

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de Dos Poblaciones de
Pinus culminicola Beaman y Andresen en la Sierra Madre Oriental, México.

Por:

SANTIAGO ALIER TOLENTINO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Indicadores Reproductivos de Conos y Semillas de Dos Poblaciones de
Pinus culminicola Beaman y Andresen en la Sierra Madre Oriental, México.

Por:

SANTIAGO ALIER TOLENTINO MARTÍNEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría



Dr. Celestino Flores López

Asesor Principal



Ing. Sergio Braham Sabag

Coasesor



Dr. Alejandro Zárate Lupercio

Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores

Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor, quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Santiago Alier Tolentino Martínez

El presente trabajo de tesis ha sido financiado y apoyado por el proyecto de investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro No. 38111-425103001-2173. Que lleva por nombre “Producción de semillas e indicadores reproductivos de pináceas y agaváceas del norte de México”. Proyecto que está a cargo de Dr. Celestino Flores López, Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

CON AMOR Y CARIÑO A MIS PADRES

Hilario Tolentino Guzmán y Santos Martínez Perea. Por el amor incondicional que siempre me han brindado en todo el transcurso de mi vida, por apoyarme en los momentos más difíciles, por el gran esfuerzo que realizaron para yo poder obtener mi carrera profesional, por comprenderme, entenderme, aconsejarme y apoyarme en todo momento y lo más importante, porque los amo con todas las fuerzas de mi alma. Gracias por todo papá y mamá.

A MI HERMANA

Anayeli Tolentino Martínez. Por todo el apoyo, motivación, confianza que me brindo durante todo el periodo de mi carrera, por todos los momentos que hemos vivido en el transcurso de nuestras vidas, por todos sus consejos, enseñanzas y aprendizajes que me brindo, y poder seguir unidos como los hermanos que somos en las buenas y en las malas.

A MIS ABUELOS

Pablo Martínez Gayosso

Antonio Tolentino San Agustín

Tomasa Perea Islas.

Por todo el amor y cariño que me han brindado en todo el transcurso de mi vida y carrera profesional, por todos los consejos y palabras sabias que me brindan día a día para superarme y salir adelante.

A MIS TÍOS

Por todo el apoyo y las palabras sabias que me brindaron en todo el transcurso de mis estudios.

A MI PAREJA

Letzi Guerrero López. Por formar parte de mi vida y de mi carrera profesional, por darme los ánimos que necesite en los momentos más difíciles de ya no poder más, por apoyarme en cada decisión que tomara, por tener la paciencia y entrega en mis momentos más complicados, porque gracias a ti logre concluir una etapa más en mi vida y con esto, el poder presentar con alegría y felicidad esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme seguir siendo parte de este mundo, por darme la oportunidad de lograr una meta más en mi vida y por guiarme en todo el camino de mi carrera profesional.

A mi Alma Terra Mater, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por darme la gran oportunidad de formarme en el ámbito profesional de la carrera de Ingeniero Forestal, por todas las experiencias y conocimientos adquiridos dentro y fuera de esta gran institución.

A todos los profesores investigadores pertenecientes al Departamento de Forestal por brindarme todos los conocimientos necesarios para poder ejercer laboralmente con dedicación y excelencia.

Al Dr. Celestino Flores López, por aceptar ser mi asesor principal y darme el apoyo necesario para la elaboración de la tesis, por todos los conocimientos brindados en el transcurso de la carrera de Ingeniero Forestal.

Al Dr. Alejandro Zárate Lupercio y al Ing. Sergio Braham Sabag por formar parte de la elaboración de esta tesis, por la disposición y sugerencias para la realización de esta.

A mis amigos: Mario Escamilla, Álvaro García, Adonis Ramírez, Rubén Mellado, Jahaziel Solís, Eduardo Figueroa, Litz Rosas, Romeo Guizar, Ramiro Davalos, Axel García, Ehecatl Hernández, Alejandro Ortega, Diana Gómez, Brisa Maya, Ezequiel Fraustro, Ricardo García, por su grandiosa amistad en el transcurso de la carrera, por todas las anécdotas vividas y las que faltan por vivir.

Y por todas las personas a las cuales omití, sin tener la intención de hacerlo, gracias por todo el apoyo y experiencias vividas durante mi estancia profesional en la Universidad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN	XI
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	4
1.2. Objetivos específicos	4
1.3. Hipótesis.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. Descripción de <i>Pinus culminicola</i> Beaman y Andresen	5
2.2. Producción de semillas e indicadores reproductivos	7
2.3. Análisis de conos y semillas	7
2.4. Potencial y eficiencia de semillas	7
2.5. Indicadores reproductivos.....	8
2.6. Dinámica de poblaciones pequeñas	8
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1. Descripción del área de estudio	10
3.2. Selección de arbolado y colecta de conos.....	12
3.3. Producción de semillas e Indicadores reproductivos.....	12
3.4. Análisis estadísticos	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
4.1. Descripción morfológica de conos	19

4.2. Producción de semillas entre las dos poblaciones de <i>Pinus culminicola</i>	20
4.2.1. Potencial de semillas.....	20
4.2.2. Eficiencia de semillas	26
4.2.3. Características reproductivas	27
4.3. Indicadores reproductivos.....	29
5. CONCLUSIONES	34
6. RECOMENDACIONES.....	35
7. LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Potencial de semillas de diferentes coníferas en diferentes localidades.....	26
Cuadro 2. Eficiencia de semillas de diferentes coníferas en diferentes localidades.....	28
Cuadro 3. Comparación de medias para características reproductivas de semillas en dos poblaciones de <i>Pinus culminicola</i> evaluadas en un año de colecta.....	29
Cuadro 4. Comparación de medias para indicadores reproductivos de conos y semillas de dos poblaciones de <i>Pinus culminicola</i> evaluadas en un año de colecta.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de colecta en el Cerro El Potosí perteneciente a Galeana, Nuevo León.	10
Figura 2. Ubicación geográfica del área de colecta en la Sierra La Marta perteneciente al estado de Coahuila y Nuevo León.	11
Figura 3. Características morfológicas de escamas infértiles para estimar los indicadores reproductivos de <i>Pinus culminicola</i>	14
Figura 4. Características morfológicas de escamas fértiles con semilla para estimar los indicadores reproductivos de <i>Pinus culminicola</i>	15
Figura 5. Características morfológicas de escamas fértiles con óvulos abortados y rudimentarios para estimar los indicadores reproductivos de <i>Pinus culminicola</i>	16
Figura 6. Diagrama de cajas de la variación por árbol del diámetro de cono (mm) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León.	21
Figura 7. Diagrama de cajas de la variación por árbol del largo de cono (mm) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León.	22
Figura 8. Diagrama de cajas de la variación por árbol del peso del cono seco (g) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León.	23
Figura 9. Producción y pérdida de semillas de dos poblaciones de <i>Pinus culminicola</i> en la colecta 2021.	24

RESUMEN

Pinus culminicola es un piñonero con poblaciones aisladas y fragmentadas en estatus de peligro de extinción en el noreste de México. En el presente estudio se comparó la producción de semillas e indicadores reproductivos en dos poblaciones de *Pinus culminicola* pertenecientes a la Sierra Madre Oriental, México.

El germoplasma se colectó de dos poblaciones, Sierra la Marta (36 árboles) y Cerro El Potosí (35 árboles). Se evaluaron las características morfológicas de conos, así como un análisis de conos y semillas para estimar el potencial y eficiencia de semillas, también indicadores reproductivos. Se describieron las características morfológicas de conos con diagramas de cajas, utilizando el programa SigmaPlot. Para comparar las poblaciones en la producción e indicadores reproductivos se realizó una prueba no paramétrica Mann Whitney utilizando el programa estadístico SAS.

Para las características morfológicas de conos, la población Cerro El Potosí presentó los valores más altos, en diámetro, largo y peso del cono seco. Sin embargo, el potencial y eficiencia de semillas fueron bajos, pero, similares en ambas poblaciones. Con respecto a los indicadores reproductivos, estos fueron valores bajos, solo se presentaron diferencias significativas en los indicadores de peso del cono seco, peso de semilla media llena, proporción de óvulos abortados de segundo año e índice de endogamia.

Palabras clave: Características morfológicas, potencial de semillas, eficiencia de semillas, índice de endogamia.

ABSTRACT

Pinus culminicola is a stone pine with isolated and fragmented populations in endangered status in northeastern Mexico. In the present study, seed production and reproductive indicators were compared in two populations of *Pinus culminicola* belonging to the Sierra Madre Oriental, México.

The germplasm was collected from two populations, Sierra la Marta (36 trees) and Cerro El Potosí (35 trees). The morphological characteristics of cones were evaluated, as well as an analysis of cones and seeds to estimate the potential and efficiency of seeds, as well as reproductive indicators. The morphological characteristics of cones were described with box plots, using the SigmaPlot program. To compare the populations in production and reproductive indicators, a non-parametric Mann Whitney test was performed using the SAS statistical program.

For the morphological characteristics of cones, the Cerro El Potosí population presented the highest values, in diameter, length and weight of the dry cone. However, seed potential and efficiency were low, but similar in both populations. Regarding the reproductive indicators, these were low values, only significant differences were found in the indicators of dry cone weight, half-filled seed weight, proportion of second-year aborted ovules, and Inbreeding quotient.

Keywords: Morphological characteristics, seed potential, seed efficiency, Inbreeding quotient.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la composición de los reinos existentes en el planeta Tierra, el reino vegetal incluye a la familia de las Pináceas, esta es una de las más importantes, sus árboles y/o arbustos siempre van a mantener tonalidades en color verde (Martínez, 1992). Con base a la abundancia mundial de diversas especies de pinos, se tiene un registro de 111 especies, alrededor de 46 se encuentran en México y América Central, cada una presenta distintas variedades y formas con las que podemos identificar a cada una de ellas (Sánchez-González, 2008).

En México la familia de las Pináceas es de gran valor, tanto ecológica como ambiental, ya que nos brindan distintos servicios que ayudan al ecosistema en el que se encuentran, estos son fundamentales en el ciclo del agua, en la fijación de nitrógeno, así como refugio natural tanto de flora como de fauna, contribuyendo así a la reducción de los efectos dañinos que afectan hoy en día al planeta (Moctezuma-López y Flores, 2020).

Por consiguiente, esta familia de coníferas está distribuida en mayor variedad en la Sierra Madre Oriental, Sierra Madre Occidental, Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico Transversal de México, estas especies pueden vivir en diversos tipos de hábitat tanto en húmedos, fríos o áridos donde se desarrollan de acuerdo con su adaptabilidad (Estrada-Castillón *et al.*, 2014).

Por lo tanto, México presenta gran variedad de taxones en la familia de las pináceas dentro de los cuales se encuentra el grupo de los piñoneros que están presentes en sierras con ecosistemas en condiciones de sequía, por lo cual son especies muy importantes por su fácil flexibilidad y resistencia a tales circunstancias (Granados-Victorino *et al.*, 2015).

Por tal razón, los Pinos piñoneros, son esenciales y de gran importancia en las zonas áridas de México, donde estos habitan, proveen de distintos servicios ambientales de los cuales pobladores y fauna pueden hacer uso (Rosas-Chavoya *et al.*, 2016).

Existen diversas especies de Pinos piñoneros, estas se han adaptado a condiciones climáticas y de topografía con el paso de los años, esto para poder subsistir en este tipo de ecosistemas los cuales son pertenecientes a la Sierra Madre Oriental como es el caso del *Pinus cembroides*, *Pinus culminicola* y *Pinus nelsonii* las cuales comparten características similares de adaptabilidad. Para el caso de la especie de *Pinus cembroides* es de una excelente adaptabilidad a las condiciones de los ecosistemas, por lo tanto presenta una extensa distribución en México, esta especie es muy importante ya que a base de ella se pueden obtener ingresos económicos de los cuales se benefician los pobladores. Pero en el caso de las especies de *Pinus nelsonii* y *Pinus culminicola* entran en la NOM-059, puesto que se encuentra sujeta en la categoría de riesgo en el estatus de peligro de extinción, por lo tanto, se encuentran restringidas para su protección y conservación (García-Aranda *et al.*, 2018; SEMARNAT, 2010).

En el caso de *Pinus culminicola* esta especie fue descrita por Andresen y Beaman en el año 1961, la cual la catalogaron dentro de las especies del género *Pinus*, endémica del Cerro El Potosí, perteneciente a Nuevo León, México, de esto se sigue que en el año 1975 poblaciones de la especie fueron encontradas en la Sierra La Martha y Sierra la Viga pertenecientes a Coahuila, México, la especie se ubica en ecosistemas de topografía y altitud similares pasando los 3000 metros de altitud sobre el nivel del mar (Manzanilla-Quiñones, 2017).

Pinus culminicola se dispersa en un área muy restringida dada a las condiciones de adaptación, en el año de 1978 fue el primer suceso de incendio forestal en la población perteneciente al Cerro El Potosí, dejando una disminución del 34%, por consiguiente, en el año de 1998 más del 40% de la población fue devastado por un siguiente incendio, por lo tanto, debido a la disminución de la especie por los acontecimientos antes mencionados se estima que la población se encuentra a menos del 50%, por lo cual se vuelve una población fragmentada. En la actualidad esta especie solo se ubica en 3 pequeñas poblaciones, las cuales a causa de procesos ecológicos son aisladas y fragmentadas (Favela-Lara, 2010). Para el caso de las especies presentes en poblaciones pequeñas, estas son más sensibles a presentar endogamia, así misma deriva genética, estas determinaran las frecuencias alélicas, por lo tanto, conllevaran pérdidas de viabilidad y por ende presentaran mayor riesgo en su extinción (Del Castillo *et al.*, 2004).

Existen diversos factores amenazantes que afectan a especies que se encuentran en estatus de peligro de extinción, siendo causantes los factores como, la pérdida de hábitat, la fragmentación, así como especies invasoras, esto afecta y se da más en especies con poblaciones pequeñas y/o regeneración lenta (Jiménez *et al.*, 2005).

Por lo tanto, en las poblaciones pequeñas implica el cruzamiento entre los mismos individuos, por resultante se da la endogamia dando consecuencia a una capacidad germinativa baja, como resultado, presentan baja capacidad en reproducción de semillas viables en germinación. (González-Jiménez *et al.*, 2021).

Existen indicadores reproductivos y de genética, los cuales ayudan a poder tener análisis para evaluar y monitorear la viabilidad de las especies y sus poblaciones que se encuentran en riesgo o ya sea el caso, las que están en estatus de peligro de extinción, esto debido a las pequeñas poblaciones presentes, las densidades bajas de individuos así mismo como el aislamiento de estas poblaciones como consecuencia de la fragmentación del hábitat en el que se encuentran. Estos indicadores son los siguientes: número de semillas llenas y vanas por cono, eficiencia de semillas, peso de semillas llenas en relación del peso del cono, proporciones de semillas llenas y vanas, óvulos abortados por cono, germinación y crecimiento de plántulas y con esto poder obtener medidas de aptitud reproductiva y éxito de las distintas especies de coníferas (Mosseler *et al.*, 2000)

Por consiguiente, en la propuesta de esta especie se dará a conocer cuáles son las condiciones o indicadores reproductivos que afectan a la población de esta especie de Pino piñonero. Por lo tanto, mi trabajo pretende dar a conocer las variables de esta especie de Pino en dos poblaciones, la primera en el Cerro El Potosí, Nuevo León, México y la segunda en la Sierra la Martha, Coahuila, México.

1.1.Objetivo general

Comparar la producción de semillas e indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus culminicola*, entre la población Cerro El Potosí, Galeana, Nuevo León, y la población Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila.

1.2.Objetivos específicos

- Comparar la producción y pérdida de semillas entre las dos poblaciones de *Pinus culminicola*.
- Comparar entre las dos poblaciones de *Pinus culminicola* los indicadores reproductivos del peso del cono, peso de semilla, número de semillas llenas por cono, proporción de semillas llenas, proporción de semillas vanas, proporción de semillas abortadas por cono, eficiencia de semillas, eficiencia reproductiva e índice de endogamia.

1.3.Hipótesis

H₀₁: No existen diferencias entre poblaciones de *Pinus culminicola* en la producción de semillas.

H₀₂: No existen diferencias entre poblaciones de *Pinus culminicola* en los indicadores reproductivos de conos y semillas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de *Pinus culminicola* Beaman y Andresen

Esta especie de *Pinus culminicola* fue recolectada en el año de 1940, pero en esta época la especie fue identificada con diferentes nombres con base en los autores que la describieron. En el año 1966 los autores Beaman y Andresen llevaron a cabo un estudio ecológico con base al tipo de vegetación presente en el Cerro El Potosí ubicado en el estado de Nuevo León, se evaluaron especies presentes arriba de 3500 m.s.n.m, para ello se reconocieron cuatro comunidades dentro de las cuales se identificó a la de matorral de *Pinus culminicola* (Sánchez-Silva *et al.*, 1990).

Por consiguiente, en el año de 1975 se identificó la misma especie en dos poblaciones, la primera localizada en la Sierra La Marta, conocida también como Cerro El Morro, y la segunda población en la Sierra La Viga, ambas pertenecientes al estado de Coahuila. Por lo tanto, en la actualidad solo se conocen las tres poblaciones antes mencionadas, en los estados de Coahuila y Nuevo León, México (Manzanilla-Quiñones, 2017).

Pinus culminicola es un árbol piñonero comúnmente de altura baja, arbustivo, con medidas que van de 1-5 m desde la base hasta la copa, se conforma por gran densidad de ramificaciones, ramas largas y torcidas, estas se extienden desde la base a lo largo y ancho del suelo, copa de gran densidad, el fuste puede llegar a tener diámetros que van de 16-25 cm en individuos maduros (Perry, 1991; González-Tagle, 1999).

Se forma por una corteza delgada la cual cubre el cambium del árbol, con dos tonalidades de color, dependiendo de la edad de los árboles, es individuos ya maduros el color es marrón claro, pero en individuos jóvenes es de color gris (Perry, 1991).

Se compone por acículas agrupadas por fascículos de 5 con una longitud de 3-5 cm, en sus hojas se presentan dos tonalidades, en la superficie dorsal presencia de color verde azulado, la superficie ventral presencia de color glauca, márgenes enteros, existencia de estomas únicamente en la superficie ventral (Cervantes-Martínez, 2000).

Sus conos, o también conocidos como estróbilos, se encuentran solitarios o en pares, los cuales presentan un pedúnculo corto. De acuerdo con las escamas que complementan cada cono, van de 45 a 60, pero solamente de 10 a 20 de ellas son fértiles, en las cuales se encuentran las semillas desarrolladas. Cada escama cuenta con dos cavidades para semilla, pero regularmente solo una de ellas se desarrolla por completo. En las semillas no existe la presencia de ala adherida, con medidas que van de 4-6 mm en su lado longitudinal, tonalidades de color ósculo y testa dura. (Farjon *et al.*, 1997).

Con respecto a la ecología, las coníferas contienen valores intrínsecos los cuales ayudan a contribuir en la regulación y estabilización del ecosistema al que pertenecen, estos valores son de gran importancia por lo cual no se les puede dar un precio o valor alguno. Ayudan a la formación y conservación del suelo, a preservar y mantener los hábitats en donde habita la fauna silvestre, así como de los microorganismos simbióticos. Estas ayudan a controlar y equilibrar el clima en cuestiones de luminosidad, calor, precipitación pluvial, retención de vientos, lo cual evitan la erosión del suelo y así poder retener la materia orgánica presente. Por ello es importante prestar atención a la adaptación de los árboles con la ecología del ecosistema y así poder contribuir en la formación y adaptación del suelo (Granados-Sánchez *et al.*, 2007).

En el caso de los pinos piñoneros, estos son de gran importancia para el hábitat de zonas áridas en las que se encuentran, ya que en diversos casos son el único recurso forestal presente, esto dado que la especie cuenta con una adaptabilidad y resistencia extensa a diferentes condiciones climatológicas, por lo cual estas especies de pino son de gran relevancia e importancia para la restauración ecológica de dichas zonas (Pérez-Miranda *et al.*, 2019).

Esta especie es un tanto distinta de otras especies de los piñoneros, presenta diversas características importantes dentro de sus poblaciones, esto hace a la especie de una gran importancia por su rareza morfológica, así mismo como la importancia ecológica que presenta, esto al poder adaptarse a diferentes condiciones climatológicas, es el caso de la tolerancia que presentan al estrés ambiental a causa de las altitudes extremas siendo estas en un rango de 3000-3700 msnm, así como a las temperaturas inferiores de 0 °C. esta especie

presenta una área de distribución limitada, por lo tanto, en tiempos secos esta se vuelve muy vulnerable al fuego (Favela-Lara, 2010).

2.2. Producción de semillas e indicadores reproductivos

Para el caso de la producción de semillas en especies de pino, se utilizan procesos productivos para evaluaciones y análisis con base a criterios de eficiencia de conos, semillas, extracción y germinación (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2012). Uno de los indicadores para poder evaluar el porcentaje de madurez en diversas especies forestales es el potencial de producción de semillas, en donde se define la capacidad que tienen las coníferas para mantenerse en su hábitat original, basado en el grado de madurez de una población con respecto a su edad, así mismo, la interacción que existe de la especie en un sitio definido, con lo cual, se podrá analizar el potencial de una especie forestal y con esto diseñar e implementar técnicas de conservación y restauración de poblaciones con diversos estatus (Márquez-Ramírez, 2007).

2.3. Análisis de conos y semillas

Con base a los análisis necesarios para evaluar conos y semillas en especies de pinos, estos van a posibilitar el evaluar las características, ya sea tanto físicas, como biológicas de una especie, para poder darle un valor, por lo cual permitirá el determinar indicadores de la semilla tanto en cantidad como en calidad de áreas o poblaciones determinadas. Para poder obtener los indicadores antes mencionados, se necesita conocer el potencial productivo y niveles de eficiencia, por lo cual, estas variables se necesitan determinar en áreas de campo (Bustamante-García *et al.*, 2012).

2.4. Potencial y eficiencia de semillas

Para empezar, las especies forestales presentan indicadores reproductivos, en el caso de la madurez, la cual se puede presentar en una población en base la edad, con respecto al potencial de la producción de semillas, esto permite el poder evaluar el potencial que presenta una especie respecto a su población, esto debido a que los resultados que se obtienen con tales indicadores se puede diseñar e implementar una estrategia con base en la conservación de especies y sus poblaciones presentes, así como las diversas fuentes específicas de cada población (Alba-Landa *et al.*, 2005)

Por consiguiente, la siguiente variable o indicador, es la eficiencia de las semillas presentes en cada cono, por tanto, se evalúa la cantidad de semillas llenas con base en el potencial

biológico de la especie. Existen diversas causas que se pueden identificar como consecuencia de la pérdida de semillas viables, en consecuencia, estas darán indicadores para poder obtener medidas correctivas y así disminuir la mortandad de semillas en cada población (Bramlett *et al.*, 1977).

Es fundamental conocer el potencial productivo y de la eficiencia de la producción de semilla para determinar la calidad y cantidad disponible en cada población de las especies con importancia, tanto comercial como de conservación y protección (Bustamante-García *et al.*, 2012)

2.5. Indicadores reproductivos

En la actualidad es de gran importancia el poder tener semillas forestales viables, que presenten las mejores características en su calidad y gran cantidad, esto con la finalidad de poder atender y revertir los cambios significativos en sus poblaciones, con lo cual se debe de tener más conocimiento y análisis de estudios con base en los indicadores reproductivos de estas especies y su origen, por lo tanto, se presenta como un factor de gran importancia para la conservación y restauración de dichos sitios (Morales-Hernández *et al.*, 2022).

Existen diversas medidas que sirven como indicadores reproductivos con la finalidad de poder evaluar, analizar y monitorear las diversas especies forestales, las poblaciones presentes en estatus de riesgo a causa del tamaño reducido de individuos en tales poblaciones, presentes en densidades bajas, generando en ocasiones cuellos de botella teniendo como consecuencia la fragmentación del hábitat. Estos indicadores se basan en las semillas como el número de semillas llenas y vanas por cono, óvulos abortados tanto de primer como de segundo año, peso del cono, semillas por cono y con esto obtener registros de reproducción y así obtener éxitos en las poblaciones (Mosseler *et al.*, 2000; Bramlett *et al.*, 1977).

2.6. Dinámica de poblaciones pequeñas

En la actualidad, las especies forestales presentes en poblaciones pequeñas presentan gran fragmentación, generando con esto diversas consecuencias, como es el caso de la polinización, a causa de la mínima dispersión y flujo de genes entre las poblaciones. Poblaciones pequeñas como la de la especie de *Pinus culminicola* presentan un gran peligro de desaparecer y extinguirse a consecuencia de capacidad reproductiva baja. La eficacia de su propagación se determina con diversas evaluaciones que son basadas en la producción de

semilla con relación en óvulos abortados, y la calidad de la semilla, esta sea llena o vana (Flores-López *et al.*, 2005).

Por consiguiente, especies presentes en poblaciones pequeñas, se reduce la capacidad presente en la especie para reproducirse y/o desarrollarse, dando como consecuencia la endogamia a causa de la autofecundación o polinización entre individuos emparentados.

Un nivel alto de endogamia lleva a un incremento en la homocigosis, provocando una depresión por la presencia de alelos recesivos deletéreos, causando un aumento en el porcentaje de semillas vanas y dando como consecuencia el decremento en la germinación y crecimiento de las plantas (Morales-Velázquez *et al.*, 2010).

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Descripción del área de estudio

La localización de los sitios donde se recolectaron las muestras, en primer lugar, el Cerro El Potosí, ubicado en el municipio de Galeana, estado de Nuevo León, este forma parte de la Sierra Madre Oriental. En este se encuentra el punto más alto con más de 3700 msnm. Este se ubica entre las coordenadas 24°50'35" a 24°53'16" de latitud norte y 100°13'16" a 100°15'12" de longitud oeste, abarca una superficie con más de 1000 km², por lo tanto, presenta una amplia dimensión llegando a formar parte de un parteaguas de tres cuencas hidrológicas dando salida al Golfo de México (Villanueva-Díaz *et al.*, 2018) (Figura 1).

De acuerdo con García (1998), el tipo de clima que se presenta en el Cerro El Potosí pertenece al E(T)H: E, dando lugar a frío-extremoso, así mismo este cambia de acuerdo con las elevaciones altitudinales, ya sea superiores o inferiores presentándose en un intervalo de 7-14 °C, en el año se presentan diversos niveles de precipitación, estos llegando hasta los 400 mm al año.

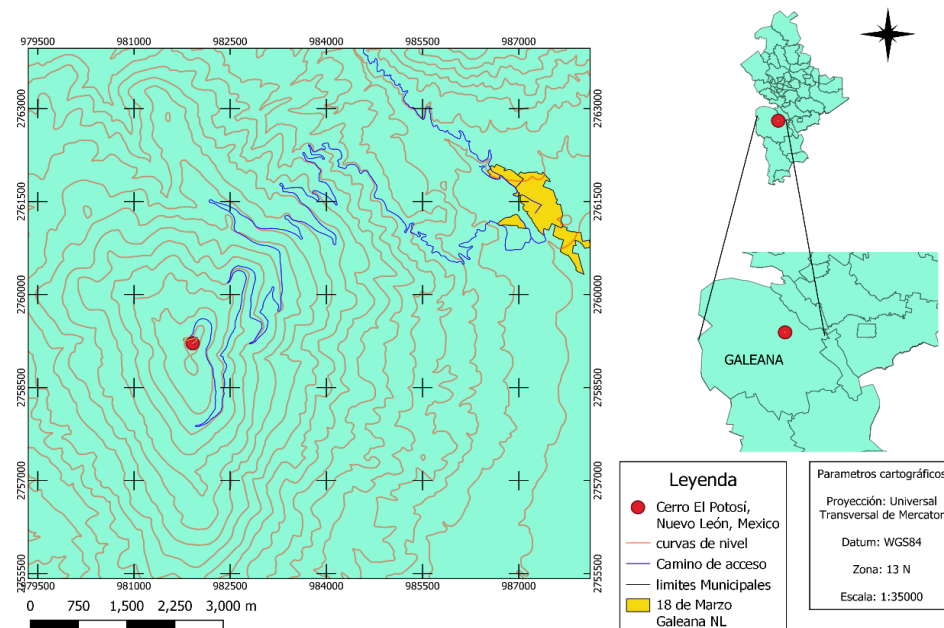


Figura 1. Ubicación geográfica del sitio de colecta en el Cerro El Potosí perteneciente a Galeana, Nuevo León.

La segunda área de estudio se ubica en la Sierra de la Marta, perteneciente a la Sierra Madre Oriental, abarca el estado de Coahuila; municipio de Arteaga, y el estado de Nuevo León; municipios Rayones y Galeana. Esta sierra cuenta con altitudes que van desde las mínimas con 2300 metros hasta las máximas con 3700 m.s.n.m., presenta una cima con aproximadamente 30 km de largo la cual es la división de los límites entre los dos estados, esta se ubica en orientación este a oeste (Reyna-Olvera, 1998). Esta sierra se encuentra establecida entre los límites de las coordenadas geográficas 25° 12' 03" latitud norte y 100° 22' 41" longitud oeste (INEGI, 2021). Con base en la clasificación climática, la Sierra de La Marta muestra un clima con fórmula tipo C(E)x, la cual corresponde a un clima templado subhúmedo, en el cual hay presencia de lluvias en épocas de verano, pero escasas durante el año. De igual forma, la precipitación media anual de la sierra se presenta en un intervalo de 498-600 mm. Agregando a lo anterior para el caso de la temperatura, se expone una media anual de 13.3 °C, así como intervalos para los días más calurosos y los más fríos, 16.1 °C en los meses de mayo-junio, los cuales son de más calor y 9 °C en el mes de enero siendo este el más frío (Martínez-Gallegos, 2021).

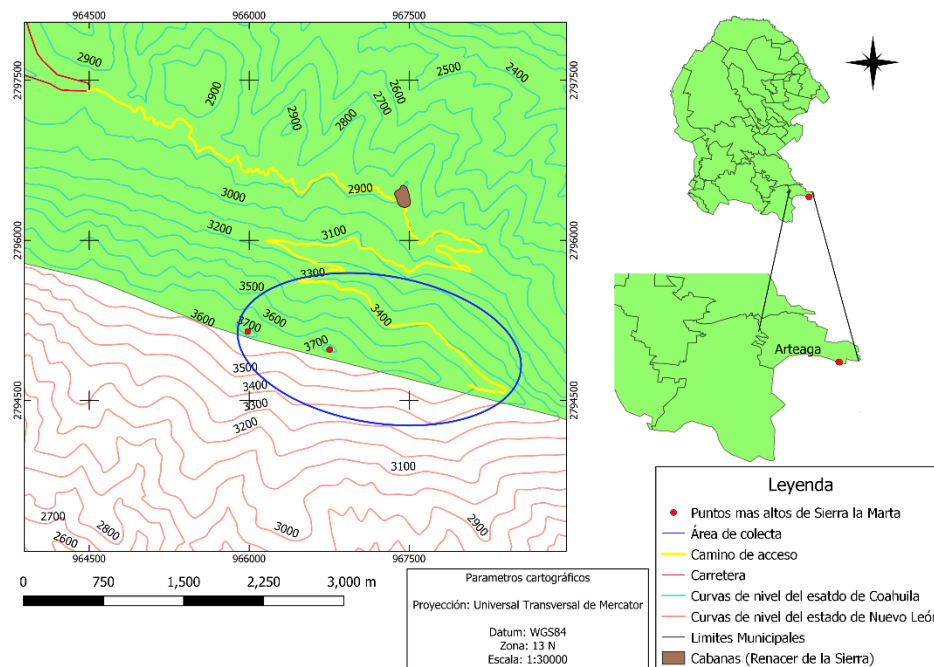


Figura 2. Ubicación geográfica del área de colecta en la Sierra La Marta perteneciente al estado de Coahuila y Nuevo León.

3.2. Selección de arbolado y colecta de conos

Se colectaron estróbilos cerrados, para esto se asistió a la primera población ubicada en el Cerro El Potosí, el día 25 de octubre del año 2021, y la segunda población que está ubicada en la sierra de la Marta, el día 02 de noviembre del mismo año, el material seleccionado se trasladó al laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

En el caso de la primera población presente en el Cerro El Potosí, se seleccionaron 35 árboles de manera aleatoria, ya en la siguiente población presente en la sierra de la Marta, se seleccionaron 36 árboles, para esto se eligieron las especies que aún presentaban gran cantidad de estróbilos para así poder elegir los de mejor calidad, se empezó con las especies que se encontraban a menor altitud hasta llegar a las de mayor altitud, con base en los datos obtenidos en campo por especie, se tomó las coordenadas de cada árbol seleccionado con ayuda de un receptor (GPS), así mismo la altura total, diámetro de copa, diámetro basal, y la exposición, esto se realizó para ambas poblaciones.

Los conos colectados por cada árbol se colocaron en bolsas debidamente marcadas para poder identificarlos, estas se acomodaron en costales para un mejor traslado. Teniendo las muestras ya en laboratorio, se dejaron al aire libre para que los conos secan y así se abrieran para poder evaluar y analizar las semillas. Se seleccionaron 10 conos por árbol, estos tenían que ser los que contaran con características fenotípicas más viables, se colocaron en bolsas de papel estraza, para esto cada bolsa fue etiquetada con marcador de tinta permanente color negro. Se etiquetó por número de árbol seleccionado y número de cono.

3.3. Producción de semillas e Indicadores reproductivos

Ya con las muestras etiquetadas, se procedió a obtener las siguientes variables de cada cono por árbol, longitud del cono (LC); estas medidas se obtuvieron desde la base hasta el ápice del cono, diámetro del cono (DC); estas se obtuvieron de la parte más ancha de cada cono las cuales se registraron en un formato de análisis para conos y semillas. Estas variables se obtuvieron con ayuda de un vernier digital con precisión de 0.01 mm.

Posteriormente, después de obtener las variables antes mencionadas, se volvieron a colocar los conos en las bolsas de estrazas identificadas para dejarlos un tiempo más a que secan y así poder proseguir a la extracción de semillas.

Ya con los conos completamente secos se empezó con la extracción de las semillas, desde las llenas hasta las abortadas de primer y segundo año, con ayuda de instrumental de punta como navaja o cúter. Las semillas extraídas se fueron colocando en bolsas de plástico ya etiquetadas con plumón permanente con base en la población, número de árbol y cono.

Ya con las semillas identificadas y seleccionadas, se prosiguió con la separación de las semillas llenas de las semillenas y vanas, este procedimiento se realizó con alcohol etílico de 96°, un valde, una coladera y papel de estraza para secar las semillas ya sumergidas en alcohol, las semillas se sumergieron en un promedio de 10-15 segundos en donde se observó que las semillas llenas se sumergen hasta el fondo y las semillas semillenas y vanas flotan, por consiguiente ya separadas se depositaron en bolsas de plástico estas ya etiquetadas con marcador, identificando las semillas que salieron llenas, semillenas y vanas.

A continuación, se fraccionaron 5 conos para poder identificar las diversas variables que se presentan en las escamas de cada cono y al mismo tiempo hacer toma de fotografías de cada una de ellas, estas se dividieron en dos grupos, (Figura 3,4,5), en escamas infértiles; escamas basales sin óvulos abortados (EBSOA) y escamas terminales sin óvulos abortados (ETSOA), escamas fértiles; escama intermedia con dos semillas (EI2S), escama intermedia con una semilla y un óvulo abortado (EI1SOA), escama intermedia con una semilla sin óvulo abortado (EI1SSOA), escama intermedia con dos óvulos abortados (EI2OA), escama intermedia con un óvulo abortado sin óvulo (EI1OASO) y escama intermedia sin dos óvulos abortados (EI2SOA).

Ya teniendo la muestra base con las variables antes mencionadas, se prosiguió a evaluar cada cono de ambas poblaciones, terminado se regresaban cada uno en su bolsa para poder llevar un control de las variables ya tomadas.



(EBSOA) Escamas basales sin óvulos abortados



(ETSOA) Escamas terminales sin óvulos abortados

Figura 3. Características morfológicas de escamas infértiles para estimar los indicadores reproductivos de *Pinus culminicola*.



(EI2S) Escamas intermedias 2 semillas



(EI1SOA) Escamas intermedias 1 semilla óvulo abortado



(EI1SSOA) Escamas intermedias 1 semilla sin óvulo abortado

Figura 4. Características morfológicas de escamas fértiles con semilla para estimar los indicadores reproductivos de *Pinus culminicola*.



(E12OA) Escamas intermedias 2 óvulos abortados



(E11OASO) Escamas intermedias 1 óvulo
abortado sin óvulo

(E12SOA) Escamas intermedias sin 2
óvulos abortados

Figura 5. Características morfológicas de escamas fértiles con óvulos abortados y rudimentarios para estimar los indicadores reproductivos de *Pinus culminicola*.

Por consiguiente, todos los conos de las dos poblaciones se trasladaron y se introdujeron en una estufa de secado Thermo SCIENTIFIC y así eliminar en lo más mínimo el contenido de humedad que presentaban, la estufa se programó a una temperatura de 100 °C, esto durante un periodo de 48 horas y con esto obtener el peso de los conos ya secos, el peso se tomó con ayuda de una balanza de precisión OHAUS Scout Pro.

A continuación, para poder determinar los indicadores reproductivos utilizados de acuerdo con Mosseler *et al.* (2000) se emplearon los siguientes: Peso del cono, Peso de semilla, Número de semillas llenas por cono, Proporción de semillas llenas, Proporción de semillas vanas, Proporción de semillas abortadas por cono, Eficiencia de semillas (relación por cono entre el número de semillas llenas y el número de óvulos fértiles), Eficiencia reproductiva (relación entre el peso de la semilla llena y el peso del cono) e índice de endogamia.

3.4. Análisis estadísticos

Teniendo ya las variables evaluadas de conos y semillas de las dos poblaciones, estas se capturaron en Exel, ya con la base de datos, se prosiguió a utilizar el paquete estadístico SAS 9.0 (Stastical Analysis Sistem), por medio de este se utilizó el procedimiento de PROC UNIVARIATE para analizar la base de datos y analizar los posibles puntos aberrantes.

De acuerdo con Guido (2009) menciona el procedimiento de UNIVARIATE el cual es una herramienta de gran utilidad para poder analizar la variedad de diversos datos de medidas descriptivas, así como análisis de métodos estadísticos con lo cual se analizan distintas variables y con esto poder obtener resultados de modelos o distribuciones estadísticas de las variables numéricas.

Ya con los puntos aberrantes corregidos en la base de datos, se utilizó el programa Sigmaplot 12.0 para la elaboración de gráficas con base en diagrama de cajas, para indicar la variación de los árboles por cada población con respecto a la longitud, diámetro, peso y así poder comparar las diferencias presentes en la población de la Sierra la Marta y la población del Cerro El Potosí.

A continuación, en el mismo programa de sigmaplot se realizó una gráfica de comparación para poder analizar la producción de semillas entre las dos poblaciones, así mismo poder analizar el potencial y eficiencia de semillas en ambas poblaciones.

La base de datos se conformaba por variables de 10 conos por árbol, por lo tanto, se utilizó el paquete estadístico SAS, con el cual se obtuvieron medias para las variables de, semillas llenas (SLL), semillas vanas (SV), semillas medias llenas (SMLL), óvulos abortados de segundo año (OA2A), óvulos abortados de primer año (OA1A), semillas dañadas por varios factores (SDVF), óvulos rudimentarios (OR), potencial de semilla (PS) y eficiencia de semilla (ES), en donde se utilizó el procedimiento de PROC MEANS para dichas variables.

Ya teniendo las medias de población por árbol, nuevamente se utilizó el programa de SAS, para realizar el procedimiento de Mann Whitney, ya que las variables o alternativas no son paramétricas en la comparación de medias.

Para el cálculo de las diversas variables utilizadas en determinar los indicadores reproductivos se utilizaron las siguientes fórmulas (Bramlett *et al.*, 1977):

Potencial de semilla (PS) = Escamas fértiles x 2.

Eficiencia de semilla (ES) = (Total de semillas llenas / PS) x 100.

Eficiencia reproductiva = Peso de semillas llenas (mg) / Peso del cono seco (g).

Óvulos rudimentarios (OR) = Escamas intermedias con 1 semilla sin óvulo abortado (EI1SSOA) + Escamas intermedias con 1 óvulo abortado sin óvulo (EI1OASO) + Escamas intermedias sin 2 óvulos abortados x 2 (EIS2OA) 2.

Semillas desarrolladas (SD) = Semillas llenas (SLL) + Semillas vanas (SV) + Semillas dañadas por varios factores (SDVF).

Proporción de semillas llenas (PSLL) = Semillas llenas / Potencial de semilla (SLL / PS).

Proporción de semillas vanas (PSV) = Semillas vanas / Potencial de semilla (SV / PS).

Proporción de óvulos abortados = Óvulos abortados / Potencial de semilla (OA / PS).

Índice de endogamia (IE) = Semillas vanas / Semillas desarrolladas (SV / SD).

Finalmente, se realizó una prueba no paramétrica, con la prueba estadística de Mann-Whitney en SAS, para calcular y analizar si existen diferencias significativas entre las dos poblaciones, esta prueba solo se utiliza en no más de dos grupos o poblaciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción morfológica de conos

La morfología de los conos engloba tres variables, longitud, diámetro y peso. En cada una de las poblaciones se muestra una gran variación, empezado con la característica morfológica de diámetro de cono (mm) (Figura 6). Al comparar las dos poblaciones, se puede apreciar que ambas son diferentes, ya que en la población A sierra la Marta se muestra una gran variación en su rango que va de 14.30 mm hasta 43.21 mm, mientras que la población B Cerro El Potosí presentó una variación en un rango de 19.76 mm hasta 42.58 mm. Por lo cual, en la comparación del valor promedio, la población A presenta un promedio más bajo, siendo este de 29.23 mm, mientras que la población B es de 33.13 mm. Las diferencias se pueden deber a que posiblemente hubo mayor polinización en la población B y menos en la población A.

Los conos fueron colectados en árboles presentes en las menores altitudes de la población y sucesivamente se fueron colectando hasta las mayores altitudes, por lo cual, a medida que se fueron colectando con base en la altitud, la medida de los conos fue aumentando, esto se ve presente en las dos poblaciones, por consiguiente, el tamaño del cono se ve afectado por la altitud, posiblemente por la diferencia del contenido de humedad presente arriba y abajo.

Continuando con la siguiente característica morfológica de Largo de cono (mm) (Figura 7), en la comparación de las dos poblaciones, se muestra una gran variación en la característica, la población A presentó una variación con rango de 18.26 mm hasta 45.06 mm, mientras que la población B mostró una variación en rango de 20.62 mm hasta 48.81 mm, mientras tanto, en la comparación del valor promedio, la población A mostró un valor de 31.26 mm, mientras que la población B el valor fue de 33.07 mm. por consiguiente, la población que presenta conos más largos es Cerro El Potosí.

En la descripción actual del presente estudio se considera que los conos presentan un rango que va de 1.83 cm-4.88 cm de largo, en comparación con la descripción inicial que muestra Perry (1991), con medidas de 3-4 cm de largo de cono, concluyendo que las medidas son similares en ambas descripciones.

Como tercer y última característica morfológica, está el peso del cono seco (g) (Figura 8), en donde nuevamente se vuelve a observar que las dos poblaciones muestran gran variación en sus valores, por lo tanto, en la población A presentó una variación con un rango que va de 1.28 g a 5.59 g, por lo que, la población B mostró valores en un rango de 1.29 g a 8.36 g. ya comparando el valor promedio de ambas poblaciones, en la población A el valor promedio fue de 3.04 g, por lo cual, la población B presentó un valor promedio de 3.82 g.

Ya con las características morfológicas evaluadas, se concluye que la población B Cerro El Potosí presenta conos con mayor volumen, ya que en las tres características los valores fueron más altos para tal población, mientras que, en la población A Sierra la Marta, los valores fueron menores, presentando una mayor diferencia en la característica de peso del cono seco, siendo esta de casi un gramo de diferencia.

4.2. Producción de semillas entre las dos poblaciones de *Pinus culminicola*

4.2.1. Potencial de semillas

Los análisis de conos y semillas ejecutados en dos poblaciones naturales de *Pinus culminicola* en la colecta 2021, Sierra la marta presentó un potencial de semillas más alto (25.37) mientras que el Cerro El Potosí tuvo un valor más bajo (24.01) (Figura 9).

Se obtuvo que ambas poblaciones son estadísticamente iguales con base en la prueba de Mann-Whitney, ya que no presentaron diferencias significativas en el potencial de semillas ($p \leq 0.05$). Por lo tanto, estas diferencias se deben a la irregularidad en la producción de semillas, puesto que, poblaciones naturales no tienen la capacidad de producir semillas regularmente, esto se da en diversos periodos anuales (diferentes años semilleros) ya sea en poblaciones de la misma especie o entre procedencias, con rangos que van de un año hasta siete o más años, estos factores pueden estar relacionados con diversos factores, como el clima o la madurez de la especie Márquez-Ramírez *et al.*, 2010.

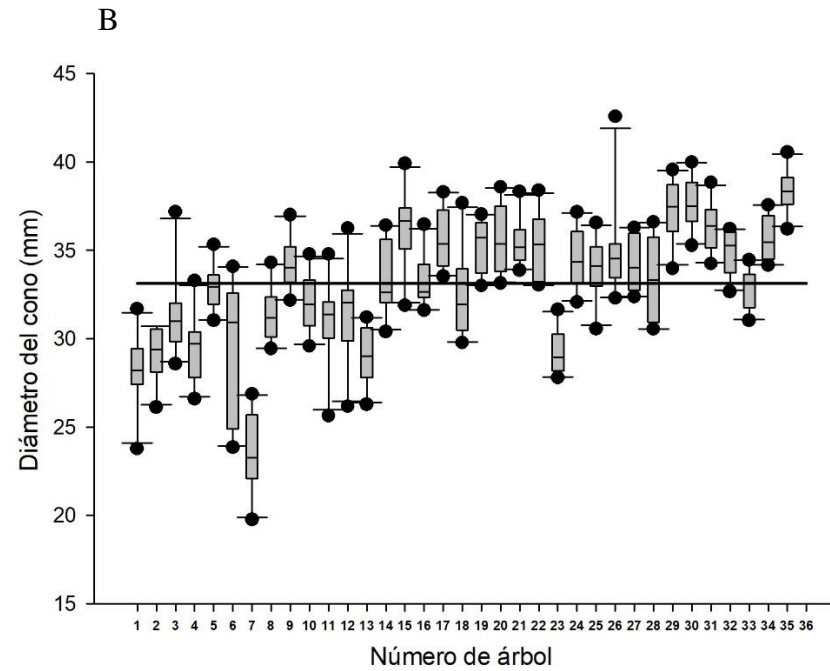
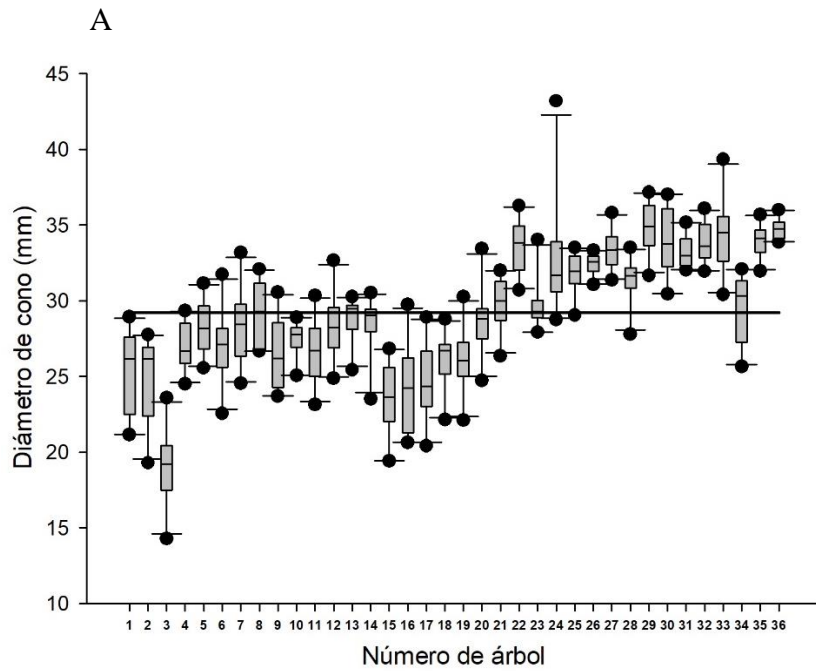


Figura 6. Diagrama de cajas de la variación por árbol del diámetro de cono (mm) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León.

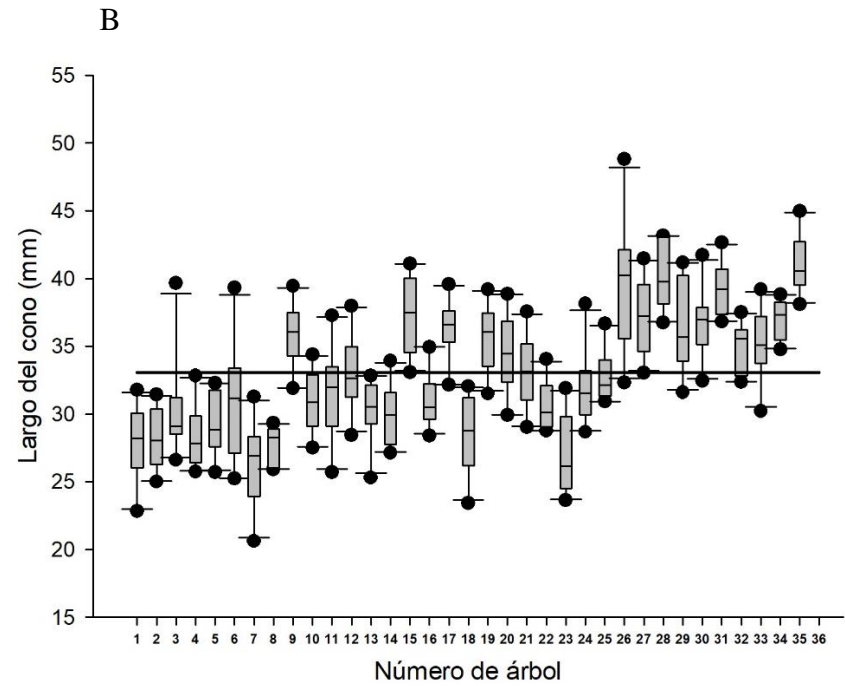
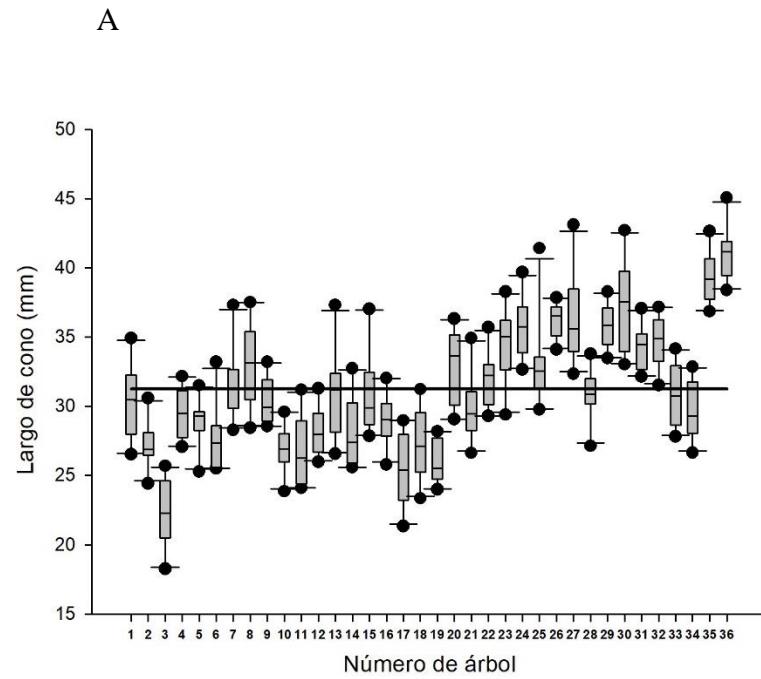


Figura 7. Diagrama de cajas de la variación por árbol del largo de cono (mm) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicada en el municipio de Galeana, Nuevo León.

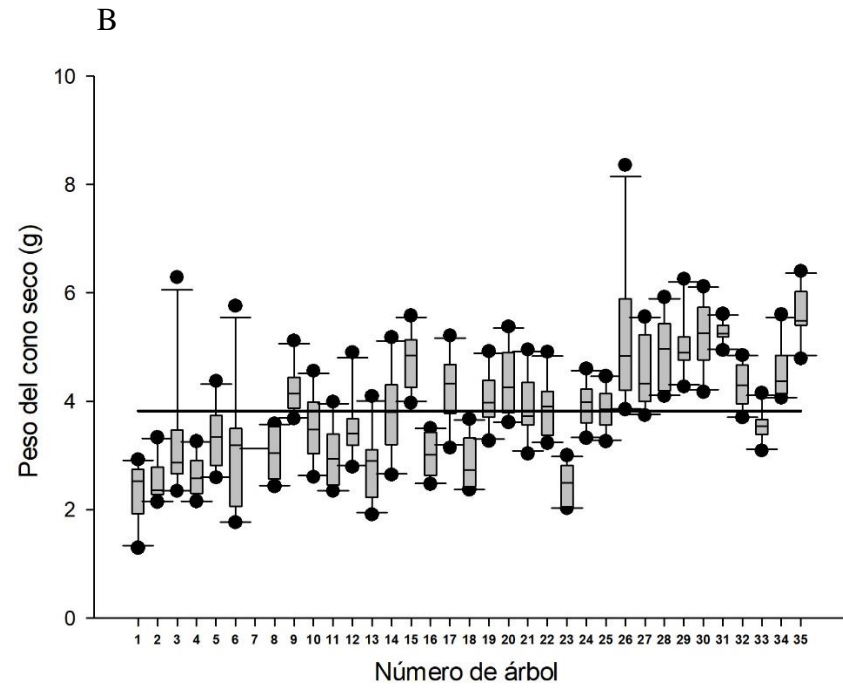
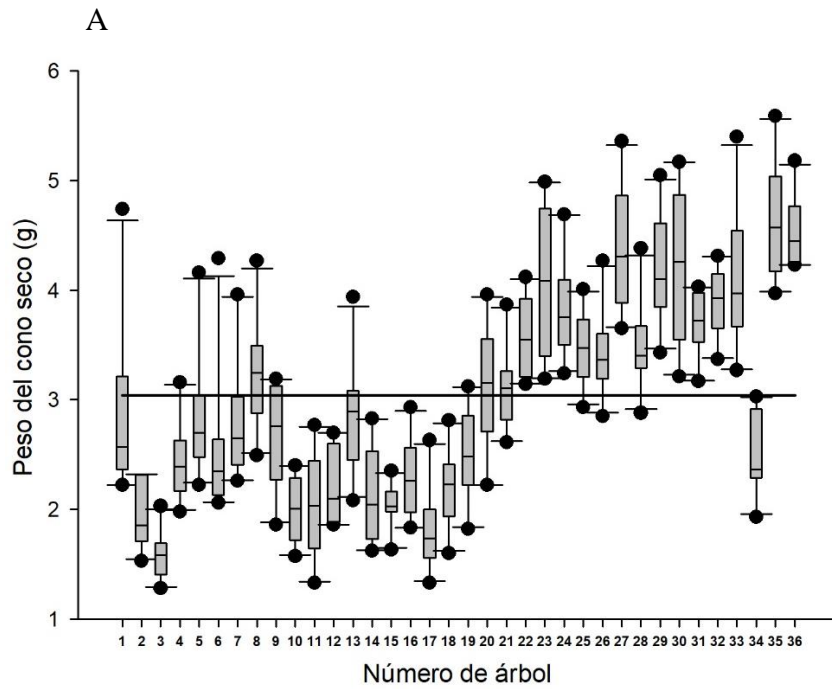


Figura 8. Diagrama de cajas de la variación por árbol del peso del cono seco (g) para las poblaciones, A) Población de la Sierra la Marta ubicada en el municipio de Arteaga, Coahuila, B) Población del Cerro El Potosí ubicado en el municipio de Galeana, Nuevo León.

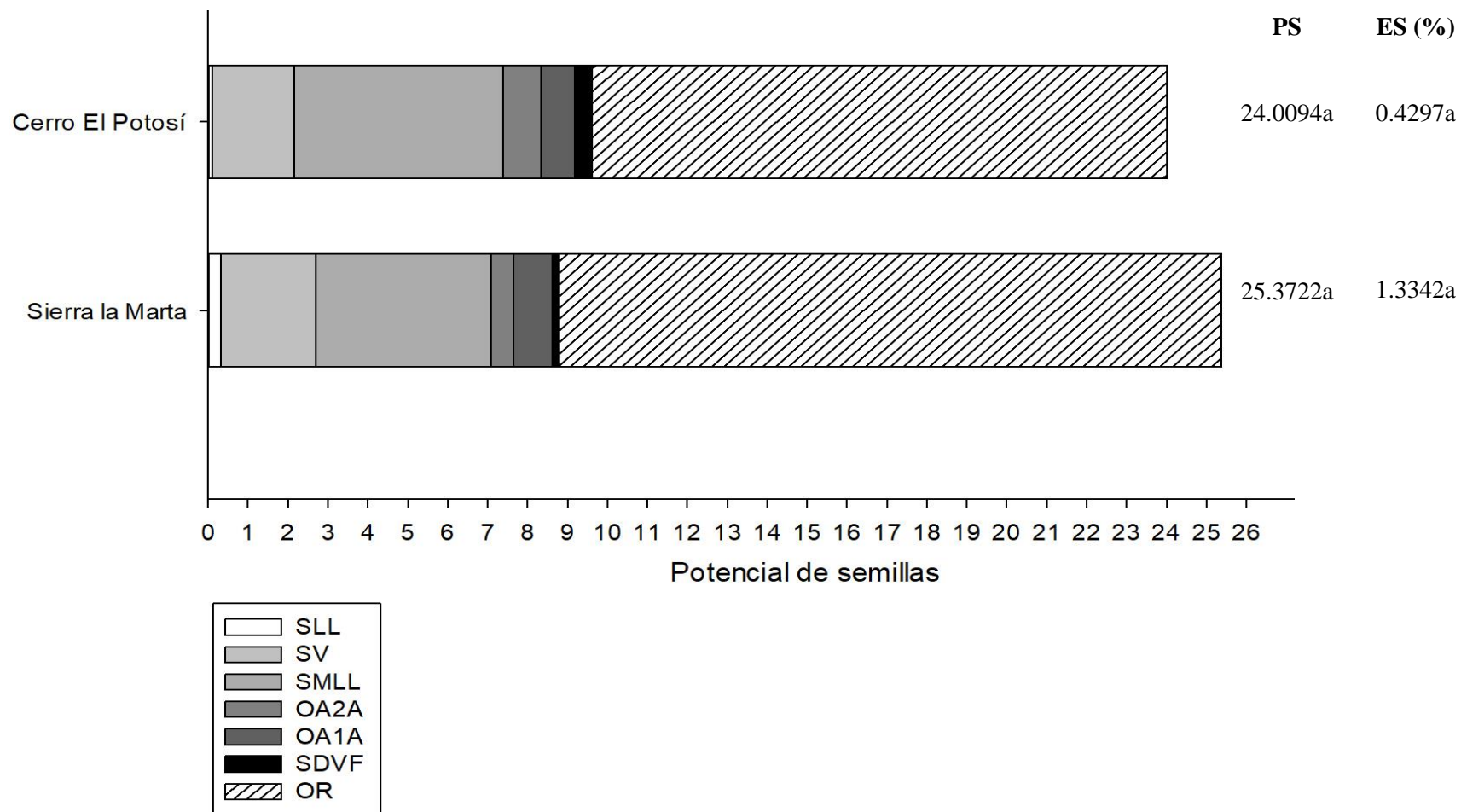


Figura 9. Producción y pérdida de semillas de dos poblaciones de *Pinus culminicola* en la colecta 2021.

Haciendo la comparación de los resultados obtenidos del potencial de semillas de la especie evaluada con otros estudios realizados en la familia de Pinaceae (Cuadro 1), en las especies del grupo de los piñoneros, *Pinus johannis* M.-F. Robert presentó un potencial de semillas de 16, por lo tanto, fue un valor más bajo que la especie de *Pinus culminicola* evaluada.

Pinus nelsonii Shaw, es una especie con estróbilos de dimensiones grandes, en consecuencia, presentó un potencial de semillas de 112, sobrepasando por mucho a *Pinus culminicola* del estudio presente. *Pinus cembroides* Zucc, presentó un potencial de semillas de 19 y *Pinus orizabensis* D.K. Bailey y Hawksw un potencial de 23.1.

De las especies evaluadas, la más similar a la especie evaluada fue *Pinus orizabensis* D.K. Bailey y Hawksw, ya que las demás especies incluidas en el Cuadro 1, no forman parte del grupo de los piñoneros, por lo tanto, el potencial de semillas reportado es más alto en un rango de (100 a 230).

Haciendo alusión al Cuadro 1, la comparación de las especies de coníferas que no forman parte del grupo de los piñoneros, las cuales, presentan mayor distribución que una especie restringida, como es el caso de *Pinus leiophylla* Schltdl. Et Cham, ya que esta especie crece en poblaciones aisladas y de baja densidad, por lo tanto, el potencial de semillas para esta especie fue de 61, mientras que las especies de mayor distribución como es el caso de la especie de *Pinus montezumae* Lambert, el cual obtuvo un promedio en el potencial de 227, sobrepasando por mucho a la especie de *Pinus leiophylla* Schltdl.

Los valores del potencial de semillas para cada especie y entre poblaciones son variables con respecto a los años, pues, pueden poner en peligro la disposición reproductiva de las especies (Martínez-Rivas *et al.*, 2020).

Cuadro 1. Potencial de semillas de diferentes coníferas en diferentes localidades.

Especie	Potencial de semillas	Cita
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	16 (14 a 18) *¶	Corona-Mora, 2015
<i>Pinus nelsonii</i> Shaw	112 (105 a 120) *	Pérez-Díaz, 2018
<i>Pinus cembroides</i> Zucc	19.0 (17 a 21) *	Hernández-Anguiano, 2016
<i>Pinus orizabensis</i> D.K. Bailey y Hawksw	23.1 (22 a 24) *	Hernández-Anguiano, 2016
<i>Pinus chiapensis</i> (Martínez) Andresen	108	Mendizábal-Hernández <i>et al.</i> , 2015
<i>Pinus engelmannii</i> Carr	161 (149 a 172) *	Bustamante-García <i>et al.</i> , 2012
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	190 (170 a 209) *	Andrade-Gómez <i>et al.</i> , 2021
<i>Pinus leiophylla</i> Schltdl. Et Cham	61	Morales-Velázquez <i>et al.</i> , 2010
<i>Pinus montezumae</i> Lambert	227 (201 a 248) *	Herrera-Hernández, 2022.

* Estudios realizados en diferentes poblaciones. ¶ Estudios realizados en diferentes años de colecta.

4.2.2. Eficiencia de semillas

Para comprender la eficiencia de semillas en especies de coníferas, esta entiende como el total de semillas llenas en relación del potencial de semillas, este valor es dado en porcentaje (Bramlett *et al.*, 1977).

En el presente estudio se encontró una eficiencia de semillas promedio de 0.8820 % de las dos poblaciones evaluadas de *Pinus culminicola*, para esto, el porcentaje más alto en la eficiencia de semillas se obtuvo en la población de la Sierra la Marta con 1.3342 %, por lo tanto, el valor más bajo se presentó en el Cerro el Potosí con 0.4297 % (Figura 9).

Por consiguiente, comparando los resultados obtenidos en el estudio con los obtenidos en otros estudios realizados en coníferas (Cuadro 2), primeramente, en las especies pertenecientes al grupo de los piñoneros, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey presentó un 13.63 % de eficiencia de semillas, por lo cual sobrepasa por mucho el resultado

de la especie de *Pinus culminicola* del presente estudio. Para el resultado de la especie de *Pinus pinceana* Gordon, presentó un promedio de 39.6 %, por lo cual fue un resultado mucho mayor que las especies antes mencionadas. Por consiguiente, en un estudio realizado en el año 2014 para la especie de *Pinus culminicola*, esta presentó una eficiencia de semillas de 0%, por lo tanto, fue un resultado menor que el obtenido en este estudio realizado.

Las siguientes especies presentes (Cuadro 2), ya no pertenecen al grupo de los piñoneros, como resultado, presentaron una eficiencia de semillas con valores mucho más altos, en un rango de (42 a 58 %) a excepción de la especie de *Pinus pseudostrobus* Lindl, en donde obtuvo un valor promedio de 0.34 %.

Por consiguiente, la eficiencia de semillas entre poblaciones o individuos es una de las medidas con un valor más importante para la producción de semillas, ya sea la productividad de la especie en relación con los conos (Mendizábal-Hernández *et al.*, 2010).

4.2.3. Características reproductivas

Respecto a las medias de las características reproductivas de semillas (Cuadro 3), en (SLL) el valor más alto se presentó en la población de Sierra la Marta con 0.3333, mientras que el Cerro El Potosí su valor fue más bajo con 0.1057, en esta característica reproductiva, ambas poblaciones no presentaron diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a la prueba de Mann-Whitney. Para el caso de (SV), la población de Sierra Marta presentó un valor en su media más alto con 2.3722, mientras que en el Cerro El Potosí el valor de la media fue más bajo con 2.0400, en esta característica nuevamente no hay diferencia significativa entre las dos poblaciones evaluadas.

Cuadro 2. Eficiencia de semillas de diferentes coníferas en diferentes localidades.

Especie	Eficiencia de semillas (%)	Cita
<i>Pinus cembroides</i> subsp. <i>orizabensis</i> D.K. Bailey	13.63	Landa-Rodríguez <i>et al.</i> , 2019
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	39.6 (28 a 55) *¶	Quiroz-Vázquez <i>et al.</i> , 2017
<i>Pinus culminicola</i> Andresen et Beaman	0	Pérez-Pérez, 2014
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	53.77	Alba-Landa and Márquez-Ramírez, 2006
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	0.34 (0.17 a 0.46) *	Joaquín-Juan, 2019
<i>Pinus engelmannii</i> Carr	48.9 (39 a 67)	Bustamante-García <i>et al.</i> , 2012
<i>Pinus tropicalis</i> Morelet	42.24 (40 a 43) ¶	Pérez-Reyes and Geada-López. 2020.

* Estudios realizados en diferentes poblaciones. ¶ Estudios realizados en diferentes años de colecta.

En la característica reproductiva de (SMLL), la población de la Sierra la Marta presentó un valor más bajo con 4.3778, mientras que Cerro El Potosí, en esta característica reproductiva el valor fue más alto con 5.2429, por consiguiente, no se presentó diferencias significativas entre las dos poblaciones.

En la característica reproductiva de (OA2A), la población de la Sierra la Marta obtuvo una media con un valor más bajo, siendo de 0.5639, mientras que la población del Cerro el Potosí el valor de la media fue más alto, siendo este de 0.9923, por lo tanto, las dos poblaciones son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) con base en la prueba de Mann-Whitney. Sin embargo, en la característica reproductiva de (OA1A), la población de la Sierra la Marta presentó una media con un valor de 0.9944, siendo este un valor más alto que la población del Cerro El potosí, la cual obtuvo un valor de su media de 0.8491, en esta característica no se presentaron diferencias significativas entre las dos poblaciones.

En la característica reproductiva de (SDVF), la población de la Sierra la Marta mostró una media con valor más bajo de 0.1583, mientras que Cerro El Potosí obtuvo un valor más alto de su media de 0.4339, en esta característica reproductiva si se presentó que ambas

poblaciones son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) con base en la prueba de Mann-Whitney.

Por último, la característica reproductiva de (OR), la población de la Sierra la Marta obtuvo una media más baja con un valor de 7.7111, mientras que Cerro El Potosí presentó una media más alta con un valor de 11.6277, por lo tanto, en esta característica, ambas poblaciones si mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con base a la prueba de Mann-Whitney.

Cuadro 3. Comparación de medias para características reproductivas de semillas en dos poblaciones de *Pinus culminicola* evaluadas en un año de colecta.

		SLL	SV	SMLL	OA2A	OA1A	SDVF	OR	PS	ES (%)
Media	Sierra la Marta	0.3333	2.3722	4.3778	0.5639	0.9944	0.1583	7.7111	25.3722	1.3342
	Cerro El Potosí	0.1057	2.0400	5.2429	0.9923	0.8491	0.4349	11.6277	24.0094	0.4297
Mediana	Sierra la Marta	0.0000a	2.3500a	2.1000a	0.3000b	0.6000a	0.0000b	7.6000b	24.0000a	0.0000a
	Cerro El Potosí	0.0000a	1.7000a	5.6000a	0.7000a	0.5000a	0.2000a	11.1000a	23.8000a	0.0000a

Semilla llena = SLL, Semilla vana =SV, semilla media llena = SMLL) Óvulos abortados de 2do año = OA2A, Óvulos abortados de 1er año = OA1A, Semillas dañadas por varios factores = SDVF, Óvulos rudimentarios = OR, Potencial de semilla = PS, Eficiencia de semilla = ES (%).

Nota: Poblaciones con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) determinado por la diferencia mínima significativa. Poblaciones con letras iguales no son significativamente diferentes.

4.3. Indicadores reproductivos

Las características o indicadores reproductivos de conos y semillas son de gran importancia para el monitoreo en poblaciones de coníferas, ya que, diversas especies actualmente se encuentran en estado de deterioro, así mismo, algunas entran en estatus de peligro de extinción, a causa de varios factores como el pastoreo, tala clandestina, incendios forestales, entre otros factores. Por lo tanto, es de gran importancia obtener información de los indicadores reproductivos de las especies, para poder establecer programas para la conservación y mantenimiento de estas, así como conocer la interacción entre las poblaciones (Andrade-Gómez, 2019).

Para el indicador reproductivo de (PCSECO) (Cuadro 4), la población de la Sierra la Marta presentó un promedio menor con un valor de 3.037, por consiguiente, la población del Cerro El Potosí mostro un valor mayor con un promedio de 3.768, por lo tanto, en la prueba realizada de Mann-Whitney, las dos poblaciones resultaron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Haciendo la comparación del indicador antes mencionado con un estudio realizado por González-Ávalos *et al.* (2006), mencionan a la especie de *Pinus cembroides* Zucc, perteneciente al grupo de los piñoneros, donde obtuvieron un promedio de 2.32 en el indicador de peso seco del cono, por lo tanto, es un valor más bajo que la especie evaluada en el presente estudio de *Pinus culminicola*.

En el caso del indicador reproductivo de (PSLL) (Cuadro 4), la población de la Sierra la Marta mostró un promedio de 0.109, mientras que Cerro El potosí presentó un promedio más bajo de 0.043, sin embargo, ambas poblaciones no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Por lo tanto, los valores obtenidos son muy bajos en comparación con un estudio realizado por Pérez-Díaz (2018) en una especie de pino piñonero *Pinus nelsonii* Shaw, sin embargo, los conos pertenecientes a esta especie son de mayor densidad, tanto en largo y ancho, por lo cual, el promedio del indicador antes mencionado por el estudio fue de 25.37 presentando está mucho mayor densidad en el indicador reproductivo del peso promedio de semillas llenas.

Por consiguiente, el indicador reproductivo de (PSMLL) (Cuadro 4), la población que obtuvo mayor promedio fue Cerro El Potosí, con un valor de 1.909, por lo tanto, Sierra la Marta presentó un valor menor de 1.340. En este indicador reproductivo del peso de semillas medias llenas, ambas poblaciones evaluadas si son significativamente diferentes con base en la comparación de medias ($p \leq 0.05$).

Continuando con el indicador reproductivo de (NSLL) (Cuadro 4), el valor promedio de la población de la Sierra la Marta obtuvo un promedio de 0.333, siendo este más alto que el promedio de la población del Cerro El Potosí con valor de 0.109, por lo tanto, la primera población de la Sierra la Marta presenta mayor probabilidad de tener mayor número de semillas llenas por cono. Para este indicador reproductivo, ambas poblaciones no son significativamente diferentes en base la comparación de medias con la prueba Mann-Whitney. Con base en un estudio realizado por Quiroz-Vázquez (2015), en la especie de

Pinus pinceana Gordon, perteneciente al grupo de las especies piñoneras, en el indicador reproductivo de número de semillas llenas por cono, obtuvieron un resultado de 0.45, por lo tanto, este resultado fue mayor que el indicador del presente estudio realizado.

Prosiguiendo con el indicador reproductivo de (PRSLL) (Cuadro 4), la primera población de Sierra la Marta obtuvo un promedio de 0.013, siendo este más alto que la segunda población del Cerro El Potosí, el cual obtuvo un promedio de 0.004, por lo tanto, en la comparación de medias de ambas poblaciones, no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) por la prueba realizada de Mann-Whitney. Como resultado, los valores obtenidos en el presente indicador son menores en comparación a un estudio realizado por Márquez-Barrabé (2017), en dos especies de coníferas, pero están no forman parte de las especies de piñoneros, en donde se obtuvo un resultado de 0.55 en la especie de *Pinus caribaea* var. *caribaea*, y un resultado de 0.44 en *Pinus tropicalis*.

En el indicador reproductivo de (PSV) (Cuadro 4), ambas poblaciones obtuvieron valores similares, en la primera población de Sierra la Marta se obtuvo un promedio de 0.093, mientras que la población del Cerro El Potosí obtuvo un promedio de 0.094, por lo tanto, en la comparación de medias con la prueba de Mann-Whitney se demostró que ambas poblaciones no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Por lo cual, estos resultados siendo comparados con el artículo mencionado en el indicador anterior realizado por Márquez-Barrabé (2017), en donde la proporción de semillas vanas en la especie de *Pinus caribaea* var. *caribaea* fue de 0.18, mientras que en la especie de *Pinus tropicalis* fue de 0.05, por lo tanto, la especie que más se acercó a los valores obtenidos en el presente estudio de las dos poblaciones de *Pinus culminicola* fue la especie de *Pinus tropicalis*.

Siguiendo con el indicador reproductivo de (POA2A y POA1A) (Cuadro 4), en la proporción de los óvulos abortados del segundo año, si se encontró diferencia en la comparación de ambas poblaciones, por lo cual, en la primera población de Sierra la Marta se obtuvo un promedio de 0.022 siendo este un valor más bajo que el de la población del Cerro El Potosí con 0.042, por consiguiente, en la comparación de medias se demostró que las dos poblaciones son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Mientras que para la proporción de los óvulos abortados del primer año, no fue tan notable la diferencia de los valores en ambas poblaciones, ya que, en la primera población de la Sierra la Marta, el promedio obtenido fue

de 0.038, siendo este un poco más alto que el valor de la población del Cerro El Potosí en donde se obtuvo un promedio de 0.033, por lo tanto, ya en la comparación de las medias para ambas poblaciones se demostró que no se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con la prueba realizada de Mann-Whitney. Haciendo una comparación de las medias de los datos obtenidos en la proporción de los óvulos abortados, Capilla-Dinorin *et al.* (2021) encontró en la especie de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen, valores obtenidos mucho más superiores, siendo estos con un valor de 16.5 en dicho indicador reproductivo.

A continuación, en el indicador reproductivo de (ER) (Cuadro 4), los valores no son tan similares en ambas poblaciones, ya que, en la población de Sierra la Marta presentó media de 29.176 mg de semilla por g de cono, este fue más alto que la población del Cerro El Potosí en el cual se obtuvo una media de 12.776 mg de semilla por g de cono, aun con la gran diferencia presente, en la comparación de medias de ambas poblaciones con base a la prueba de Mann-Whitney, no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). ya en la comparación de los resultados obtenidos con un estudio realizado por Morales-Velázquez *et al.* (2010) en la especie de *Pinus leiophylla* Schltdl. Et. Cham, en donde obtuvieron una media de 2.49 mg de semilla por g de cono, por lo tanto, fue un valor más bajo que el obtenido por el estudio realizado.

Por último, el indicador reproductivo de (IE) (Cuadro 4), presentó que, en la población de la Sierra la Marta se obtuvo un valor promedio de 0.469, por consiguiente, en la población del Cerro El Potosí el promedio fue de 0.312, siendo este más bajo que la población antes mencionada. En el caso de este indicador reproductivo, las dos poblaciones son estadísticamente diferentes, siendo Sierra la marta la población que presenta el valor más alto en el índice de endogamia. Ya haciendo la comparación de los resultados obtenidos en ambas poblaciones con un estudio realizado por Mendoza-Hernández *et al.* (2018), los valores del indicador reproductivo de Índice de Endogamia realizado en la especie de *Pinus patula*, obtuvieron un valor de 0.22, siendo este más bajo que el resultado obtenido en el presente estudio de *Pinus culminicola*. Por lo tanto, el factor de la endogamia en coníferas es importante, ya que influye mucho en la evolución de las especies, dando lugar a efectos causantes de la extinción de poblaciones de coníferas, siendo estas pequeñas y/o aisladas, esperando consecuencias tales como la diversidad genética baja (Fuentes-Amaro *et al.* 2019).

Cuadro 4. Comparación de medias para indicadores reproductivos de conos y semillas de dos poblaciones de *Pinus culminicola* evaluadas en un año de colecta.

		Indicadores reproductivos										
		PCSECO	PSLL	PSMLL	NSLL	PRSLL	PSV	POA2A	POA1A	ES	ER	IE
Media	Sierra la Marta	3.037	0.109	1.340	0.333	0.013	0.093	0.022	0.038	1.334	29.176	0.469
	Cerro El Potosí	3.768	0.043	1.909	0.109	0.004	0.094	0.042	0.033	0.442	12.776	0.312
Mediana	Sierra la Marta	2.880b	0.000a	0.845b	0.000a	0.000a	0.090a	0.010b	0.025a	0.000a	0.000a	0.435a
	Cerro El Potosí	3.830a	0.000a	1.925a	0.000a	0.000a	0.070a	0.030a	0.020a	0.000a	0.000a	0.255b

Peso del cono seco (g) = PCSECO, Peso de semilla llena (g) = PSLL, Peso de semilla media llena (g) = PSMLL, Número de semillas llenas = NSLL, Proporción de semillas llenas = PRSLL, Proporción de semillas vanas = PSV, Proporción de óvulos abortados de 2do año = POA2A, Proporción de óvulos abortados de 1er año = POA1A, Eficiencia de semillas = ES, Eficiencia reproductiva = ER, Índice de endogamia = IE.

Nota: Poblaciones con diferentes letras son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) determinado por la diferencia mínima significativa. Poblaciones con letras iguales no son significativamente diferentes.

5. CONCLUSIONES

La población Cerro El Potosí, presentó los valores de diámetro, largo y peso del cono seco mayores que la población Sierra la Marta, para la colecta del año 2021.

Se acepta la primera hipótesis nula, porque no se encontró diferencias entre poblaciones para el potencial y eficiencia de semillas como indicadores de producción de semillas.

Las dos poblaciones de *Pinus culminicola* presentaron valores bajos en los indicadores reproductivos.

Los indicadores reproductivos que si presentaron diferencias significativas fue en el peso seco del cono, peso de semilla media llena, proporción de óvulos abortados de segundo año y el índice de endogamia, por lo tanto, se rechaza la segunda hipótesis nula.

6. RECOMENDACIONES

Continuar con el monitoreo de la producción de semillas en años posteriores para conocer la variación en los indicadores reproductivos, considerando evaluar la viabilidad de polen y su fenología.

Complementar los indicadores reproductivos realizando estudios de germinación en donde se determine el vigor y el porcentaje de plántulas anormales.

7. LITERATURA CITADA

- Alba-Landa, J., J. Márquez-Ramírez y H. S. Bárcenas-Cortina. 2005. potencial de producción de semillas de *Pinus greggi* engelm. en tres cosechas de una población ubicada en carrizal chico, Zacualpan, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 7 (2):37-40.
- Alba-Landa, J and J. Márquez-Ramírez. 2006. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 8 (1):31-36.
- Andrade-Gómez, K. A. 2019. Indicadores reproductivos, y germinación de semillas de *Pinus hartwegii*. Tesis profesional maestra en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 86 p.
- Andrade-Gómez, K. A., C. Ramírez-Herrera, J. López-Upton, M. Jiménez-Casas y R. Lobato-Ortiz. 2021. Indicadores reproductivos en dos poblaciones naturales de *Pinus hartwegii* LINDL. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 44(2):183-189.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher, G. L. DeBar, G. D. Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware and H. O. YatesIII. 1977. Cone analysis of southern pines a guidebook. Eastern Tree Seed Laboratory at Macon, Georgia. 25 p.
- Bustamante-García, V., J. A. Prieto-Ruíz, E. Melín-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.
- Capilla-Dinorin, E., J. López-Upton, M. Jiménez-Casas y V. Rebolledo-Camacho. 2021. Características reproductivas y calidad de semilla en poblaciones fragmentadas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44 (2):211-219.

- Cervantes-Martínez, R. 2000. Detección de patógenos presentes en tres especies de semillas forestales (*Abies vejari* Martínez, *Pinus culminicola* A&B, y *Picea engelmannii* (Perry) Engelm. var. *mexicana* Martínez). Tesis profesional ingeniero agrónomo parasitólogo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Corona-Mora, D. L. 2015. Producción e indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus johannis* M.-F. Robert en cuatro periodos de colecta, en poblaciones naturales del noreste de México. Tesis profesional ingeniero forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- Del Castillo, R. F., J. A. Pérez-de la Rosa, G. Vargas-Amado y R. rivera-García. 2004. Coníferas. Biodiversidad de Oaxaca, 141-158.
- Estrada-Castillón, A. E., J. Á. Villarreal-Quintanilla, M. M. Salinas-Rodríguez, C. M. Cantú-Ayala, H. González-Rodríguez y J. Jiménez-Pérez. 2014. Coníferas de Nuevo León, México. Monterrey, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. 145 p.
- Farjon, A., J. A. Pérez-de la rosa y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. S. Dickerson. Continental Printing. Bélgica. 151 p.
- Favela-Lara, S. 2010. Population variation in the endemic *Pinus culminicola* detected by rapid. Polibotánica, 30: 55-67.
- Flores-López, C., J. López-Upton y J. J. Vargas-Hernández. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. Agrocencia, 39 (1):117-126.
- Fuentes-Amaro, S. L., J. P. Legaria-Solano y C. Ramírez-Herrera. 2019. Estructura genética de poblaciones de *Pinus cembroides* de la región central de México. Revista fitotecnia mexicana, 42 (1):57-65.
- García-Aranda, M. A., J. Méndez-González y J. Y. Hernández-Arizmendi. 2018. Distribución potencial de *Pinus cembroides*, *Pinus nelsonii* y *Pinus culminicola* en el Noreste de México. Ecosistemas y recursos agropecuarios, 5 (13):3-13.

- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Quinta edición. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. D.F, México. 90 p.
- González-Ávalos, J., E. García-Moya, J. J. Vargas-Hernández, A. Trinidad-Santos, A. Romero-Manzanares y V. M. Cetina-Alcalá. 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.
- González-Jiménez, A., P. Delgado-Valerio, A. Molina-Sánchez, C. Flores-López, J. P. Vargas-Gutierrez y J. J. García-Mañana. 2021. Diversidad genética en poblaciones de *Pinus remota* (Pinaceae) del Noreste de México: evidencias de declinamiento demográfico histórico. Acta Botánica Mexicana, 128 (1890):1-18.
- González-Tagle, M. A. 1999. Patrones de dinámica de un ecosistema multicohortal de *Pinus culminicola* andresen & beaman y *Pinus hartwegii* lindl. en una fracción de la Sierra Madre Oriental. Tesis profesional maestría en ciencias forestales. Facultad de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León. 76 p.
- Granados-Sánchez, D., D. F. López-Ríos y M. A. Hernández-García. 2007. Ecología y silvicultura en bosques templados. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 13 (1): 67-83.
- Granados-Victorino, R. L., D. Granados Sánchez y A. Sánchez-González. 2015. Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la Cuenca Oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). Madera y Bosques, 21 (2):22-43.
- Guido, J. J. 2009. Guido's Guide to PROC UNIVARIATE: A Tutorial for SAS® Users. University of Rochester Medical Center, Rochester, NY. 18 P.
- Hernández-Anguiano, L. A. 2016. Variación en indicadores reproductivos, semillas y plántulas de *Pinus cembroides* Zucc. y *P. orizabensis* D.K. Bailey y Hawksw. Tesis profesional maestro en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. 80 p.

- Herrera-Hernández, R. 2022. Producción y calidad de semilla de *Pinus montezumae* Lambert de ocho poblaciones en el centro de México. Tesis profesional maestro en ciencias. Colegio de Postgraduados, Campus Montecillos. Montecillos, Texcoco, Estado de México. 74 p.
- INEGI. 2021. Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica. Serie III. Aspectos geográficos, Coahuila de Zaragoza. 7-49.
- Jiménez, J., E. Jurado, O. Aguirre y E. Estrada. 2005. Effect of Grazing on Restoration of Endemic Dwarf Pine (*Pinus culminicola* Andresen et Beaman) Populations in Northeastern México. *Restoration Ecology*, 13 (1): 103–107.
- Joaquín-Juan, M. G. 2019. Atributos reproductivos y germinación de *Pinus pseudostrobus* Lindl bajo escenarios de cambio climático. Tesis profesional maestra en ciencias biológicas. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 67 p.
- Landa-Rodríguez, E. J., L. del C. Mendizábal-Hernández, J. Alba-Landa y M. C. Rodríguez-Juárez. 2019. Producción temprana de semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey a partir de polinización controlada. *Foresta Veracruzana*, 21 (2):23-30.
- Manzanilla-Quñones, U. 2017. *Pinus culminicola*: un pino mexicano raro, en peligro de extinción y único en el mundo. Desde el herbario CYCY, (9):9-12.
- Márquez-Barrabé, C. 2017. Indicadores reproductivos de dos áreas productoras de semillas en *Pinus caribaea* var. *caribaea* y *Pinus tropicalis*. *Revista Científico estudiantil Ciencias Forestales y ambientales*, 2 (1):21-29.
- Márquez-Ramírez, J. 2007. Potencial y eficiencia de producción de semillas como indicadores del manejo de *Pinus oaxacana* Mirov. Tesis profesional doctorado en recursos genéticos forestales. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. 99 p.

- Márquez-Ramírez, J., J. Alba-Landa, L. del C. Mendizábal-Hernández, E. O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2010. La fenología reproductiva y el manejo de los recursos forestales. *Foresta Veracruzana*, 12 (2):35-38.
- Martínez-Gallegos, N. 2021. Estructura y composición de la avifauna en tres sitios en la sierra la marta, Arteaga, Coahuila, México. Tesis profesional maestro en ciencias. Facultad de ciencias biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. 59 p.
- Martínez, M. 1992. Los pinos mexicanos. Librería y ediciones botas, S.A. de C.V. Tercera edición. México, D.F. Impresora azteca, S.A. DE C.V. 361 p.
- Martínez-Rivas, J. A., F. Cruz-Cobos, J. G. Gurrola-Amaya y J. A. Nájera-Luna. 2020. Potencial productivo de conos y semillas de dos especies del género *Pinus*. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11 (58):26-42.
- Mendizábal-Hernández, L. del C., J. Alba-Landa, J. Márquez-Ramírez, E. O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2010. Potencial de producción y eficiencia de semillas de dos cosechas de *Pinus teocote* Schl. Et Cham. *Foresta Veracruzana*, 12 (2):21-26.
- Mendizábal-Hernández, L. D., J. Márquez-Ramírez, J. Alba-Landa, E. O. Ramírez-García y H. Cruz-Jiménez. 2012. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Cedrela odorata* L. *Foresta Veracruzana*, 14 (2):31-36.
- Mendizábal-Hernández, L. del C., J. Alba-Landa, L. Hernández-Jiménez, E. O. Ramírez-García y M. C. Rodríguez-Juárez. 2015. Potencial de producción de semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. *Foresta Veracruzana*, 17 (2):47-52.
- Mendoza-Hernández, N. B., C. Ramírez-Herrera, J. López-Upton, V. Reyes-Hernández y P. Antonio-López. 2018. Variación de características reproductivas de árboles de *Pinus patula* en un huerto semillero sexual. *Agrociencia*, 52 (2): 279-291.
- Moctezuma-López, G y A. Flores. 2020. Importancia económica del pino (*Pinus* spp.) como recurso natural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11 (60):161-185.

- Morales-Hernández, J., M. Gómez-Romero, N. M. Sánchez-Vargas, C. Velázquez-Becerra, J. Cruz- de León y E. Ambriz. 2022. Producción de semillas e indicadores reproductivos en *Pinus martinezii* de dos procedencias del estado de Michoacán, México. *Bosque (Valdivia)*, 43 (3): 221-229.
- Morales-Velázquez, M. G., C. A. Ramírez-Mandujano, P. Delgado-Valerio y J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla* Schltdl. et Cham. en la cuenca del río Angulo, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(22):31-38.
- Mosseler, A., J. E. Major, 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.
- Pérez-Díaz, J. 2018. Producción, pérdida e indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus nelsonii* Shaw en el noreste de México. Tesis profesional ingeniero forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 46 p.
- Pérez-Miranda, R., M. E. Romero-Sánchez, A. González-Hernández, S. Rosales-Mata, F. Moreno-Sánchez y V. J. Arriola Padilla. 2019. Modeling of the current distribution and under climate change of endemic pinyon pines of Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10 (56):218-237.
- Pérez-Pérez, E. A. 2014. Comparación del potencial y eficiencia de semillas de *Pinus culminicola* Andresen et Beaman con Pináceas. Investigación descriptiva ingeniero forestal, Departamento Forestal, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 37 p.
- Pérez-Reyes, C. M. and G. Geada-López. 2020. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus tropicalis* Morelet en un huerto semillero. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8 (1):129-137.
- Perry-Jr, J. P. 1991. The pines of México and Central América. Timber press. Portland, Oregón. 231 p.

- Quiroz-Vázquez, R. I. 2015. Características reproductivas y estructura de poblaciones de *Pinus pincenana* Gordon en el estado de Hidalgo. Tesis profesional doctor en ciencias. Colegio de postgraduados, Campus Montecillo. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 89 p.
- Quiroz-Vázquez, R. I., J. López-Upton, V. M. Cetina-Alcalá y G. Ángeles-Pérez. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pinceana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia*, 51 (1):91-104.
- Reyna-Olvera, E. M. 1998. Evaluación de la regeneración natural de coníferas en el área incendiada en 1975, en la Sierra La Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional ingeniero agrónomo forestal. división de agronomía, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 98 p.
- Rosas-Chavoya, M., D. Granados-Sanches, R. L. Granados-Victorino y S. Esparza-Govea. 2016. Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7 (33):52-73.
- Sánchez-González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera bosques*, 14 (1):107-120.
- Sánchez-Silva, R., J. López-García y J. M. Espinoza-Rdz. 1990. *Pinus culminicola* Andresen y Beaman y sus asociaciones en la ladera sur del cerro La Viga, Coahuila. *Investigaciones geográficas*, 21: 21-43.
- 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*. 77 p.
- Villanueva-Díaz, J., L. Vázquez-Selem, J. Estrada-Ávalos, A. R. Martínez-Sifuentes, J. Cerano-Paredes, P. a. Canizales-Velázquez, O. Franco-Ramos, Y F. del R. Reyes-Camarillo. 2018. Comportamiento hidroclimático de coníferas en el Cerro Potosí, Nuevo León, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(49):165-187.