.85**	0.83**	0.31**	0.37**	0.63**	-0.22**	0.29**
VOLCONO		0.93**	0.34**	0.34**	0.73**	-0.25**	0.25**
PSC			0.35**	0.39**	0.78**	-0.29**	0.27**
P1000SLL				0.17**	0.82**	-0.16**	0.29**
PSLL					0.30**	-0.80**	0.94**
P1000SLL*PSC						-0.23**	0.31**
CE							-0.78**

Dónde: LC = Longitud del cono, VOLCONO = Volumen del cono, PSC = Peso seco del cono, P1000SLL = Peso de 1000 semillas llenas, PSLL = Proporción de semillas llenas, P1000SLL*PSC = Peso de 1000 semillas llenas con el peso seco del cono, CE = Coeficiente de endogamia y ER = Eficiencia reproductiva.

** Valores con significancia ($p < .0001$).

El análisis del coeficiente de correlación de Pearson entre ciertos indicadores reproductivos determinados en las poblaciones de *Picea martinezii*, encontró una relación negativa ($r = -0.78$) y significativa ($p = < 0.001$) entre el coeficiente de endogamia y la eficiencia reproductiva (Cuadro 6), esta relación indica que entre mayor sea el coeficiente de endogamia menor será la eficiencia reproductiva. En el trabajo de Flores-López *et al.* (2005) reportaron valores más grandes para la correlación entre estas variables, en dos años de recolecta de tres poblaciones de *Picea mexicana*. Frankham (1998) y Flores-López *et al.* (2012) mencionan que poblaciones fragmentadas tienden a presentar mayores niveles de endogamia lo que consecuentemente conllevará a una menor capacidad reproductiva y, por lo tanto, mayor riesgo de extinción. Por otra parte, la baja densidad del arbolado en las poblaciones de la especie de estudio es resultado de la autopolinización.

Por otra parte, el coeficiente de endogamia mostró una correlación negativa y significativa ($p = <0.001$) con las variables longitud de cono, volumen del cono, peso seco del cono, peso de 1000 semillas llenas, proporción de semillas llenas y la variable combinada de peso de 1000 semillas llenas con peso seco del cono ($r = -0.22, -0.25, -0.29, -0.16, -0.80$ y -0.23) (Cuadro 6).

Resulta natural las correlaciones entre las variables longitud de cono, volumen del cono, peso seco del cono, peso de 1000 semillas llenas y la proporción de semillas llenas; las cuales mostraron relaciones positivas y significativas ($p = <0.001$) dado a su propia naturaleza y las cuales variaron entre 0.17 a 0.93 (Cuadro 6).

4 CONCLUSIONES

El potencial de semillas encontrado en *Picea martinezii* es uno de los valores más altos con respecto a otras coníferas; a pesar de eso, la eficiencia de semillas resultó ser muy baja, esto implica un problema de endogamia en sus poblaciones principalmente en La Encantada.

Los indicadores reproductivos de conos y semillas evaluados muestran mayores pérdidas de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas vanas especialmente en la población La Encantada, quien además obtuvo el mayor coeficiente de endogamia y por ende, menor eficiencia reproductiva; en contraste con la población Agua Lardín.

La hipótesis nula planteada se rechaza debido a que en los resultados obtenidos del potencial y eficiencia de semillas de *Picea martinezii*, al menos una población fue diferente.

La hipótesis nula planteada para los indicadores reproductivos se rechaza debido a que el valor de al menos uno de los indicadores reproductivos fue diferente entre poblaciones de *Picea martinezii* en la colecta 2018.

5 RECOMENDACIONES

A pesar que en este estudio los porcentajes de semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias fueron insignificantes, es recomendable realizar estudios sobre dichos factores para minimizar el porcentaje de pérdidas entre semillas vacías, óvulos abortados y óvulos rudimentarios de *Picea martinezii*.

La combinación entre dos variables (P1000SLL*PSC) en la ejecución de la correlación de Pearson, ofreció mejores posibilidades de discusión ya que éstas aumentaron, logrando brindar una mejor apreciación de los efectos del tamaño del cono con respecto a esas variables combinadas.

Los resultados obtenidos de la producción e indicadores reproductivos en conos y semillas de la especie de estudio, pueden ser de gran utilidad para la complementación o realización de planes de estrategias para la conservación de especies. Además de conocer el estatus de la especie, que aporta al estudio MER en la NOM-059-SEMARNAT-2010, la condición de reproducción y las posibles consecuencias en el establecimiento de la regeneración.

6 LITERATURA CITADA

- Alanís F., G. J., Velazco M., C. G., Foroughbakhch, P. R., Valdez T., V. & Alvarado V., M.A. (2004). *Diversidad florística de Nuevo León: Especies en categoría de riesgo*. *Red Ciencia UANL*, 7(2), 209–218. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1330>
- Alba L., J., Aparicio R., A. & Márquez R., J. (2003). *Potencial y eficiencia de producción de semillas de Pinus hartwegii Lindl. de dos poblaciones de México*. *Foresta Veracruzana*, 5(1), 25–28. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49750104>
- Alba L., J., & Márquez R., J. (2006). *Potencial y eficiencia de producción de semillas de Pinus oaxacana Mirov. de Los Molinos, Perote, Veracruz*. *Foresta Veracruzana*, 8(1), 31–36. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49780106>
- Andersson, E. (1965). *Cone and seed studies in Norway spruce (Picea abies) (L.) Karst.*. *Studia Forestalia Suecica*, 23, 1–215. Obtenido de: <https://pub.epsilon.slu.se/8011/1/SFS023.pdf>
- Box, G. E., & Cox, D. R. (1964). *An analysis of transformations*. *Journal of the Royal Statistical Society*, 26(2), 211–243. doi: 10.1111/j.2517-6161.1964.tb00553.x
- Bramlett, D. L., Belcher Jr, E. W., DeBarr, G. L., Hertel, G. D., Karrfalt, R. P., Lantz, C. W.,...Yates III, H. O. (1977). *Cone analysis of Southern pines: A guidebook*. General Technical Report SE-13. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C, U. S. A.
- Bramlett, D. L., & Johnson, C. J. (1975). Pollination in a slash pine seed orchard. In *Proc South Conf For Tree Improv.* (pp. 161–165). Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201301276989>
- Brown, I. R. (1970). Seed production in Scots Pine. In: Luckwill L. C. y C. V. Cutting. *Physiology of tree crops* (pp. 55–63). New York: Academic Press. Obtenido de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19700602233>

- Bustamante-García, V., Prieto-Ruíz, J.A., Merlín-Bermudes, E., Álvarez-Zagoya, R., Carrillo-Parra, A., & 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. Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712012000300002&lng=es&tlng=es.
- Capó A., M.A., Valencia M., S., Flores L., C., & Braham S., S. (1997). *Informe final de actividades del proyecto: autoecología del género Picea en Nuevo León*. Presentado a: Consejo Consultivo Estatal para la Preservación y Fomento de la Flora y Fauna Silvestre de Nuevo León. Saltillo, Coahuila. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Caron, G. E., & Powell, G. R. (1989). *Cone size and seed yield in young Picea mariana trees. Canadian Journal of Forest Research*, 19(3), 351–358. doi: 10.1139/x89-053
- Cervantes S., A. & Marques D.S., M. J. (2007). *Diseño de Experimentos: Curso Práctico*. México, D.F.: UNAM, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Cibrián T., D., Méndez M., J. T., Campos B., R., Yates III, H. O., & Flores L., J. E. (1995). *Insectos forestales de México*. Universidad Autónoma Chapingo, Edo. de México. Obtenido de https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Cibri%C3%A1n%2C++%281995%29.&btnG=
- Coles, J. F., & Fowler, D. P. (1976). *Inbreeding in neighbouring trees in two white spruce populations. Silvae Genet*, 25, 29–34. Obtenido de: <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=7028>
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers* (1 vol.). Boston: Brill Leiden.
- Flores L., C. (2014). *Líneas para la conservación de los recursos genéticos de Picea mexicana Martínez y Picea martinezii Patterson*. Tesis doctoral, Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”, Pinar del Río, Cuba.
- Flores-López, C., Geada-López, G., López-Upton, C. J., & López-Ramírez, E. (2012). *Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones*

naturales de Picea martinezii T. F. Patterson. *Revista Forestal Baracoa*, 31(2), 49–58. Obtenido de: https://www.researchgate.net/publication/286777475_Produccion_de_semillas_e_indicadores_reproductivos_en_poblaciones_naturales_de_Picea_martinezii_TF_Patterson

Flores-López, C., López-Upton, J., & Vargas-Hernández, J.J. (2005). *Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia*, 39, 117–126. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239111>

Flores M., G., Jiménez L., J., Madrigal S., X., Moncayo R., F., & Takaki T., F. (1971). *Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana*. México: Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Fowler, D. P., & Park, Y.-S. (1983). *Population studies of White spruce. I. Effects of self-pollination*. *Canadian Journal of Forest*, 13, 1138–1138. doi: 10.1139 / x83-151

Frankham, R. (1998). *Inbreeding and extinction: Island populations*. *Conservation Biology*, 12 (3), 665–675. doi:10.1111/j.1523-1739.1998.96456.x

García, E. (1998). Comisión Nacional de Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (2001). 'Climas' (Clasificación de Koopen modificado por García). Escala 1:1 000 000. Consultado 09-04-2020 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

García F., E., Ramírez-García, E. O., Mendizábal-Hernández, L. C, Alba-Landa, J., & Márquez R., J. (2014). *Parámetros de producción de semillas de Pinus cembroides subsp. orizabensis* D.k. Bailey de una plantación en la región de Perote, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 16(2), 37–42. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49732560005>

Gómez J., D. M., Ramírez H., C., Jasso M., J. & 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.

Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802010000400007&lng=es&tlng=es.

González-Ávalos, J., García-Moya, E., Vargas-Hernández, J. J., Trinidad-Santos, A., Romero-Manzanares, A., & Cetina-Alcalá, V. M. (2006). *Evaluación de la Producción y Análisis de Conos y Semillas de Pinus cembroides Zucc. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(2), 133–138. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=629/62912206>

Hawley, R. C., & Smith, D. M. (1972). *Silvicultura práctica*. Barcelona, España. Ediciones Omega.

Hernández C., O., Ramírez G., E. O., & Mendizábal H., L. (2003). *Variación en semillas de cinco procedencias de Pinus pseudostrobus Lindl. Foresta Veracruzana*, 5(2), 23–28. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49750204>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). Conjunto de Datos Vectoriales de Provincias fisiográficas. Escala: 1:000 000. Serie I (Continuo nacional). Consultado 09-04-2020 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267575>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Continuo nacional). Consultado 09-04-2020 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Datos Vectoriales de la División política municipal. Escala 1:250 000. Consultado 09-04-2020 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), Instituto Nacional de Ecología (INE), Comisión Nacional de Agua (CONAGUA), & Priego A.G., Isunza E., Luna N. y Pérez J.L. (2007). Información obtenida de los Datos Vectoriales de Cuencas Hidrográficas de México. Escala 1:250 000. Consultado 09-04-2020 en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>

- Karrfalt, R. P., & Belcher, E. W. (1977). *Evaluation of Seed Production by Cone Analysis*, Northeastern Forest Tree Improvement Conference, University of Maryland, Center for Environmental and Estaurine Studies, College Park, Maryland, Georgia. 84–89. Obtenido de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US198105880> 73
- Ledig, F. T., Bermejo-Velázquez, B., Hodgskiss, D. P., Johnson, R. D., Flores-López, C. & Jacob-Cervantes, V. (2000b). *The mating system and genic diversity in Martínez spruce, an extremely rare endemic of México's Sierra Madre Oriental: An example of facultative selfing and survival in interglacial refugia*. *Canadian Journal Forest*, 30(9), 1156–1164. Obtenido de: <https://www.fs.fed.us/research/people/profile.php?alias=phodgskiss>
- Ledig, F. T., Mápula-Larreta, M., Bermejo-Velázquez, B., Reyes-Hernández, V., Flores-López, C. & Capó-Arteaga, M. A. (2000a). *Locations of endangered spruce populations in México and the demography of Picea chihuahuana*. *Madroño*, 47(2), 71–88. Obtenido de: www.jstor.org/stable/41425349
- Leopold, A. S. (1950). *Vegetation zones of Mexico*. *Ecology*, 31(4), 507–518. doi:10.2307/1931569
- Lozano-García, M. S., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M., & Urrutia-Fucugauchi, J. (1993) *Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, central Mexico*. *Quaternary Research*, 40, 332–342. doi:10.1006/qres.1993.1086
- Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Hernández-Jiménez, L., Ramírez-García, E. O., & Rodríguez-Juárez, M. C. (2015). *Potencial de producción de semillas de Pinus chiapensis (Martínez) Andresen*. *Foresta Veracruzana*, 17(2), 47–52. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49743956007>
- Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Márquez-Ramírez, J., Ramírez-García, E. O., & Cruz-Jiménez, H. (2010). *Potencial de producción y eficiencia de semillas de dos cosechas de Pinus teocote Schl. et Cham.*

Foresta Veracruzana, 12(2), 21–26. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49719770004>

Mendoza-Maya, E., Espino-Espino, J., Quiñones-Pérez, C. Z., Flores-López, C., Wehenkel, C., Vargas-Hernández, J.J., & Sáenz-Romero, C. (2015). *Propuesta de conservación de tres especies mexicanas de picea en peligro de extinción. Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 235–247. Obtenido de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018773802015000300002&lng=es&tlng=es.

Mergen, F., Burley, J., & Furnival, G. M. (1965). *Embryo and seedling development in Picea glauca* (Moench) Voss after self-cross-, and wind pollination. *Silvae Genet*, 14(6), 188–194. Obtenido de: <https://www.cabi.org/ISC/abstract/19650603391>

Mosseler, A., & Rajora, O.P. (1998). *Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success. Environmental Forest Science*, 54, 333–344. doi: https://doi.org/10.1007/978-94-011-5324-9_36

Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lange, K., Park, Y.-S., ...Rajora, O.P. (2000). *Indicators of populations viability in red spruce, Picea rubens. I. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal of Botany*, 78, 928–940. doi: 10.1139/b00-065

Ochoa H., M. C., Márquez R., J., Mendizábal-Hernández, L. C., Cruz-Jiménez, H., Alba-Landa, J., & Ramírez-García, E. O. (2013). *Potencial y eficiencia de producción de semilla de Pinus patula Schl. et Cham. de una prueba de progenies en Tlacolulan, Veracruz. Foresta Veracruzana*, 15(2), 37–44. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49729248006>

Rajora, O. P. & Mosseler, A. (2001). *Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. Euphytica*, 118(2), 197–212. doi: 10.1023/A:1004150525384

- Ramírez G., E. O., Márquez R., J. & 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. Obtenido de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49790206>
- Rzedowski, J. (1996). *Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México*. *Acta Botánica Mexicana*, 35, 25–44. doi:10.21829/abm35.1996.955
- Sarvas, R. (1968). *Investigations on the flowering and seed crop of Picea abies*. *Commun. Inst. Forest. Fenniae*, 67, 1–84.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (Segunda sección). pp:1-77. Consultado 16-01-2020 en <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20Vigentes/NOM%20059%20SEMARNAT%202010%20PROTECCIÓN%20AMBIENTAL%20ESPECIES%20NATIVAS%20DE%20MÉXICO%20DOF%2030%20DIC%202010.pdf>
- Sigurgeirsson, A., & Szmidt, A. E. (1993). *Phylogenetic and biogeographic implications of chloroplast DNA variation in Picea*. *Nordic Journal of Botany*, 13(3), 233–246. doi:10.1111/j.1756-1051.1993.tb00043.x
- Sorensen, F.C., & Miles, R.S. (1974). *Self-pollination effects on Douglas-Fir and ponderosa pine seed and seedlings*. *Silvae Genet*, 23(5), 135–138. Obtenido de https://www.fs.fed.us/pnw/olympia/silv/publications/opt/147d_SorensenMiles1974.pdf
- Tukey, W, J. (1977). *Exploratory Data Analysis* (Vol. 2). Reading Addison-Wesley.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2020). La Lista Roja de especies amenazadas de la UICN. Versión 2020-3. Consultado 16-01-2020 en <http://www.iucnredlist.org>

Valdez T., V., Foroughbakhch P., R., & Alanís F., G. (2003). *Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña en el noreste de México*. *Red Ciencia UANL*, 6(3), 360–365. Obtenido de: http://eprints.uanl.mx/1518/1/distribucion_relictual.pdf

Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5^a ed.). Upper Saddle River, Nueva Jersey.