

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Producción, Pérdida e Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de
Pinus nelsonii Shaw en el Noreste de México

Por:

JESÚS PÉREZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Producción, Pérdida e Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de
Pinus nelsonii Shaw en el Noreste de México

Por:

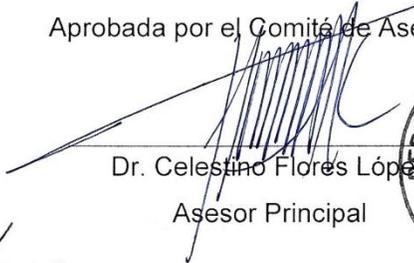
JESÚS PÉREZ DÍAZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

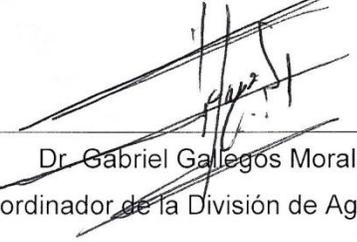
Aprobada por el Comité de Asesoría:

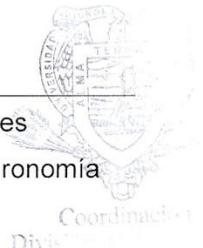

Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal




M.C. Salvador Valencia Manzo
Coasesor


Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor


Dr. Gabriel Gallegos Morales
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2018

A mis padres, Bertha Díaz Mayorga e Isidro Pérez Sánchez por tanto sacrificio aportado para la formación y superación de cada uno de nosotros, que la gran ilusión de su vida es ver a cada uno de sus hijos superarse para enfrentar la vida. Aunque para esto tuvieron que derramar sudor sagrado lleno de enseñanza y ejemplo de que todo se puede lograr con esfuerzo y trabajo. Gracias por el gran amor y cariño brindado y por ser los mejores ejemplos de superación y por enseñarnos el mejor camino del hombre que es la honestidad y respeto, los AMO viejitos adorados.

A mis hermanos, José Luis, María Luisa, Martina, Isidro, Víctor Hugo, Roberto y Adriana Guadalupe (Julissa) por demostrar en todo momento los valores inculcados por nuestros padres y mantenernos unidos siempre, por ser cómplices de un logro más para mí con la culminación de mi carrera, por el gran amor y cariño que no se dice, pero se siente y se demuestra con los buenos valores y respeto entre cada uno de nosotros, los quiero mucho.

A mi tío José Pérez Sánchez por todo el apoyo brindado durante nuestra niñez junto a mis hermanos muchas gracias.

A mi abuelita Luduvina Mayorga Girón por el cuidado y atención que nos proporcionaste en nuestra niñez cuando mi mamá se enfermaba y quedábamos solos por unos días. Gracias abuelita.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme vida y salud, que con su compañía durante la vida me ha servido para alcanzar cada logro.

Al Departamento Forestal, a todos y cada uno de mis profesores, maestros de la sabiduría en el campo forestal, transmitiendo su conocimiento día a día durante el tiempo de mi formación como profesionista forestal, por compartir sus experiencias en el campo laboral e inculcarme conocimientos básicos y valores profesionales para tener conciencia y valorar el manejo de los recursos naturales.

Al Dr. Celestino Flores López, asesor principal de este trabajo, que con su gran experiencia laboral, conocimiento y profesionalismo se logró cumplir con el objetivo, prestando tiempo y dedicación en la revisión, desde la etapa inicial hasta la obtención de resultados y culminación del estudio. Además, por todo el apoyo brindado durante el trabajo de laboratorio realizado para este estudio y por darme la oportunidad y confianza para las salidas en campo a trabajar y transitar por carreteras y lugares desconocidos conociendo diferentes escenarios de vegetación.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo, por la revisión de este documento que con su aportación de conocimientos se mejoró la calidad de este trabajo.

Al Ing. Sergio Braham Sabag, de la misma manera, por dedicar tiempo a la revisión de este documento y mejorarlo.

A mis amigos, Jonatán Sánchez Torres, Jazmín Martínez Vázquez, Adrián Rodríguez Moctezuma, Deysi Mariel Gutiérrez Noyola, Lorenzo Montalvo Anselmo, Merari Velázquez Castillo, Alejandro Sánchez García, Carlos Arturo Hernández Hernández y Alejandro Gómez Gutiérrez por brindarme su gran amistad y permitirme conocerlos como valiosas personas y compartir los mejores momentos de alegría, felicidad y malos momentos vividos en algún momento de la vida y en especial a José Núñez Álvarez que de todos los antes mencionados el más respetuoso.

A Jonatán Sánchez Torres, Francisco Pérez Celis, Judith Reyes Flores, Blanca Reyna López Velazco, Rocío Mendieta Oviedo, Oseyner Ruíz por haber colectado las muestras para este estudio.

A mi amigo Luis España Flores por ayudarme a la captura de datos del análisis de conos y semillas.

A mis compañeros de generación Lizeth Avendaño López, Feliciano Senovio Pastor, Luis Fredy Chipol Hernández, Juan Hernández Juárez, Francisco Pérez Celis, Reyna Arredondo, Alejandro Guzmán Castro, Alejandra Castro Alonso, Belén Guadalupe Aguilar Pérez, Luis Estrella Gallegos, Eduardo Arriola García, Carlos Alberto Loera Juárez, Selena Guadalupe Cantoral Hernández, Julio Vargas y Yorlendi Escobedo Ruedas por brindarme su amistad durante estos años, fue un gusto haberlos conocidos y compartir momentos alegres en las prácticas de campo y otros eventos realizados.

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos e hipótesis	4
2 REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Situación actual de los pinos piñoneros en México	5
2.1.1 Distribución.....	5
2.1.2 Importancia ecológica y económica.....	6
2.1.3 Evaluación de las especies en riesgo.....	7
2.2 Fragmentación de hábitats y pérdida de diversidad genética.....	8
2.3 Análisis de conos y semillas.....	10
2.3.1 Indicadores reproductivos	11
3 MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Descripción de las localidades de <i>Pinus nelsonii</i>	13
3.2 Selección de árboles y colecta de conos.....	13
3.3 Producción y pérdida de semillas e indicadores reproductivos	17
3.3.1 Medición de las variables morfológicas del cono y clasificación de escamas.....	17
3.3.2 Análisis de producción y pérdida semillas	20
3.3.3 Indicadores reproductivos	21
3.4 Análisis estadístico.....	22
3.4.1 Producción y pérdida de semilla.....	23

3.4.2 Indicadores reproductivos	23
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1 Producción y pérdida de semillas entre poblaciones	24
4.1.1 Potencial de semillas.....	24
4.1.2 Eficiencia de semillas	26
4.2 Indicadores reproductivos	29
5 CONCLUSIONES.....	35
6 RECOMENDACIONES	36
7 LITERATURA CITADA	37
APÉNDICE	44

ÍNDICE DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Características de la localización de las poblaciones de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw en Tamaulipas y Nuevo León.....	15
Cuadro 2. Potencial y eficiencia de semillas en diferentes especies y localidades de pinos piñoneros.	26
Cuadro 3. Medias y error estándar para características reproductivas de conos y semillas en cuatro poblaciones naturales de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.....	31
Cuadro 4. Medias de indicadores reproductivos de diferentes coníferas y localidades.	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Ubicación y distribución de las poblaciones naturales de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.	16
Figura 2. Variables evaluadas de conos cerrados durante la última fase de maduración de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.....	18
Figura 3. Características morfológicas de las semillas evaluadas de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw para la evaluación de indicadores reproductivos y pérdida de semillas.	19
Figura 4. Producción y pérdida de semillas de cuatro poblaciones de <i>Pinus nelsonii</i> Shaw.	25

RESUMEN

Pinus nelsonii es una especie de pino piñonero endémica de México, se localiza en la Sierra Madre Oriental, está clasificada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 en peligro de extinción, debido a que se encuentra en poblaciones pequeñas y restringidas. Con el propósito de conocer la viabilidad de las poblaciones se evaluó la capacidad reproductiva de conos y semillas de cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* en el noreste de México. Para este estudio se analizó la producción y pérdida de semillas e indicadores reproductivos de 30 a 43 árboles por poblaciones, colectados en el año 2016, mediante el cual se encontró como resultado diferencias significativas entre poblaciones en cuanto a la producción y pérdida de semillas. *Pinus nelsonii* presentó un potencial de semillas promedio de 112, el más alto entre los piñoneros y un promedio de 42.3 % de eficiencia de semillas. Los resultados de los indicadores reproductivos de conos y semillas evaluados demuestran que hay pérdida de semillas por óvulos abortados, óvulos rudimentarios y semillas dañadas por insectos. La eficiencia reproductiva fue alta para la población Las Antonias, Felipe Ángeles y Miquihuana (0.52 a 0.90), el índice de endogamia promedio fue bajo (0.27) con un rango de (0.25 a 0.31). Es importante seguir monitoreando las poblaciones para conocer la respuesta de los resultados obtenidos en este estudio y compararlo con otros años de colectas.

Palabras claves: *Pinus nelsonii*, potencial de semillas, eficiencia de semillas, indicadores reproductivos.

ABSTRACT

Pinus nelsonii is an endemic specie of pine of Mexico is located in the Sierra Madre Oriental, it classified in the NOM-059-SEMARNAT-2010 as endangered because it is small and restricted populations. In order to assess the viability of populations reproductive capacity cones four natural populations of *Pinus nelsonii* in northeastern Mexico was evaluated. For this study the production and loss of seeds and reproductive indicators of cones and seeds of 30 to 43 trees collected in the 2016 population was analyzed, whereby it was found as a result significant differences between populations in terms of production and loss seeds. *Pinus nelsonii* presented a potential average 112 seeds, the highest among the pinyon and an average of 42.3% efficiency seed. The results of reproductive indicators evaluated cones and seeds demonstrate that no loss of seeds by ovule abortion, crude eggs and insect-damaged seeds. The reproductive efficiency was high for the population of Las Antonias, Felipe Ángeles and Miquihuana (0.52 to 0.90), the average inbreeding index was low (0.27) with a range of (0.25 to 0.31). It is important to continue monitoring the populations to know the response of the results obtained in this study and compare it with other years of collections.

Key words: *Pinus nelsonii*, seed potential, seed efficiency, reproductive indicators.

1 INTRODUCCIÓN

Inicialmente *Pinus nelsonii* Shaw fue descrito por G. R. Shaw entre los años 1904-1905 basado en la colección de E.W. Nelson en junio de 1898 en una montaña localizada en el Municipio de Miquihuana, Tamaulipas, cerca de la frontera con Nuevo León (Farjon y Styles, 1997). Se distribuye de forma natural en el Noreste de México, en los estados de Tamaulipas, Nuevo León y San Luis Potosí (Perry, 1991; IUCN, 2017).

Esta especie se encuentra geográficamente restringida en México, formando manchones de pequeñas poblaciones y separadas en diferentes localidades con áreas de distribución limitada y que por tales aspectos es considerada una especie endémica local, su zona de distribución corresponde a la región geográfica mexicana del Noreste y Este de México (Farjon *et al.*, 1997) , las poblaciones más importantes se encuentran concentradas alrededor de las montañas altas del Cerro San Antonio Peña Nevada de Nuevo León y Tamaulipas en un rango altitudinal que oscila de 1800 a 3100 m (Perry, 1991) correspondiente a climas semiáridos, donde casi siempre se encuentran colindando con matorrales xerófilos y las montañas más húmedas y por lo general también se encuentra acompañado de diversos géneros como *Agave*, *Yucca*, *Dasyllirion*, *Juniperus* y *Quercus* (Rzedowski, 1978).

Aunque su presencia es en tres estados, su distribución está limitada únicamente en las zonas de colindancias de esos tres estados, *Pinus nelsonii* es considerada una especie rara endémica que se encuentra clasificada en estatus de riesgo, en la categoría de peligro de extinción dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010). Por su parte, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) de acuerdo a sus criterios de clasificación la cataloga en peligro (IUCN, 2017). La mayoría de las especies de pinos piñoneros que se encuentran en México tienen distribución geográfica restringida y poblaciones pequeñas y están clasificadas en alguna categoría de riesgo dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), excepto *Pinus cembroides* Zucc., que se distribuye ampliamente por el territorio nacional

desde el norte de Sonora y Chihuahua hasta el sur en el estado de Puebla (Lanner, 1981).

Las poblaciones de *Pinus nelsonii* se encuentran severamente fragmentadas en poblaciones pequeñas con una tendencia actual de la disminución del arbolado maduro, sus sitios de localización se encuentran restringidos principalmente en zonas de piedras calizas rocosas con poca profundidad, con una precipitación anual que oscilan entre los 300 y los 600 mm (IUCN, 2017).

Esta especie no tiene una explotación comercial debido a su estado de rareza en lugares remotos e inaccesibles y su pequeño tamaño (IUCN, 2017), tiene una importancia a nivel local como productor de nuez o piñones, los pobladores adyacentes a estas comunidades prefieren el sabor de este piñonero que la del piñón mexicano (Lanner, 1981), debido a que esta especie se encuentra en superficies pequeñas, la producción y cultivo de piñones puede ser baja comparada con la especie de *P. cembroides* que tiene una distribución más amplia en el país (Farjon y Styles, 1997); por otra parte, la producción de semillas varía de un año a otro, por lo que este uso puede ser considerado como una actividad exclusivamente local (Farjon *et al.*, 1997).

Las semillas o piñones de *Pinus nelsonii*, además de servir como alimento para el ser humano, también son importantes para el alimento de aves y roedores, por otra parte, por ser una especie endémica en peligro de extinción puede ser usada para la conservación mediante el almacenamiento de semillas en condiciones adecuadas de humedad y temperatura y para establecimientos de plantaciones forestales dentro de hábitat natural (conservación *in situ*) o fuera (conservación *ex situ*) (Prieto y López, 2006).

Debida a la situación de que la especie que se encuentra en rodales pequeños, puede proporcionar alternativas para obtener mejor calidad y cantidad de piñones para la comercialización, mediante el establecimiento de plantaciones forestales, además se le brindaría un mejor manejo silvícola (García, 1989; Caballero y Ávila, 1989).

Estos bosques de piñoneros como todos los bosques en general en el mundo cumplen un papel esencial en el ambiente, proporcionando una diversidad de servicios ecológicos como la protección del suelo y agua, regulan el clima y preservan la biodiversidad, proporcionando materias primas y alimento para el sustento de los seres humanos, pero, hoy en día estos ecosistemas enfrentan grandes desafíos a consecuencia del incremento demográfico poblacional (FAO, 2014).

Actualmente esta especie está sufriendo una creciente disminución poblacional debida principalmente por la alteración del hábitat (IUCN, 2017). El uso de suelo es el factor de mayor relevancia que pone en riesgo la estabilidad de estos ecosistemas que, traen como consecuencia el uso desmedido de los bosques (FAO, 2014), el sobrepastoreo, incendios forestales, plagas y enfermedades (FAO, 2014; Cibrián-Tovar *et al.*, 1998; IUCN, 2017; Caballero y Ávila, 1989) y por causas de estas actividades, actualmente se ha registrado una disminución de las áreas cubiertas por bosques de coníferas (Gernandt y Pérez de la Rosa, 2014).

Una desventaja que presentan los piñonares es que no son resistentes a los incendios debido a que presentan corteza delgada a diferencia de otros pinos de corteza gruesa o que tienen la capacidad de rebrotar como *Pinus teocote* Shiede ex Schltdl., la peor amenaza es cuando se encuentran en topografía accidentada donde el incendio puede ser más drástico alcanzando las copas, pero en terrenos llanos donde hay incidencia de pastoreo el incendio es de porte rastro (López y Gómez, 1989).

Por otro lado, la sobre-explotación de semillas es una problemática a la que están sujetas las poblaciones de piños piñoneros ya que el aprovechamiento desmedido pone en riesgo a las poblaciones hasta tal punto que pueden llegar a estar en peligro de extinción (Caballero y Ávila, 1989).

De acuerdo a la problemática que presenta esta especie es necesario establecer urgentemente medidas de protección mediante la creación de reservas

en áreas donde se encuentre la especie y excluir todas las actividades que afectan o impiden el establecimiento de la regeneración natural (IUCN, 2017).

1.1 Objetivos e hipótesis

Los objetivos son:

- Estimar y comparar la producción y la pérdida de semillas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii*.
- Estimar y comparar los indicadores reproductivos de conos y semillas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii*.

Las hipótesis nulas propuestas son:

Ho: La producción y pérdida de semillas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* son iguales.

Ho: Los indicadores reproductivo de conos y semillas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* son iguales.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Situación actual de los pinos piñoneros en México

2.1.1 Distribución

La mayoría de los piñoneros son especies endémicas, su distribución están geográficamente restringidas en México (Passini, 1982) y clasificadas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo alguna categoría de riesgo (SEMARNAT, 2010), el endemismo de estas especies en México tienen un grado de significancia de poblaciones pequeñas y área de distribución limitada (Campos, 1984; Farjon *et al.*, 1997).

En la actualidad en México existen 16 especies de pinos piñoneros distribuidos principalmente en los estados del norte y centro de la República Mexicana: *Pinus monophylla* Torr. *et* Frem, *Pinus edulis* Engelm, *Pinus remota* (Little) Bailey *et* Hawksworth, *Pinus catarinae* M-F Robert-Passini, *Pinus cembroides* Zucc, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* Bailey, *Pinus discolor* Bailey *et* Hawksworth, *Pinus johannis* M-F Robert, *Pinus lagunae* M-F Robert-Passini, *Pinus cuadrifolia* Parl, *Pinus juarezensis* Lanner, *Pinus culminicola* Andresen *et* Beaman, *Pinus pinceana* Gord, *Pinus maximartinezii* Rzedowski, *Pinus nelsonii* y *Pinus rzedowski* Madrigal *et* Caballero (Perry, 1991).

La distribución de estas especies de piñoneros, se encuentran en las regiones semiáridas de la Sierra Madre Oriental y Occidental constituyendo comunidades naturales de suma importancia (Passini, 1985; Zuzán-Azpiri *et al.*, 2002). Los estados en que se encuentran son: Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, hasta Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Perry, 1991).

Especies como *Pinus nelsonii* comprenden una distribución restringida (Perry, 1991), ésta en especial se encuentra en un escenario muy distinguido, formando una zona transicional entre los pastizales y matorrales con vegetación xerófila y las montañas húmedas y templadas de mayor altitud (Rzedowski, 1978) otros presentan distribuciones con climas aún más extremos como los pinos costeros californianos y los que presentan distribuciones ampliamente como *P. cembroides*. (Perry, 1991).

2.1.2 Importancia ecológica y económica

Durante siglos estos bosquecillos de piñoneros han proporcionado una gran variedad de servicios ecológicos y económicos a las poblaciones locales (Lanner, 1981). Algunas de estas especies piñoneras aportan posibilidades de proporcionar servicios ecológicos como la retención y acumulación de suelos mediante el establecimiento de plantaciones, pueden usarse con el propósito de restaurar áreas degradadas o tierras de cultivo de baja productividad debido a que son especies de lento crecimiento y hábito arbustivo con ramas extendidas sobre la superficie del suelo (Campos, 1984). Otros son principales proveedores para la producción de semillas comestibles de mayor importancia comercial en el mercado nacional y generadora de economía temporal en las zonas rurales como *Pinus cembroides* (Campos, 1984; Prieto y López, 2006), en otros casos como *Pinus nelsonii* se cosechan únicamente para consumo local (Campos, 1984).

Los piñoneros son típicos de las zonas semiáridas de México (Rzedowski, 1978), son productos de una selección natural mediante el cual se vinieron adaptando después de varios efectos climáticos (García, 1985). Desde hace años los pinos piñoneros han venido evolucionando y sufriendo diferentes cambios para adquirir una adaptación a los ecosistemas y se caracterizan por presentar adaptación a condiciones drásticas de sequía, suelos muy pobres (Caballero y Ávila, 1989) y heladas (Rosas *et al.*, 2016), se han adaptado y tienen la capacidad de soportar y resistir estas condiciones ambientales que son las más adversas y extremas para los seres vivos (Caballero y Ávila, 1989; Rosas *et al.*, 2016).

Particularmente los pinos piñoneros se han establecido en áreas donde las precipitaciones anuales son bajas, se han adaptado y han sobresalido en laderas de montañas rocosas, en un ambiente donde los suelos son poco profundos e inclinados (Fonseca, 2003), por eso estas especies de piñoneros han desarrollado una capacidad adaptación a la escasez del recurso agua (Caballero y Ávila, 1989).

La distribución de los piñoneros se localiza a diferentes altitudes, oscilan entre 1200 a 3200 msnm (Bailey y Hawksworth, 1987). Por otra parte, algunas especies que se encuentran en la zona de Baja California Norte se presentan en climas mediterráneos, caracterizados por precipitaciones en invierno (Eguiluz, 1982). Además, estos bosques de piñoneros son capaces de soportar y vivir en colindancias con diferentes tipos de vegetación como, pastizales, matorrales xerófilos o encinares arbustivos (Rzedowski, 1978).

En relación a la ubicación de los piñoneros, *Pinus cembroides* siempre es el primero en aparecer ascendiendo de las partes más bajas a las partes montañosas más húmedas (Bailey y Hawksworth, 1987), se encuentra establecido en las partes más áridas y por lo tanto es más tolerante a la sequía lo cual le permite mantenerse en ese ambiente (Benavides y García, 1989).

2.1.3 Evaluación de las especies en riesgo

Tambutti *et al.* (2001) dicen que la extinción de una especie es la muerte de ella, la desaparición física de todos los individuos que lo componen o población, de tal forma, también se puede hablar de extinción local cuando en una región o país han desaparecido las poblaciones de una especie estudiada.

En México, la NOM-059-SEMARNAT-2010 es la encargada para determinar la categoría de riesgo de extinción de una especie o población (Sánchez *et al.*, 2012). Es un instrumentico jurídico administrativo, que identifica especies silvestres en riesgo de extinción y tiene aplicación sólo a nivel nacional (Sánchez *et al.*, 2012). En el Anexo II especifica el método de evaluación de riesgo para las especies nativas de México (MER-plantas) (SEMARNAT, 2010).

El MER es una herramienta aplicable únicamente en México, se encarga principalmente en recaudar toda la información necesaria para conocer los factores que afectan a un taxón en el país (Sánchez *et al.*, 2012). Su aplicación consiste siguiendo un conjunto de criterios específicos de la especie como: amplitud de la distribución del taxón (cuatro niveles), estado del hábitat con respecto al desarrollo natural del taxón (tres niveles), vulnerabilidad biológica intrínseca del taxón (tres niveles) e impacto de la actividad humana sobre el taxón (tres niveles) (SEMARNAT, 2010).

2.2 Fragmentación de hábitats y pérdida de diversidad genética

La creciente alteración y destrucción de los ecosistemas son las principales causas de la pérdida de la biodiversidad a nivel mundial (IUCN, 1980), por ejemplo: el cambio de uso de suelo para el establecimiento de áreas agrícolas, pastizales para el ganado, desarrollo urbano, infraestructuras viales, son actividades que el hombre realiza incesantemente (Loo, 2011; Haddad *et al.*, 2015) provocando la fragmentación, separación y aislamiento de las poblaciones que conlleva una pérdida de diversidad genética con el paso del tiempo (Young *et al.*, 1996; Loo, 2011).

Algunas consecuencias de la fragmentación de los ecosistemas es que inmediatamente tienen que soportar los cambios y alteraciones, modificando principalmente el paisaje original, aislando y alejando las poblaciones, de superficies mayores pasan a ser más pequeñas, cambian una serie de factores ecológicos que afecta directamente a la flora y fauna, suelo y agua, los nuevos fragmentos formados tiene que responder a los nuevos cambios que en ellos se originaron , todo este conjunto de alteraciones pone en riesgo la estabilidad demográfica de las especies (Loo, 2011).

Por su parte Young *et al.* (1996) mencionan que, según las predicciones iniciales de la fragmentación, estas consecuencias también irán acompañadas de una erosión de la variabilidad genética y la divergencia genética interpoblacional debido al aumento de la deriva genética lo cual tiende a formar una población homocigótica, la endogamia elevada y el flujo reducido de genes.

En un estudio realizado por Aguilar *et al.* (2008) mediante metanálisis probaron la generalidad de la hipótesis de que la fragmentación de hábitat afecta la diversidad genética de las poblaciones de las plantas y que ciertos antecedentes de vida y los rasgos ecológicos de las plantas pueden determinar la susceptibilidad diferencial a la erosión genética en hábitats fragmentados; observaron aumentos significativos en el coeficiente de endogamia en hábitats fragmentados sólo en estudios que analizaron progenies, el sistema de apareamiento y el estado de rareza de las plantas explicaron la mayor proporción de variación en el tamaño del efecto entre las especies, además de que la edad del fragmento fue importante para explicar la variabilidad entre los tamaños del efecto, concluyendo que cuanto mayor es el número de generaciones transcurridas en condiciones de fragmentación, mayor es la magnitud negativa de los tamaños del efecto sobre la heterocigosidad.

Las poblaciones pequeñas no todas se originan a partir de la fragmentación por las actividades humanas, si no que algunas son pequeñas y dispersas por naturaleza y es difícil encontrar sitios semejantes para su establecimiento, las especies se han adaptado a vivir en áreas pequeñas y en la mayoría de los casos pueden realizar intercambio de genes (Loo, 2011). Por ejemplo, pueden ser los casos de las especies endémicas de coníferas, las cuales tienen distribuciones poblacionales geográficamente restringidas y poblaciones pequeñas (SEMARNAT, 2010).

Estas especies con poblaciones pequeñas pueden sufrir o padecer una erosión genética que es pérdida de diversidad genética dentro de la especie y que puede representar la pérdida de poblaciones enteras genéticamente hasta llegar a la pérdida final de la diversidad genética que es la extinción de la especie (Ahuja y Jain, 2015)

La susceptibilidad de extinción de especies de plantas es más probable que ocurra en las poblaciones pequeñas debido a la pérdida de la variación genética a través de la deriva genética aleatoria, aumento de la autopolinización y el

apareamiento entre individuos cercanamente relacionados entre sí (Honnay y Jacquemyn, 2007).

Ahuja y Jain (2015) mencionan que las poblaciones que genéticamente son menos diversas pueden ser más susceptibles a patógenos u otras tensiones ambientales y que la pérdida de diversidad genética reduce la evolución potencial y la aptitud reproductiva de las especies. Por ejemplo, las poblaciones pequeñas están expuestas al aumento de la deriva génica y la endogamia, a través de la deriva génica pierden diversidad genética o pérdidas de alelos a través del tiempo, y con la endogamia realizan la autopolinización entre individuos emparentados o cercanos genéticamente causada porque la dispersión de genes a través del polen está espacialmente restringida (Ellstrand y Elam, 1993).

Por lo tanto las especies que se encuentran en poblaciones pequeñas tienen mayor probabilidades de tener tasas altas de endogamia (Ahuja y Jain, 2015), y trae como resultado la baja producción de semillas viables, un peso menor de las semillas o viabilidad reducida de polen (Loo, 2011).

La deriva génica y la autopolinización (endogamia) son dos factores que pueden influir en la desaparición de las poblaciones pequeñas y aisladas, aumentando la homocigosidad por la carencia de flujo genético y la pérdida de heterocigosidad dentro de ellas (Ellstrand y Elam, 1993), sumándole las perturbaciones que pueden sufrir como los incendios forestales u otras fenómenos naturales que puede influir en la degradación de estas poblaciones (Loo, 2011).

2.3 Análisis de conos y semillas

La técnica para determinar la eficiencia de semillas fue utilizada por primera vez para el pino rojo, *Pinus resinosa* Ait., por Lyons en 1956 (Bramlett *et al.*, 1977). Posteriormente Bramlett en 1972 y 1974 modificó y desarrolló el procedimiento como análisis de conos, usándolo para evaluar la eficiencia de reproducción en los huertos semilleros de pinos en el sur de Estados Unidos (Bramlett *et al.*, 1977).

El análisis de conos y semillas es una herramienta que proporciona información de la producción de semillas en el cual se compara la producción real de semillas de conos individuales con la cosecha potencial de semilla. Entonces, la productividad puede ser expresada en términos de eficiencia de semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

También, con este método se puede determinar en qué fase del desarrollo de la semilla ocurren algunas pérdidas e identificarse y cuantificar las fallas en las semillas, pero, para conocer el análisis de conos se requiere un conocimiento básico acerca del desarrollo y morfología de cono (Bramlett *et al.*, 1977).

La técnica del análisis de conos y semillas consiste en extraer las escamas del núcleo del cono de forma manual y sistemática, clasificarlas en escamas fértiles y escamas infértiles, posteriormente se evalúa las siguientes características: óvulos abortados del primero y segundo año, número de semillas llenas y vanas. El número de escamas clasificadas como fértiles sirve para determinar el potencial biológico del cono para producir semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

El análisis de conos y semillas sirve para conocer la productividad de semillas, expresándose como eficiencia de semilla, mientras tanto el potencial de semillas se define como el número de escamas fértiles de un cono multiplicado por dos, o bien, es la cantidad de semillas totales que el cono puede producir; la eficiencia de semillas es, entonces, la cantidad de semillas llenas en relación al potencial de semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

La causa de la producción de semillas vanas cuantificadas en el análisis de conos se le atribuye principalmente a la escasez y baja viabilidad de polen y los daños por insectos y hongos (Bramlett *et al.*, 1977).

2.3.1 Indicadores reproductivos

Dentro del análisis de conos, la medición y la cuantificación de las características del cono son las variables que se usan como indicadores reproductivos, por ejemplo: longitud y ancho del cono, peso seco del cono,

escamas fértiles, proporción de semillas llenas, proporción de semillas vanas, proporción de óvulos abortado y el coeficiente de endogamia (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000; Flores *et al.*, 2005).

Los resultados que se obtiene con los indicadores reproductivos sirven para evaluar los aspectos reproductivos y genético de las poblaciones en riesgo de coníferas (Mosseler *et al.*, 2000).

La depresión endogámica en las poblaciones pequeñas se manifiesta mediante la reducción de semillas viables, la pérdida de vigor de las semillas y en el rendimiento en el crecimiento de las plántulas nuevas, una causa puede ser que el flujo de polen es muy limitado debido al aislamiento entre poblaciones lo cual puede dirigirlo a la extinción (Mosseler *et al.*, 2000).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción de las localidades de *Pinus nelsonii*

Las poblaciones sujetas al estudio se encuentran ubicadas en la Región Norte de la Sierra Madre Oriental, la fecha de colecta se efectuó el 16 y 17 de septiembre del año de 2016. La primera población de colecta se denomina Joyas de San Lázaro, en el Estado de Nuevo León, seguidas de las poblaciones de Miquihuana, Las Antonias y Felipe Ángeles; estas tres últimas se encuentran en el estado de Tamaulipas. Enseguida se muestran las características de las poblaciones (Cuadro 1).

3.2 Selección de árboles y colecta de conos

La selección de los árboles para colectar los conos fue mediante un muestreo dirigido, eligiendo árboles que tuvieran una mejor producción de conos. Se registraron las coordenadas geográficas, altitud y exposición de cada árbol colectado. Se midieron las variables dasométricas de cada árbol, altura, diámetro normal, diámetro de copa y se consideró una distancia mínima entre árbol de 50 metros para evitar que los arboles seleccionados tuvieran comparecencia genética.

Se realizó la colecta de conos mediante el método de escalado de árboles, para los conos que estaban en las partes más altas y en las orillas se usó la garrocha o gancho corta conos, se cortaron conos verdes en diversas partes del árbol, cerrados y en buen estado, se depositaron en una bolsa de plástico, marcadas con un plumón de tinta permanente para identificarlos fácilmente con los siguientes datos: localidad, número de árbol y la fecha de colecta. Posteriormente, el material colectado fue trasladado al Laboratorio del Departamento Forestal de la

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro para continuar con las actividades correspondientes al análisis de los conos.

Para tener mayor certeza de los resultados se seleccionó un tamaño de muestra grande de 30 a 43 árboles por localidad (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de la localización de las poblaciones de *Pinus nelsonii* Shaw en Tamaulipas y Nuevo León.

Población	Municipio ¹	Estado	No. de árboles	Altitud (msnm)	Coordenadas	Clima ²	Tipo de suelo ³	Tipo de vegetación ⁴	Temperatura media anual ²
Joyas de San Lázaro	General Zaragoza	Nuevo León	35	2230	23°48'8.51"N 99°54'3.82"O	Semiárido, templado BS1k (x')	Litosol	Bosque de pino encino	2 a 18 °C
Miquihuana	Miquihuana	Tamaulipas	43	2050	23°31'13.55"N 99°46'44.81"O	Semiárido, templado BS1k (x')	Litosol, Redzina	Bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino	12 a 18 °C
Las Antonias	Bustamante	Tamaulipas	37	2100	23°23'57.79"N 99°51'16.77"O	Semiárido templado BS1k(x')	Litosol	Bosque de pino, bosque de táscate y matorral rosetófilo con crasi-rosulifolios	12 a 18 °C
Felipe Ángeles	Bustamante	Tamaulipas	30	2030	23°24' 0.30"N 99°46'19.32"O	Semiárido, templado BS1k (x') y templado subhúmedo C(wo)	Litosol	Matorral desértico rosetófilo con crasi-rosulifolios	12 a 18 °C

¹ Información tomada de los datos Vectoriales de Municipios de la República Mexicana, escala 1:16,000,000 (CONABIO, 2005), ² Información tomada de los datos vectoriales la carta de climatología, escala 1:1,000,000 (García-CONABIO, 1998), ³ Información tomada de los datos vectoriales de la carta edafológica, escala 1:1,000,000 (INIFAP-CONABIO, 1995), ⁴ Información tomada de del conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación, escala 1:16,000,000 (INEGI, 1997).

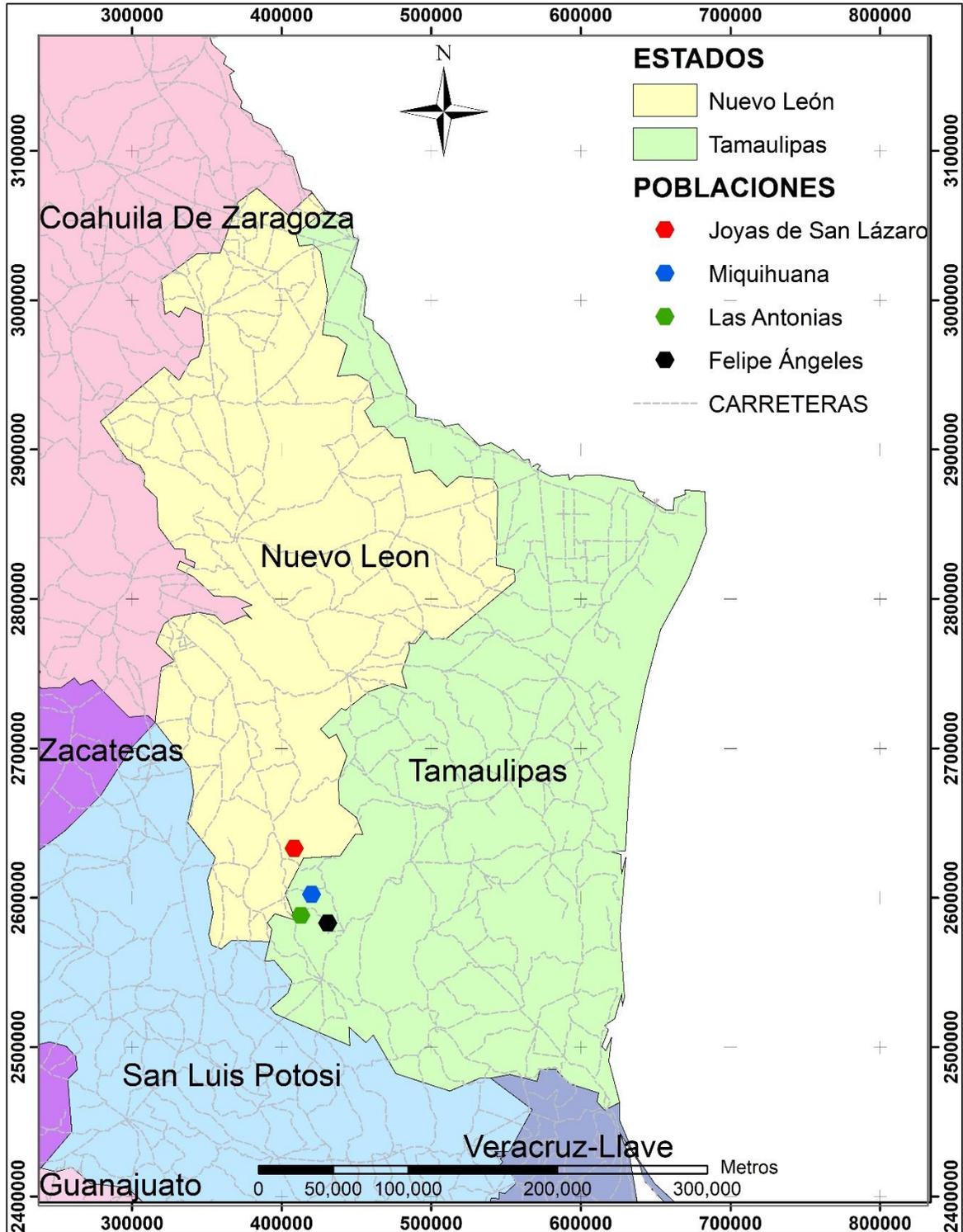


Figura 1. Ubicación y distribución de las poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* Shaw.

La población Joyas de San Lázaro y Miquihuana se encuentran dentro de la región terrestre prioritaria San Antonio- Peña nevada (Arriaga *et al.*, 2000), tanto estas poblaciones y la población Las Antonias corresponden a un clima semiárido, templado BS1k (x') y la población Felipe Ángeles se encuentra en un área de colindancia entre dos tipos de climas, semiárido templado BS1k (x') y templado, subtropical C(wo), presentan una temperatura media anual de 12 a 18 °C, una temperatura del mes más frío que va de -3 a 18 °C y una temperatura del mes más caliente menor a 22°C, con lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal mayor al 18 % del total anual (García-CONABIO, 1998).

3.3 Producción y pérdida de semillas e indicadores reproductivos

3.3.1 Medición de las variables morfológicas del cono y clasificación de escamas

Cuando los conos aún estaban cerrados se midieron las variables morfológicas de largo y ancho del cono (Figura 2), longitud y ancho de la base del pedúnculo. La medición de la base del pedúnculo, largo y ancho del cono se realizó con la ayuda de un vernier de 0.1 mm de precisión y para la longitud del pedúnculo con un hilo y una regla de 30 cm. El largo del cono se midió desde la base hasta el ápice del cono, el ancho se midió en la parte más amplia. Cada cono se guardó individualmente en un sobre de papel estraza.

Después de clasificarlos individualmente en sobres de papel estraza con sus respectivas claves, localidad, número de árbol y número de cono se colocaron en un área de concreto expuesta directamente al sol durante una semana para facilitar la apertura, extraer la humedad y evitar que se dañaran por hongos (Bustamante-García *et al.*, 2012).

Posterior al secado de los conos las escamas se separaron de la médula central de forma manual y sistemática empezando por las escamas basales, intermedias hasta las escamas terminales y fueron clasificadas de acuerdo a Bramlett *et al.* (1977) en escamas fértiles e infértiles donde las escamas fértiles son aquellas escamas del cono que son capaces de producir semillas;

generalmente incluye la mayoría de las escamas a la mitad superior a dos tercios del cono, y las escamas infértiles son aquellas escamas del cono incapaz de producir semillas ubicadas en la base y el ápice del cono.

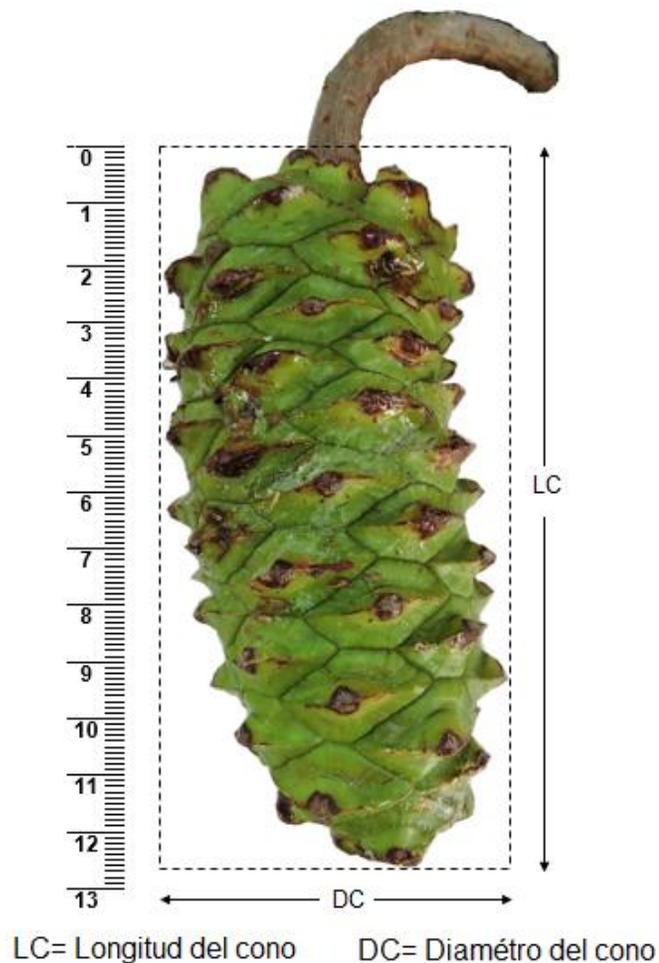
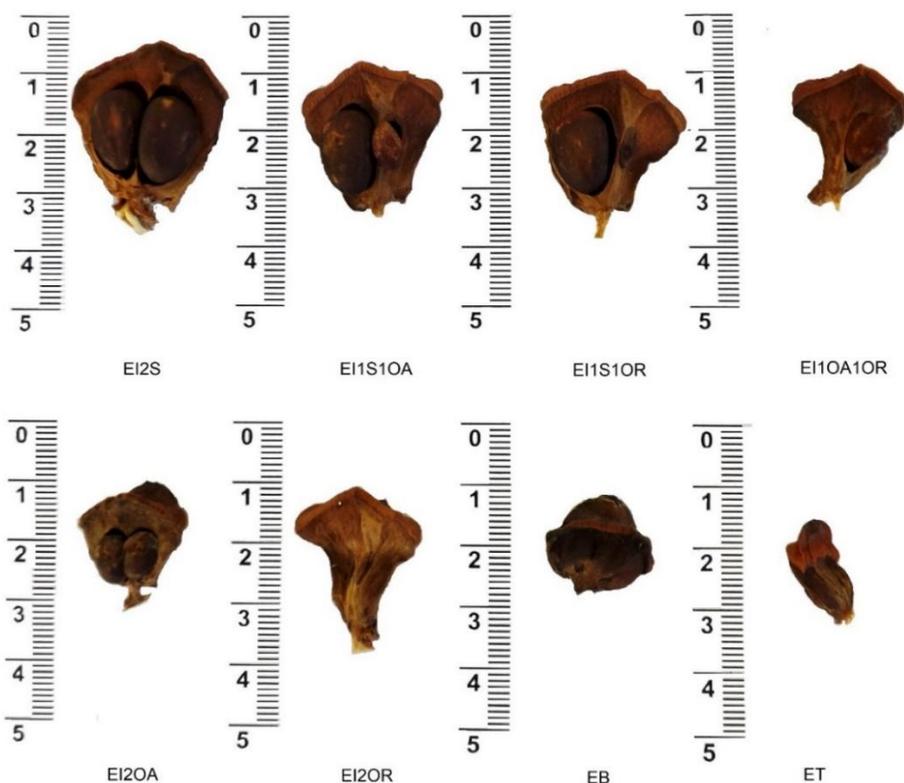


Figura 2. Variables evaluadas de conos cerrados durante la última fase de maduración de *Pinus nelsonii* Shaw.

Cada cono destrozado se guardó en el sobre de papel que anteriormente se le había marcado para meterlo en la estufa de secado y obtener el peso seco a una temperatura de 102 °C durante un día y medio.

Después de quitar las escamas del cono, fueron separadas y clasificadas de acuerdo a Bramlett *et al.* (1977) en escamas fértiles e infértiles, la clasificación

se realizó sobre una cartulina de papel separada en cuadrículas que contenía las siguientes claves donde fueron colocadas cada escama, EB=Escama basal con óvulos rudimentarios; ET= Escama terminal con óvulos rudimentarios; EI1S1OR= Escama intermedia con una semilla y un óvulo rudimentario; EI1S1OA= Escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado; EI2S= Escama intermedia con dos semillas desarrolladas; EI1OA1OR= Escama intermedia con un óvulo abortado y un ovulo rudimentario; EI2OA= Escama intermedia con dos óvulos abortados: EI2OR= Escama intermedia con dos óvulos rudimentarios y SDIHB= Semillas dañadas por insectos, hongos y bacterias (Figura 3).



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

Figura 3. Características morfológicas de las semillas evaluadas de *Pinus nelsonii* Shaw para la evaluación de indicadores reproductivos y pérdida de semillas.

3.3.2 Análisis de producción y pérdida semillas

La producción y pérdida de semillas se avaluó de acuerdo al conteo realizado durante la clasificación de las escamas en donde se obtuvo el potencial de semillas, número de semillas desarrolladas, óvulos abortados y óvulos rudimentarios donde:

$$\text{Potencial de semillas (PS)} = \text{Escamas fértiles} \times 2$$

$$\text{Semillas desarrolladas (SD)} = \text{SV} + \text{SLL} + \text{SDIHB}$$

$$\text{Óvulos abortados (OA)} = \text{EI1S1OA} + \text{EI0A1OR} + \text{EI2OA} \times (2)$$

$$\text{Óvulos rudimentarios (OR)} = \text{EI1S1OR} + \text{EI1OA1OR} + \text{EI2OR} \times (2)$$

Dónde:

SLL = Semillas llenas

SV = Semillas vanas

SDIHB = Semillas dañadas por insectos, hongos y bacterias

EI1S1OA = Escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado

EI1OA1OR = Escama intermedia con un óvulo abortado y un ovulo rudimentario

EI2OA = Escama intermedia con dos óvulos abortados

EI1S1OR = Escama intermedia con una semilla y un óvulo rudimentario

EI1OA1OR = Escama intermedia con un óvulo abortado y un ovulo rudimentario

EI2OR = Escama intermedia con dos óvulos rudimentarios

La eficiencia de semillas se obtuvo mediante la separación de semillas llenas y vanas por el método de flotación en agua, para este procedimiento se usó vasos desechables transparentes, agua purificada y mallas de tela para separar las semillas llenas. Después del sumergimiento se contó el número de semillas llenas y vanas anotando estos datos en el formato, la cantidad de semilla llena se guardó por separado en un sobre semillero de papel estraza, se extrajo la humedad de la semillas colocándolas en la estufa a una temperatura de 30 °C

durante 20 minutos, después se tomó el peso de la semilla llena con el apoyo de una balanza electrónica de 0.1 gr de precisión.

3.3.3 Indicadores reproductivos

Los indicadores reproductivos que se evaluaron para este estudio fueron: peso seco del cono, proporción de semillas llenas, vanas y abortadas por cono, eficiencia reproductiva (peso de la semilla llena en relación al peso seco del cono), peso de las semillas llenas y coeficiente de endogamia.

De acuerdo a Bramlett *et al* (1977) se estimó los indicadores reproductivos de la siguiente manera:

$$\text{Proporción de semillas llanas (PSLL)} = \text{SLL/PS}$$

$$\text{Proporción de semillas vanas (PSV)} = \text{SV/PS}$$

$$\text{Proporción de semillas abortadas (POA)} = \text{OA/PS}$$

Donde:

SLL = Semillas llenas

PS = Potencial de semillas

OA = Óvulos abortados

SV = Semillas vanas

Mientras que la eficiencia reproductiva y el indicador de endogamia de cálculo de acuerdo a (Mosserer *et al.*, 2000) que fue la relación de:

$$\text{Eficiencia reproductiva (ER)} = \text{PSLL (gr) / PSC (gr)}$$

$$\text{Indicador de endogamia (IE)} = \text{SV / SD}$$

Donde:

PSLL (gr) = Peso de la semilla llena (gr)

PSC (gr) = Peso seco del cono (gr)

SD = Semillas desarrolladas

3.4 Análisis estadístico

Los datos se anotaron primeramente en los formatos de análisis de conos y semillas, posteriormente fueron capturados en una hoja de Microsoft Excel y por último fue procesado en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0.

Dentro del paquete estadístico SAS se usó el comando univariate plot para identificar datos aberrantes que pudieran encontrarse en la base de datos para revisar y corregir si fuese necesario. Además, es importante mencionar que se eliminó dentro de la base de datos la información del cono número 12 del árbol 24 de la población Joyas de San Lázaro, debido a que no presentó semillas desarrolladas y por su tamaño que fue del 50 % de la media total del tamaño de los conos.

El análisis de varianza se realizó en el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). Para identificar diferencias entre poblaciones se usó un modelo de clasificación anidada (Mosseler *et al.*, 2000). Para determinar las diferencias estadísticas se usó el método de comparación de medias de Tukey.

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = es el valor de la variable

μ = es la media poblacional

P_i = es el efecto de la i -ésima población

ε_{ijk} = es el error de la población

3.4.1 Producción y pérdida de semilla

Para el análisis de producción y pérdida de semillas se usaron las variables potencial de semillas (semillas desarrolladas, óvulos abortados y óvulos rudimentarios) y eficiencia de semillas. Los valores de estas variables discretas fueron sometidos a una transformación de acuerdo a Box-Cox (1964), para normalizar los datos y adecuarlos a una distribución normal, el potencial de semillas se transformó elevándolo a un valor de lambda (λ) de 0.5 y la eficiencia de semillas de 0.8, esta transformación se realizó en el paquete estadístico SAS.

La gráfica de producción y pérdida de semillas se realizó en Microsoft Excel, utilizando los promedios de las siguientes variables: Semillas desarrolladas (SD) que son SLL=Semillas llenas, SV=Semillas vanas, SDIHB=Semillas dañadas por insectos hongos y bacterias y por óvulos abortados (OA) y óvulos rudimentarios (OR). Las medias se obtuvieron en el SAS usando el comando means.

3.4.2 Indicadores reproductivos

Las variables que se usaron para los indicadores reproductivos fueron: peso seco del cono (PSC), proporción de semillas llenas (Prop. SLL), proporción de semillas vanas (Prop. SV), proporción de óvulos abortados (Prop. OA), eficiencia reproductiva (ER), peso de las semillas llena (PSLL) e índice de endogamia (IE). Algunas de las variables necesitaron una transformación de acuerdo a Box y Cox (1964) para normalizar los valores de las variables y obtener una distribución normal. La transformación se realizó en el programa estadístico SAS usando el procedimiento univariate plot. Las variables que no necesitaron transformación fueron peso seco del cono (PSC) e índice de endogamia (IE). Por lo tanto, la proporción de semillas llenas (Prop. OA) se elevó a 0.74, proporción de semillas vanas (Prop. SV) a -0.085, proporción de óvulos abortados (Prop. OA) a -0.1, eficiencia reproductiva a 0.64 y peso de la semilla llena a 0.56.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Producción y pérdida de semillas entre poblaciones

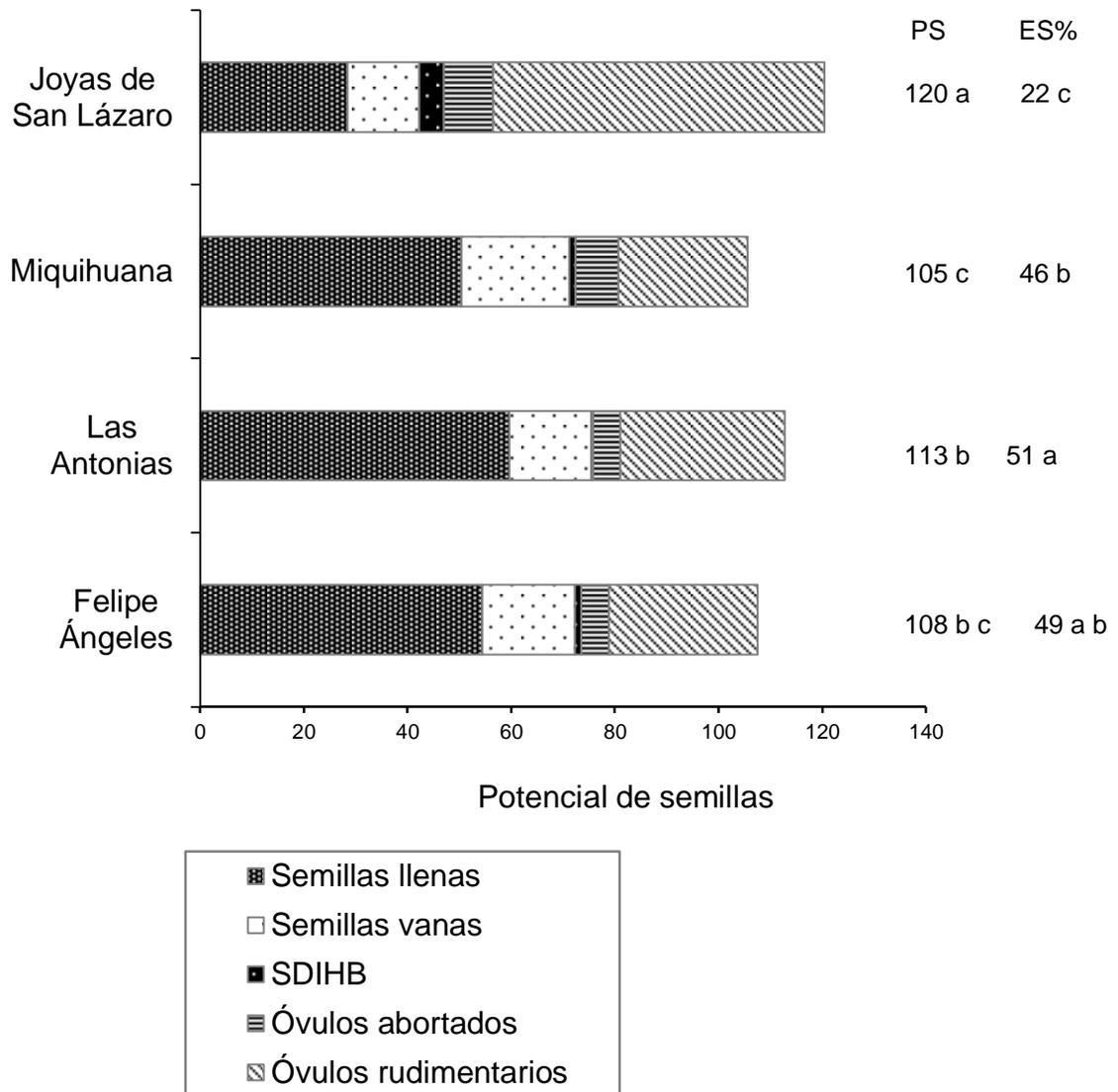
4.1.1 Potencial de semillas

De acuerdo al análisis de conos y semillas que se realizó para las cuatro poblaciones de *Pinus nelsonii*, se obtuvo un promedio de potencial de semillas de 112 por cono. El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre poblaciones, para la variable potencial de semillas. De acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias, la población Joyas de San Lázaro el potencial de semillas fue más alto (120 semillas) y diferente al resto de las poblaciones. A su vez, la población las Antonias (113 semillas) es estadísticamente superior a la población de Miquihuana (105 semillas) (Figura 4).

Es importante mencionar que la cantidad de semillas producidas por cono nunca es igual, esto difiere por especie, de características genéticas, vigor del arbolado, del sitio y año semillero, de los factores climáticos como la disponibilidad de humedad y condiciones de temperatura (Prieto y López, 2006). El valor promedio de potencial de semillas encontrado en *Pinus nelsonii* es grande y no se ha registrado en ninguna especie de pino piñonero, en *Pinus maximartinezii* se encontró un potencial de semillas promedio de 91 (Cruz, 2012) y 98 (Jiménez, 2015) en dos estudios diferentes, este potencial es el más aproximado al potencial promedio de *Pinus nelsonii* y en otras especies el valor promedio están muy por debajo de la mitad a lo encontrado en este estudio (Cuadro 2).

En un estudio que se realizó en *Pinus johannis* (Villa, 2010) en cuatro poblaciones ubicadas en el noreste de México, se encontró diferencias significativas entre poblaciones en potencial de semillas. En otro estudio realizado en *Pinus pinceana* (Hernández, 2006), en ocho poblaciones naturales, también se encontró diferencia significativa entre poblaciones. El potencial de semillas puede variar entre especies, entre poblaciones de la misma especie y también en un año

a otro, esto debido a que se presentan diferentes años semilleros (Bramlett *et al.*, 1977).



PS = Potencial de semillas; ES = Eficiencia de semillas; SDIHB = Semillas dañadas por insectos hongos y bacterias.

Nota: Los valores de las medias de PS y ES con diferentes letras son significativamente diferentes y con letras iguales no hay diferencia significativa ($p \leq 0.05$) determinado por la prueba de diferencias múltiples de Tukey.

Figura 4. Producción y pérdida de semillas de cuatro poblaciones de *Pinus nelsonii* Shaw.

Cuadro 2. Potencial y eficiencia de semillas en diferentes especies y localidades de pinos piñoneros.

Especie	PS	ES %	Cita
<i>Pinus catarinae</i> M.-F. Robert Passini	11	20.9	Lemus (1999)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	23	8	López (2005)
<i>Pinus cembroides</i> subes. orizabensis D.K	29	57.6	Sánchez <i>et al.</i> , (2005)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	50	35	Hernández (2006)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	41	19	Villa (2010)
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	91	61.78	Cruz (2012)
<i>Pinus culminicola</i> Andresen <i>et</i> Beaman	14	0	Pérez (2014)
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	98	47.5	Jiménez (2015)
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	112	42.3	Trabajo actual

Una probable explicación por la cual las especies piñoneras pudieran tener potencial de semillas bajo, es que la mayoría se encuentran y han evolucionado en zonas áridas donde hay escasez de humedad, de manera que en mejores condiciones de humedad, pudiera ser que aumente una mayor producción de biomasa y por consecuencia mayor producción de semillas. Por ejemplo, *Picea martinezii* T.F se encuentran en mejores condiciones de humedad y presenta un potencial promedio de 266 (Flores *et al.*, 2012).

4.1.2 Eficiencia de semillas

El resultado promedio entre las cuatro poblaciones para eficiencia de semillas, que corresponde a las semillas llenas con relación al potencial de semillas, fue de 42.3 %. El análisis de varianza mostró que existen diferencias significativas entre poblaciones, para la variable eficiencia de semillas. De acuerdo con la prueba Tukey de comparación de medias, las poblaciones Las Antonias y Felipe Ángeles con de 50.9 % y 49.4 %, respectivamente, son superiores

estadísticamente respecto a la población Joyas de San Lázaro con 22.4 % (Figura 4).

El valor de eficiencia de semillas promedio encontrado en *Pinus nelsonii* (42.3%) es mayor a los encontrados en otros piñoneros como: *Pinus johannis* con 19 % (Villa, 2010), *Pinus catarinae* con 20.9 % (Lemus, 1999), *Pinus culminicola* con 0 % (Pérez, 2014), *Pinus pinceana* con 30 % (Hernández, 2006) pero, menor en cuanto a *Pinus maximartinezii* con 61.7 % (Cruz, 2012) *Pinus cembroides* subes. *orizabensis* con 57.6 % (Sánchez *et al.*, 2005) y en otro año de colecta en *Pinus maximartinezii* se encontró otro valor superior de 47.5 % (Jiménez, 2015) (Cuadro 2). De acuerdo a Bramlett *et al.* (1977) al encontrar una eficiencia de semillas de 35 a 50 % indican pérdidas de semillas potenciales.

La población Joyas de San Lázaro tuvo un potencial de semillas alto, pero, bajo en eficiencia de semillas, debido a que se encontró un promedio mayor de óvulos rudimentarios de 53 % del total de potencial de semillas. La alta producción de óvulos rudimentarios posiblemente fue producto de la escasez y la poca viabilidad de polen lo cual evitó la fecundación del óvulo femenino para la formación y desarrollo de la semilla (Bramlett *et al.*, 1977), considerando también que la cantidad de flujo de polen es un problema que enfrentan las poblaciones pequeñas y aisladas, debido a que en las poblaciones pequeñas hay menos cantidad de polen que en las poblaciones grandes (Mosseler *et al.*, 2000).

Es importante mencionar que en la población Joyas de San Lázaro, no se cuenta con la información de la superficie de la población, pero, al realizar el recorrido para la colecta de conos se observó que, es la población más pequeña de todas. Esto posiblemente influyó en el resultado encontrado en eficiencia de semillas, ya que las poblaciones pequeñas y reducidas enfrentan problemas como el poco flujo de polen (Bramlett *et al.*, 1977), presentan problemas de endogamia por aumento de la autopolinización y apareamiento entre individuos cercanamente relacionados entre sí (Honnay y Jacquemyn, 2007).

En cuanto a pérdidas de semillas causados por insectos hongos y bacterias, se encontró un promedio de 1.6 %, la población Joyas de San Lázaro

presentó un mayor promedio de semillas dañadas de 3.9%, en la población Miquihuana (1.2 %), en la población Felipe Ángeles (1.2 %) y Las Antonias (0.36 %), estos valores en porcentajes son muy bajos si se compara con el porcentaje encontrado en la población Cañón de las Bocas con la especie de *Pinus Johannis* con 48 % (Hernández, 2006). Por lo tanto, se puede considerar que, el porcentaje encontrado en *Pinus nelsonii* por daños de insectos hongos y bacterias pudo haber reducido la eficiencia de semillas encontrada en las poblaciones, ya que de acuerdo a Karrfalt y Belcher (1977) el daño por insectos es una de las causas principales que provocan la baja eficiencia de semillas.

En este estudio no se identificaron los insectos que dañan las semillas, pero, de acuerdo a Sánchez *et al.*, (1989) se tiene reporte de daños de semillas del segundo año por *Conothorus sp. L* y *Leptoglossus occidentalis* Heidemann en poblaciones de *Pinus nelsonii* en la zona de Miquihuana Tamaulipas.

El promedio encontrado en semillas vanas por cono fue de 16 %, la población que presentó mayor porcentaje de semillas vanas fue Miquihuana (20 %), seguida de la población Felipe Ángeles (14 %), las Antonias (17 %) y Joyas de San Lázaro (12 %), posiblemente esta cantidad de semillas vanas es provocada por la presencia de genes letales en el embrión (Bramlett *et al.*, 1997). También pudo ser afectada por una depresión endogámica que caracteriza a las poblaciones pequeñas debido a una limitada cantidad de polen (Mosseler *et al.*, 2000).

La pérdida por semillas abortadas se encontró un promedio 7 %, tuvo mayor influencia en la población Joyas de San Lázaro con un promedio de 8 % por cono y Miquihuana con también con 8 %, en la población Las Antonias y Felipe Ángeles fue menor con 5 % semillas abortadas por cono.

La pérdida por óvulos rudimentarios fue de 33.5 % en promedio entre las cuatro poblaciones, se encontró mayor concentración en la población Joyas de San Lázaro con 53.4 %, mayor a las demás poblaciones, Las Antonias con 29.4 %, Miquihuana con 24.5 % y Felipe Ángeles con 27 % (Apéndice 2).

La población Las Antonias presentó mayor eficiencia de semillas y la segunda de mayor potencial de semillas, menor proporción de óvulos abortados, semillas dañadas por insectos, hongos y bacterias, y entre ellas la de menor proporción de semillas vanas, por lo que presenta la mayor cantidad de semillas llenas.

4.2 Indicadores reproductivos

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre poblaciones con respecto al peso seco del cono (PSC), el promedio encontrado es de 38.59 gr. La población Felipe Ángeles y Miquihuana no presentaron diferencias significativas y tiene los valores más altos con 40.19 gr y 39.33 gr en comparación a la población Joyas de San Lázaro y Las Antonias que estadísticamente son iguales con valores de 37.49 gr y 37.36 gr (Cuadro 3).

En proporción de semillas llenas se encontró una media de 0.42, la población las Antonias (0.51) y Felipe Ángeles (0.49) no presentan diferencias significativas entre ellas y son superiores a Miquihuana (0.46) y Joyas de San Lázaro que presenta un valor de 0.22. De acuerdo a otros estudios realizados, la media encontrada en proporción de semillas llenas en *Pinus nelsonii* es mayor a lo que presentó *Pinus pinceana* (Hernández, 2006) y *Pinus johannis* (Villa, 2010), pero, inferior a *Pinus maximartinezii* (Jiménez, 2015) (Cuadro 4).

La proporción de semillas vanas es menor cuando existe un floración buena y aumenta cuando hay una floración baja (Andersson, 1965). Estadísticamente las cuatro poblaciones son diferentes, la proporción de semillas vanas promedio fue de 0.16. La proporción mínima encontrada fue en la población Joyas de San Lázaro (0.12), seguida de Las Antonias (0.14), Felipe Ángeles (0.17) y Miquihuana (0.20).

Los bajos niveles de polinización fue la posible causa de la producción de semillas vanas (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000), es una proporción baja en lo que respecta en proporciones encontradas en *Pinus catarinae* (0.61) y *Pinus pinceana* (0.24), (Cuadro 4). Además, se pueden presentar otras causas no

genéticas para la producción de semillas vanas como los efectos climáticos desfavorables y depredación de insectos dentro de la semilla en desarrollo (Andersson, 1965).

Cuadro 3. Medias y error estándar para características reproductivas de conos y semillas en cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii* Shaw.

Población	PSC (gr)	Prop. SLL	Prop. SV	Prop .OA	ER	PSLL (gr)	IE
Joyas de San Lázaro	37.49 (± 0.83) b	0.22 (± 0.01) c	0.12(± 0.01) d	0.08 (± 0.00) a	0.52 (± 0.02) d	14.88 (± 1.07) d	0.31(± 0.01) a
Miquihuana	39.33 (± 0.56) a	0.46 (± 0.01) b	0.20 (± 0.01) a	0.08 (± 0.01) a	0.74 (± 0.012) c	24.97 (± 0.84) c	0.30 (± 0.01) a
Las Antonias	37.36 (± 0.65) b	0.51 (± 0.01) a	0.14 (± 0.01) c	0.05 (± 0.00) b	0.90 (± 0.02) a	33.87 (± 1.21) a	0.23 (± 0.01) b
Felipe Ángeles	40.19 (± 0.91) a	0.49 (± 0.02) a b	0.17 (± 0.01) b	0.05 (± 0.01) b	0.79 (± 0.02) b	27.76 (± 1.15) b	0.25 (± 0.01) b
Medias	38.59	0.42	0.16	0.07	0.74	25.37	0.27

PSC = Peso seco del cono (gr), Prop. SLL = Proporción de semillas llenas, Prop. SV = Proporción de semillas vanas, Prop. OA= Proporción de óvulos abortados, ER = Eficiencia reproductiva, PSLL = Peso de la semilla llena (gr), IE = Índice de endogamia. Los valores con diferentes letras por filas son significativamente diferentes ($p \geq 0.05$).

En óvulos abortados la proporción promedio fue de 0.065. En el Cuadro 4 se puede observar que es una proporción baja entre todos los estudios realizados en especies de piños piñoneros, la mayor concentración de óvulos abortados fue en la población Joyas de San Lázaro y Miquihuana con valor de 0.08 para ambas poblaciones. La falta de una polinización adecuada posiblemente ocasione el aborto de óvulos a muy temprana edad, lo cual propicia la formación de semillas no desarrolladas y rudimentarias (Bramlett *et al.*, 1977).

La eficiencia reproductiva promedio en este estudio fue de 0.63, la población las Antonias (0.87) fue la más alta y diferente a Miquihuana (0.62), Felipe Ángeles (0.68) y Joyas de San Lázaro (0.35), la proporción promedio es un valor bajo comparado con el resultado obtenido en *Pinus maximartinezii* (92.7) (Jiménez, 2015) y *Picea rubens* (0.82) (Mosseler *et al.*, 2000), pero, es un valor más grande en cuanto a lo reportado en *Picea Mexicana* Martínez (23.7) (Flores *et al.*, 2005) (Cuadro 4).

La eficiencia reproductiva es el resultado del peso de la semilla llena respecto al peso seco del cono, este es un indicador de la proporción de energía que un árbol dedica para la producción de semillas y producir nuevas plántulas para la futura regeneración (Mosseler *et al.*, 2000).

El peso promedio de las semillas llenas fue de 25.36 gr, la población Las Antonias presentó el valor más alto y diferente a todas las poblaciones con 33.87 gr, Felipe Ángeles 27.76 gr, Miquihuana 24.97 gr y Joyas de San Lázaro 14.88 gr. Esta variable, peso de la semilla llena (PSLL), es un indicador útil para conocer el rendimiento de semillas (mientras no se exprese en número de semillas llenas), y al mismo tiempo es un factor de calidad de semilla muy valioso, así también para la determinar la capacidad de germinación (Andersson, 1965).

Cuadro 4. Medias de indicadores reproductivos de diferentes coníferas y localidades.

Especie	PSC (gr)	PSLL	PSV	POA	ER	IE	Cita
<i>Pinus catarinae</i> M.-F. Robert Passini	----	0.23	0.61	0.09	----	----	Flores y Lemus (2000)
<i>Picea rubens</i> Sarg.	1.875	0.285	----	0.34	0.89	0.58	Mosseler <i>et al.</i> (2000)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	4.08	0.13	----	0.4	23.7	0.8	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	----	0.18	0.17	0.41	----	0.8	López (2005)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	16.67	0.35	0.24	0.38	----	0.42	Hernández (2006)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	----	0.29	----	----	----	0.48	Villa (2010)
<i>Picea martinezii</i> T.F.	22.77	0.07	----	0.83	----	0.75	Flores <i>et al.</i> (2012)
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	504.4	0.77	----	0.21	92.7	0.22	Jiménez (2015)
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	38.59	0.42	0.16	0.07	0.69	0.27	Trabajo actual

PSC = Peso seco del cono (gr), PSLL = Proporción de semillas llenas, PSV = Proporción de semillas vanas, POA = Proporción de óvulos abortadas, ER = Eficiencia reproductiva, IE = Índice de endogamia.

El índice de endogamia encontrado es bajo con un promedio de 0.27, concentrándose mayormente en la población Joyas de San Lázaro y Miquihuana con valores de 0.31 y 0.30 y menor en la población Felipe Ángeles y Las Antonias con valores de 0.25 y 0.23 (Cuadro 3). Este valor de índice de endogamia es bajo, ya que en un estudio realizado en *Pinus maximartinezii* (Jiménez, 2015) encontró un valor de 0.22, e indica que la población no presenta problemas por autopolinización.

El índice de endogamia es un factor que se presenta en la mayoría de las veces en poblaciones pequeñas y aisladas (Mosseler *et al.*, 2000). En otras especies como *Picea mexicana* Martínez (Flores *et al.*, 2005), encontró un valor alto de endogamia (0.8), *Picea rubens* (0.75) (Mosseler *et al.*, 2000) y en *Pinus johannis* (0.8) (López, 2005) (Cuadro 4).

De acuerdo a Mosseler *et al.* (2000), los indicadores reproductivos de conos y semillas sirven para evaluar y monitorear los aspectos reproductivos y genéticos de la viabilidad de las poblaciones de especies de coníferas que se encuentran particularmente en poblaciones pequeñas. Así también para conocer y monitorear los estados reproductivos de los huertos semilleros para la producción de semillas (Bramlett *et al.*, 1977).

5 CONCLUSIONES

Para el año 2016, las cuatro poblaciones naturales de *Pinus nelsonii*, presentaron diferencias significativas en potencial y eficiencia de semillas.

El potencial de semillas promedio para *Pinus nelsonii* fue de 112 semillas por cono, con una eficiencia de semillas promedio de 42.3 %.

La población Joyas de San Lázaro presentó mayor potencial de semillas (120) pero, menor eficiencia de semillas llenas (22 %).

La población Las Antonias presentó mayor proporción de semillas llenas, menor pérdida de semillas por daños de insectos, hongos y bacterias, menor proporción de óvulos abortados y es el segundo con menor proporción de semillas vanas.

Los indicadores reproductivos de conos y semillas para el 2016, presentaron diferencias significativas entre poblaciones.

Para el año 2016, el índice de endogamia promedio fue de 0.27, es bajo a pesar de ser poblaciones pequeñas, fragmentadas y aisladas.

6 RECOMENDACIONES

Seguir monitoreando las poblaciones de este estudio para comparar diferentes años de colecta y evaluarla respuesta de potencial y eficiencia de semillas e indicadores reproductivos, considerando que puede haber diferentes años semilleros y variación en los factores ambientales.

Monitorear las otras poblaciones existentes de *Pinus nelsonii* Shaw para conocer el estado reproductivo actual y compararlo con las demás poblaciones.

Realizar una prueba de germinación con las semillas para comparar el porcentaje de germinación, sobrevivencia de las plantas y plántulas anormales.

Para el propósito de este tipo de estudio se recomienda colectar conos desarrollados y evitar colectar conos abortados.

Se recomienda realizar un análisis en el tamaño de escamas por poblaciones para correlacionarlos con el tamaño del cono y potencial de semillas.

7 LITERATURA CITADA

- Aguilar, R., M. Quesada, L. Ashworth, Y. Herreriasdiego, J. Lobo. 2008. Genetic consequences of habitat fragmentation in plant populations: susceptible signals in plant traits and methodological approaches. *Molecular Ecology* 17: 5177–5188.
- Ahuja, M. R. y S.M. Jain. 2015. Genetic diversity and erosion in plants indicators and revention. Springer. Botany Department, M.L. Sukhadia University, Udaipur, Rajasthan, India. 323 p.
- Andersson, E. 1965. Cone and seed studies in Norway Spruce (*Picea abies*) (L.) Karst.). *Studia Forestalia Suecica* 23: 1-215.
- Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad, México. [En línea] CONABIO [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2018]. Disponible en: < <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/terrestres.html>.
- Bailey, D.K. y F.G. Hawksworth. 1987. Pinyons of the Chihuahua Desert region. *Phitology* 44(3):129-133.
- Benavides, H. M. y E. García. 1989. Potencial hídrico de dos especies de piñoneros bajo condiciones de campo. *In: Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. J.D. Flores F., J. Flores L., E. García M. y R.H. Lira S. (Comps.). UAAAN, Saltillo, México. pp. 92-99.
- Box, G. E. P. y D. R. Cox. 1964. An analysis of transformation. *Journal Royal Statistical Society. Serie B (Methodological)* 26(2):211-252.
- Bramlett, D.L., E. W. Belcher, G. L. De Barr, J. L. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware y H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of Southem pines: a guidebook. Gen. Tech. Rep. SE-13. Asheville, N. C. USDA, Forest Service, Southeastem Forest Experiment Station, Asheville, N.C. U.S.A. 29 p.

- Bustamante-García, V., J.A. 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(3): 7-21.
- Caballero, M. y R. Ávila. 1989. Importancia actual y potencial de los pinos piñoneros en México. *In: Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. J.D. Flores F., J. Flores L., E. García M. y R.H. Lira S. (Comps.). UAAAN, Saltillo, México. pp. 18-22.
- Campos, J. L. 1984. Conservación ex situ en el Pinetum "Maximino Martínez" de Chapingo. *Revista de Geografía Agrícola* 20: 125-135.
- Cibrián-Tovar, D., A. Lagunes-Tejeda, H. Bravo-Mojica, J. L. Carrillo-Sánchez, C. Sosa-Moss y J. Vera-Graciano. 1998. Control de insectos de conos y semillas de árboles forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(2): 285-296.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad).2000. División Municipal de México. Escala 1:16000000. [En línea]. 25 marzo de 2018. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Cruz H., A. 2012. Producción de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Juchipila, Zacatecas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 48 p.
- Eguiluz P., T. 1982. Climas y distribución del genero *Pinus* en México. *Ciencia Forestal* 38(7): 30-44.
- Ellstrand, N.C y D.R. Elam. 1993. Population genetic consequences of small population size: Implications for plant conservation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 24: 217-242.

- FAO. 2014. The state of the world's forest genetic resources. Commission on Genetic Resources For Food and Agriculture Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome. 276 p.
- Farjon, A. y B.T. Styles. 1997. *Pinus (Pinaceae)*. Flora neotropica monograph 75 organization por flora neotropica, The New York Botanical Garden. New York. U.S.A. 291 p.
- Farjon, A., J. Pérez de la Rosa, J. A y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew. Continental Printing, Bélgica. 151 p.
- Flores L., C. y J. L. Lemus. 2000. Maduración de conos y estimación de semillas llenas de *Pinus catarinae* M. F. Robert- Passini. *In: II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina*, CATIE, Santo Domingo, República Dominicana (18-22 de octubre, 1999). Memorias/Coordinador Rodolfo Salazar, Turrialba, Costa Rica. pp. 17-24.
- Flores L., C., J. López U. y J.J. Vargas H. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39: 117-128.
- Flores-López, C., G. Geada-López, J. López-Upton y E. López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F Patterson. *Revista Forestal Baracoa* 31(2): 49-58.
- Fonseca, R. M. 2003. De piñas y piñones. *Ciencias* 69: 64-65.
- García M., E. 1985. Estado actual del conocimiento de los pinos piñoneros en México. *In: Flores, J. (Ed.), Memorias. I. Simposio Nacional de Pinos Piñoneros*. UANL. México. pp. 1-18.
- García M., E. 1989. Los antecedentes y los objetivos del III simposio nacional de piñoneros. *In: Memorias del II Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*.

- J.D. Flores F., J. Flores L., E. García M. y R.H. Lira S. (Comps.). UAAAN, Saltillo, México. pp. 1-3.
- García, E. 1998. Comisión Nacional de Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 'Climas' (Clasificación de Koopen modificado por García). Escalas 1:1000000. [En línea]. 25 de marzo de 2018. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Gernandt, D. y J. A. Pérez-de la Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85:126-133.
- Haddad, N.M, L. A. Brudvig, J. Clobert, K. F. Davies, A. Gonzalez, R. D. Holt, T. E. Lovejoy, J. O. Sexton, M. P. Austin, C. D. Collins, W. M. Cook, E. I. Damschen, R. M. Ewers, B. L. Foster, C. N. Jenkins, A. J. King, W. F. Laurence, D. J. Levey, C. R. Margules, B. A. Melbourne, A. O. Nicholls, J. L. Orrock, D. Song y J. R. Townshend. 2015. Habitat fragmentation and its lasting on earth's ecosystems. *Science Advanced* 1(2). pp. 1-9.
- Hernández H., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 32 p.
- Honnay O. y H. Jacquemyn. 2007. Susceptibility of common and rare plant species to the genetic consequences of habitat fragmentation. *Conservation Biology* 21(3): 823-831.
- INEGI. 1997. Carta de uso de suelo y vegetación. Escalas 1:250000. Instituto Nacional de estadística Geografía. [En línea]. 25 marzo de 2018. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- INIFAP-CONABIO. 1995. Carta edafológica. Escalas 1:1000000. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. [En línea]. 25 marzo de 2018. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.

- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza).1980. World Conservation Strategy. First published 1980. 1196 Gland, Suiza. 77 p.
- IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2017. IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2017.3. [En línea: 03 marzo 2018]. Disponible en. <http://www.iucnredlist.org/details/32628/0>.
- Jiménez H., L. 2015. Indicadores Reproductivos de conos, semillas y plántulas para dos años de colecta de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Juchipila, Zacatecas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 47 p.
- Karrfalt R. P. y E. W. Belcher. 1997. 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. U.S.A. pp. 57-63.
- Lanner, R. 1981. The piñon pine. A natural and cultural history. University of Nevada Press. Reno, Nevada. U.S.A. 208 p.
- Lemus S., J. L. 1999. Maduración de conos, producción y viabilidad de la semilla de *Pinus catarinae* M.-F. Robert-Passini. Tesis profesional. Ingeniero Agrónomo Forestal. División de agronomía. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 125 p.
- Loo, J. A. 2011 .Manual de genética de conservación, principios aplicados de genética para la conservación de especies. Comisión Nacional Forestal. México. 192 p.
- López, C. 2005. Producción y viabilidad de semillas de semillas de *Pinus Johannis* M.-F. Robert en dos poblaciones naturales de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 42 p.
- López, C. y F. F. Gómez. 1989. Algunas consideraciones sobre los incendios forestales en las aéreas piñoneras más importantes de México. *In:*

- Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. J.D. Flores F., J. Flores L., E. García M. y R.H. Lira S. (Comps.). UAAAN, Saltillo, México. pp. 103-106.
- Mosseler, A., J. E. Majo, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K.H. Johnsen y O.P. Rajora. 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal of Botany* 78: 928-940.
- Passini, M. 1985. Algunas consideraciones acerca de los pinos piñoneros en México. *In*: Flores, J. (Ed.), *Memorias. I. Simposio Nacional de Pinos Piñoneros*. UANL. México. pp. 137–149.
- Pérez P., E. A. 2014. Comparación del potencial de y eficiencia de semillas de *Pinus culminicola* Andresen *et* Berman con Pináceas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. 37 p.
- Perry, J., P. 1991. *Los pinos de México y América Central*. Timber Press. Portland, Oregon, U.S.A. 231 p.
- Prieto, J. A y U. J. López. 2006. Colecta de semillas forestales en el género *Pinus*. Folleto Técnico No. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana. INIFAP. Durango, Dgo. 41 p.
- Rosas, M., D. Granados, V. R. Granados y S. Esparza. 2016. Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 7(33): 52-73.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez T., M de L. Nieto P., L del C. Mendizábal H. 2005. Producción de semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey de Alzayaca, Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana* 7(1): 15-20.
- Sánchez, G., S. Ledezma y H. Suzán. 1989. Estimación de daños por insectos en conos inmaduros de *Pinus nelsonii* Shaw en la zona de Miquihuana,

- Tamaulipas. *In*: Memorias del III Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros. J.D. Flores F., J. Flores L., E. García M. y R.H. Lira S. (Comps.). UAAAN, Saltillo, México. pp. 82-86.
- Sánchez-Salas, J., G. Muro., E. Estrada-Castillón y J. A. Alba. 2012. El MER: Un instrumento para evaluar el riesgo de extinción de especies en México. *Revista Chapingo*: pp 30-37.
- 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. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturas. Jueves, 30 de diciembre del 2010. 77 p. Disponible en. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf.
- Tambutti, M., A. Aldama, O. Sánchez, R. Medellín y J. Soberón. 2001. La determinación de riesgo de extinción de especies silvestres en México. *Gaceta Ecológica* 61: 11-21.
- Villa P., V. H. 2010. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus johannis* M.-F. Robert en el noreste de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 37 p.
- Young, A., T. Boyle y T. Brown. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology & Evolution* 11(10): 413-418.
- Zuzán-Azpiri, H., G. Sánchez-Rámos, J. G. Martínez-Ávalos, S. Villa-Melgarejo y M. Franco. 2002. Population structure of *Pinus nelsonii* Shaw, an endemic pinyon pine in Tamaulipas, Mexico. *Forest Ecology and Management*, 165: 193–203.

APÉNDICE

Apéndice 1. Cuadro de las medias obtenidas de potencial y eficiencia de semillas.

Población	Número de observaciones	Variable	Media	Error estándar	Coefficiente de variación
1	220	PS	120.4	2.1574	26.5779
		ES	22.4885	1.3647	90.0074
2	362	PS	105.4475	1.3814	24.9248
		ES	46.4252	1.1991	49.1427
3	266	PS	112.7519	1.8966	27.4348
		ES	50.9449	1.4184	45.4101
4	144	PS	107.5833	2.054	22.911
		ES	49.4098	1.6305	39.5984

1= Joyas de San Lázaro, 2 = Miquihuana, 3 = Las Antonias, 4 = Felipe Ángeles, PS = potencial de semillas, ES= eficiencia de semillas.

Apéndice 2. Cuadro de medias de los indicadores reproductivos.

Población	Número de observaciones	Variable	Media	Error estándar	Coefficiente de variación
1	220	PSC	37.4986	0.8344	33.0043
		PSLL	0.2249	0.0136	90.0074
		PSV	0.1205	0.0079	97.3438
		POA	0.0811	0.0048	87.2572
		ER	0.3500	0.0198	83.9792
		PSLL (gr)	14.8824	1.0707	106.7153
		IE	0.3167	0.0149	69.7771
		POR	0.5341	0.0172	47.6513
		PSDIHB	0.0394	0.0027	101.7408
2	362	PSC	39.3337	0.561	27.1363
		PSLL	0.4643	0.0120	49.1427
		PSV	0.2035	0.0087	81.3901
		POA	0.079	0.0065	155.3994
		ER	0.6200	0.0174	53.4339
		PSLL (gr)	24.9762	0.8359	63.6766
		IE	0.3099	0.0108	66.0289
		POR	0.2469	0.0095	73.1037
		PSDIHB	0.0122	0.0023	351.9028
3	266	PSC	37.3666	0.6592	28.7711
		PSLL	0.5094	0.0142	45.4101
		PSV	0.1457	0.0083	92.801
		POA	0.0476	0.0051	175.5852
		ER	0.8744	0.0249	46.4033
		PSLL (gr)	33.8746	1.2163	58.5616
		IE	0.2302	0.0117	82.9143
		POR	0.2937	0.0127	70.5677
		PSDIHB	0.0036	0.0008	382.0412
4	144	PSC	40.1956	0.9102	27.173
		PSLL	0.4941	0.0163	39.5984
		PSV	0.1714	0.0108	75.5364
		POA	0.0539	0.0063	139.9882
		ER	0.6818	0.0242	42.5497
		PSLL (gr)	27.7619	1.148	49.6219
		IE	0.2528	0.0135	64.2246
		POR	0.2691	0.0169	75.2403
		PSDIHB	0.0115	0.0019	196.3662

1= Joyas de San Lázaro, 2 = Miquihuana, 3 = Las Antonias, 4 = Felipe Ángeles, PSC = peso seco del cono, PSL = proporción de semillas llenas, PSV= proporción de semillas vanas, POA = proporción de semillas abortadas, ER = eficiencia reproductiva, PSL (gr)= peso de las semillas llenas, IE = eficiencia reproductiva, POR = proporción de óvulos rudimentarios, PSDIHB= proporción de semillas dañadas por insectos, hongos y bacterias.