



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**CARRERA DE BIOLOGÍA**

**Germinación y Supervivencia de plántulas**

**de *Pinus pinceana* Gordon**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**BIÓLOGA**

**P R E S E N T A:**

**DIANA NUÑEZ RODRÍGUEZ**

**JURADO DE EXAMEN**

**DIRECTOR: DR. EFRAÍN REYES ÁNGELES CERVANTES**

**ASESORA: DRA. ROSALVA GARCIA SANCHEZ**

**ASESORA: DRA. ANA MARIA SORIANO MARTINEZ**

**SINODAL: M. EN C. SONIA ROJAS CHAVEZ**

**SINODAL: DRA. MARIA MAGDALENA AYALA HERNANDEZ**



Ciudad de México

6 de marzo del 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por mi formación profesional. Un orgullo pertenecer a la máxima casa de estudios.

Al Herbario (CHAP) Universidad Autónoma Chapingo por permitirme el acceso a sus valiosos ejemplares.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias por abrirme las puertas de su biblioteca.

Al Dr. Efraín R. Ángeles Cervantes, gran profesor y ejemplo a seguir. Gracias por compartir su conocimiento, paciencia, motivación, por aquellas salidas a campo acompañadas de deliciosas comidas, historias y atardeceres, pero sobre todo por hacer posible esta investigación. Siempre estaré agradecida por todo su apoyo, atenciones y la oportunidad laboral que me brindo.

A mis padres que me han apoyado en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos: Octavio y Mariana mis grandes ejemplos, gracias por escucharme, animarme y motivarme en este proceso.

A César por apoyarme en cada etapa de esta investigación, el tiempo y ayuda en las salidas a campo haciéndolas agradables, por todo el ánimo que me diste cuando sentía que no lo iba a lograr. Gracias por recorrer este camino a mi lado Nico.

A mis compañeros: Jana, Jorge, Emiliano, nunca faltaron las risas y las pláticas. Gracias por todos los buenos momentos vividos dentro de la FES.

Arantza, por la ayuda en campo para la búsqueda de muestras y toma de datos. ¡Lo logramos!

A mis amigas: Leslie y Karen, por animarme en todo momento. ¡Las quiero chicas!

¡Diana gracias por hacerlo realidad!

<b>INDICE</b>	Pág.
INDICE DE CUADROS .....	IV
INDICE DE FIGURAS .....	V
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>1.INTRODUCCIÓN</b> .....	2
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
2.1 Origen y distribución de los pinos .....	3
2.1.1 Origen <i>Pinus pinceana</i> Gordon .....	3
2.2 <i>Pinus pinceana</i> Gordon .....	3
2.3 Distribución <i>Pinus pinceana</i> Gordon .....	4
2.4 Condiciones ecológicas <i>Pinus pinceana</i> Gordon .....	4
2.5 Ciclo de vida <i>Pinus</i> .....	5
2.6 Dispersión de semillas de pinos piñoneros y <i>Pinus pinceana</i> .....	6
2.7 Coevolución de córvidos y pinos .....	7
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	8
3.1 Germinación en <i>Pinus</i> .....	8
3.2 Densidad de siembra y sus efectos sobre la germinación y establecimiento de plántulas de <i>P. pinceana</i> .....	10
3.3 Factores de mortalidad y su relación con la germinación en grupos de semillas de piñoneros en ambiente natural .....	11
3.4 Factores de mortalidad en plántulas de piñoneros en ambiente natural .....	12
<b>4. HIPOTESIS</b> .....	14
<b>5. OBJETIVOS</b> .....	14
<b>6. ZONA DE ESTUDIO</b> .....	14
Ubicación .....	14
Clima .....	14
Fisiografía .....	14
Vegetación .....	15
Fauna .....	15

Geología .....	16
Edafología .....	16
<b>7. METODO</b> .....	<b>16</b>
7.1 Localización de sitios de muestreo .....	16
7.2 Colecta de semilla .....	17
7.3 Análisis de semilla .....	19
7.4 Evaluación de supervivencia de plántulas de <i>Pinus pinceana</i> .....	23
<b>8. RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
8.1 Características de los conos de <i>Pinus pinceana</i> .....	24
8.2 Semillas de <i>Pinus pinceana</i> .....	31
8.3 Supervivencia de conos y semillas de <i>Pinus pinceana</i> en sitio natural .....	36
8.4 Germinación de <i>Pinus pinceana</i> .....	37
8.5 Germinación en ambiente controlado .....	39
8.6 Efecto de la densidad de semillas sobre la germinación 2022 .....	39
8.7 Evaluación de supervivencia de plántulas de <i>Pinus pinceana</i> 2020 y 2022 .....	45
<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	<b>46</b>
9.1 Primordios florales y potencial de semillas en <i>Pinus pinceana</i> .....	46
9.2 Polinización y semillas vanas .....	48
9.3 Maduración de semillas .....	49
9.4 Semillas llenas de <i>P. pinceana</i> .....	50
9.5 Longitud de conos y distribución de <i>Pinus pinceana</i> .....	51
9.6 Longitud de conos de <i>Pinus pinceana</i> G y suelo .....	52
9.7 Morfometría de conos de <i>Pinus pinceana</i> .....	53
9.8 Efecto de la densidad de siembra en la emergencia, vigor y supervivencia de plántulas .....	53
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	<b>54</b>
<b>11. LITERATURA CITADA</b> .....	<b>56</b>

## Contenido de Cuadros

Cuadro	Pág.
1. Pruebas de germinación en semillas de <i>P. pinceana</i> en 2020 y 2022 .....	21
2. Valores de media (valor mínimo y máximo), de características de conos de <i>P. pinceana</i> en años diferentes, en un bosque de pino piñonero en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	24
3. Valores de media (valor mínimo y máximo), de características de semillas de <i>P. pinceana</i> en un bosque de piñón en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	31
4. Germinación y emergencia de semillas de <i>P. pinceana</i> en ambiente controlado.....	39
5. Supervivencia de plántulas de <i>Pinus pinceana</i> en condiciones controladas.....	45
6. Correlación entre datos morfométricos de conos de <i>Pinus pinceana</i> .....	53

## Contenido de Figuras

Figura	Pág.
1. Distribución de <i>Pinus pinceana</i> en México .....	4
2. Dispersión de semillas de piñoneros por córvidos .....	7
3. Bosque de pino piñonero ( <i>P. pinceana</i> ) municipio Cardonal, El Arenalito Estado de Hidalgo, México .....	17
4. Zona de estudio .....	17
5. Árbol vigoroso de <i>P. pinceana</i> en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo ...	18
6. Conos y semillas de <i>P. pinceana</i> .....	19
7. Grado de desarrollo de embrión y endosperma .....	20
8. Siembra de semillas de <i>P. pinceana</i> y <i>P. cembroides</i> .....	22
9. Color del cono de <i>P. pinceana</i> en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	24
10. Variaciones de longitud de cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	25
11. Conos de <i>P. pinceana</i> distribuidos por estratos en un árbol en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo, 2022 .....	25
12. Cono de <i>P. pinceana</i> inmaduro (verde), en la parte terminal de la rama de un árbol en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo, 2022 .....	26
13. Variaciones de número de escamas en cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	26
14. Variaciones de grosor de escamas en conos de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	27
15. Escamas en cono de <i>P. pinceana</i> en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	27
16. Variaciones de número de escamas con semilla en cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	28
17. Número de escamas necesarias para producir semillas por cono de <i>P. pinceana</i> , 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	29

18. Semillas por escama en cono de <i>P. pinceana</i> , en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo .....	29
19. Variaciones de número de semilla por cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	30
20. Ubicación de semillas en un cono de <i>P. pinceana</i> en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	30
21. Variaciones contenido de humedad en conos de <i>P. pinceana</i> en el año 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, estado de Hidalgo .....	31
22. Color de semilla de <i>P. pinceana</i> , en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo .....	32
23. Número de semillas <i>P. pinceana</i> de color claro y oscuro, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo.....	32
24. Variaciones de longitud de semilla por cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo .....	33
25. Número de semillas por intervalos de tamaño (cm) de semilla de <i>P. pinceana</i> , en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo .....	33
26. Variaciones peso de semilla por cono de <i>P. pinceana</i> en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Estado de Hidalgo.....	34
27. Número e intervalo peso (g) de semilla de <i>P. pinceana</i> , en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo .....	34
28. Semillas de <i>Pinus pinceana</i> vanas y viables, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo .....	35
29. Daños en conos de <i>P. pinceana</i> por depredador .....	36
30. Daños en semillas de <i>P. pinceana</i> por depredador, semilla sana, perforada y fisurada .....	36
31. Depredador de semillas de <i>P. pinceana</i> .....	37
32. Endospermas de <i>P. pinceana</i> .....	37
33. Radiografía de endospermas de <i>P. pinceana</i> .....	38
34. Corte longitudinal de piñón .....	38
35. Plántula de <i>P. pinceana</i> 2020 .....	39
36. Nivel de pudrición de endospermos de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	40

37. Porcentaje de semillas llenas, vanas y podridas .....	40
38. Semillas de <i>P. cembroides</i> .....	41
39. Porcentaje de semillas llenas, vanas, germinadas y podridas de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	41
40. Densidad de siembra y plántulas de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	42
41. Densidad de siembra y porcentaje de emergencia de semillas de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	42
42. Densidad de siembra y porcentaje de supervivencia de plántulas de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	43
43. Porcentaje de vigor en plántulas por densidad de siembra de <i>P. cembroides</i> 2022 .....	43
44. Escala de vigor en plántulas de <i>Pinus cembroides</i> 2022 .....	44
45. Plántulas de <i>Pinus</i> infectadas por hongo ( <i>Fusarium sp.</i> ) .....	45
46. Temperatura mínima agosto, Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años .....	46
47. Precipitaciones de invierno para desarrollo de primordios de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años .....	46
48. Temperatura mínima para la formación de primordios florales de <i>P. pinceana</i> en agosto 2000, Municipio Cardonal, Hidalgo .....	47
49. Lluvias de invierno en el año 2000 para la formación de primordios florales de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo .....	47
50. Observaciones fenológicas .....	48
51. Temperaturas máximas extremas de primavera para la polinización de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años .....	48
52. Temperaturas máximas primavera 2000 para la polinización de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo .....	49
53. Precipitaciones de verano para la maduración de semillas de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo a cinco años .....	49
54. Precipitaciones de verano 2000 para la maduración de semillas de <i>P. pinceana</i> , Municipio Cardonal, Hidalgo .....	50
55. Nudos de almacenamiento de nutrientes en fuste de <i>P. pinceana</i> , Municipio El Cardonal, Hidalgo 2022 .....	52

## RESUMEN

*Pinus pinceana* está considerada como especie en peligro de extinción (P) y sujeta a protección por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010 (DOF, 2010) debido a que las poblaciones de dicho piñonero se encuentran muy fragmentadas, con pocos individuos y con una baja regeneración. Se desconocen las causas que provocan semillas vanas y llenas, así como la densidad de siembra óptima para obtener una mayor supervivencia de plántulas. Es por ello que surgieron las siguientes interrogantes: ¿Cuáles son las características morfométricas de los conos? ¿Las características morfométricas de los conos están relacionadas con la cantidad de semillas producidas? ¿Cuánto es el porcentaje de semillas vanas, llenas y viables de *P. pinceana*? ¿A qué se atribuye el porcentaje de semillas llenas y vanas *P. pinceana*? ¿La siembra de semillas en grupos genera mayor porcentaje de emergencia y supervivencia de plántulas con respecto a la siembra de semillas individuales? Se colectaron conos y semillas de *Pinus pinceana*, provenientes de El Arenalito, municipio Cardonal, Hidalgo. Para los conos se registró longitud, número de escamas, escamas con semilla, grosor de escamas y porcentaje de humedad. En cuanto a las semillas se registró longitud, peso, grosor de testa, porcentaje de semillas vanas y llenas utilizando rayos x, así como la evaluación de la densidad de siembra, vigor y supervivencia. Los resultados mostraron que: los conos de *Pinus pinceana* tienen una morfometría variable entre años, presentan una longitud de 3.3 a 12 cm y entre mayor sea esta longitud mayor será el número de semillas por cono. El número de escamas por cono va de 31 a 50, llegan a presentar un total de tres a ocho semillas por cono y el contenido de humedad de cono estimado en 15 %. La longitud de semillas de *Pinus pinceana* varía de 0.5 a 1.5 cm, el peso varía de 0.23 a 0.3 g y su testa tiene un grosor de 1.29 mm, el porcentaje de semilla vana fue mayor de 90 % y el resto fue de semilla llena. El alto porcentaje de semillas vanas puede ser ocasionado por la presencia de lluvias durante la polinización (primavera). Si la polinización es favorable las semillas de *Pinus pinceana* llenas y sanas presentan una velocidad de germinación de 35 días y 0.70 % de emergencia. La densidad de siembra de semillas óptima es de 10 semillas, para obtener un mayor porcentaje de emergencia y de supervivencia, ya que más de 15 semillas provocan la aparición del hongo *Fusarium sp.*

Palabras clave: semillas llenas y vanas, velocidad de germinación, porcentaje de emergencia, densidad de siembra.

## 1. INTRODUCCION

Los pinos piñoneros registrados y distribuidos en la parte norte y centro de México alcanzan hasta 15 especies y subespecies. Uno de estos es *Pinus pinceana* Gordon.

Los piñoneros en general, son fuente de alimento para la fauna silvestre. Las personas que viven en las inmediaciones de estos bosques la utilizan como leña, alimento y producto de comercio en forma de piñón con testa y como almendra.

Para el año 2020 el costo de un kilogramo de piñón blanco fue de \$1,025.00 (SMA, 2020).

La especie tiene una distribución natural limitada (Favela y Thomas, 2013) y está considerada como especie en peligro de extinción (P) y sujeta a protección por la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010 (DOF, 2010), ya que sus poblaciones se encuentran muy fragmentadas, con pocos individuos y con una baja regeneración (Molina et al., 2001), por lo que es necesario estudiar la morfometría de conos y semillas.

Los estudios sobre germinación se han abordado con semillas individuales, sin embargo, de manera natural la dispersión y depositación de las semillas es en grupos por lo que en este trabajo tenemos las siguientes interrogantes:

- 1.- ¿Cuáles son las características morfométricas de los conos?
- 2.- ¿Las características morfométricas de los conos están relacionadas con la cantidad de semillas?
- 3.- ¿Cuánto es el porcentaje de semillas vanas, llenas y viables de *P. pinceana*?
- 4.- ¿A qué se atribuye el porcentaje de semillas llenas y vanas *P. pinceana*?
- 5.- ¿La siembra de semillas en grupos genera mayor porcentaje de emergencia y supervivencia de plántulas con respecto a la siembra de semillas individuales?

Las respuestas a estas interrogantes, permitirá explicar las condiciones climáticas necesarias para una alta producción de semillas llenas, así como la densidad de siembra óptima para lograr mayor germinación, emergencia y vigor de plántulas para la restauración de los bosques de *P. pinceana* en El Arenalito, Municipio el Cardonal, Estado de Hidalgo.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Origen y distribución de los pinos

Con base en análisis de fósiles, la divergencia entre gimnospermas y angiospermas ocurrió hace unos 300- 350 millones de años, en el Carbonífero. Las gimnospermas fueron dominantes en gran parte del Mesozoico. La región evolutiva del género *Pinus* fue en Euroasia (Beringia) y comenzó su dispersión hacia América del Norte a través del Estrecho de Bering (Wang y Ran, 2014).

#### 2.1.1 Origen *Pinus pinceana* Gordon

Los piñoneros son distribuidos por aves y por tanto fueron afectadas por la expansión y contracciones de los glaciares. Los pinos piñoneros son de los pinos más primitivos, ya que se presentan en forma de arbustos y árboles pequeño y tienen características filogenéticas más primitivas según Eckert y Hall (2006) y se sugiere que tuvieron un origen en la región conocida como Beringia, lo que explicaría la presencia de piñoneros en Europa, así y Norteamérica (Xiao-Quang y Jin-Hua, 2014).

### 2.2 *Pinus pinceana* Gordon

**Árbol.** Tiene una altura de 6 a 12 m, de tronco corto frecuentemente ramificado, desde cerca de la base; copa redondeada; corteza grisácea, lisa durante varios años; ramillas cenicientas, delgadas y colgantes, casi lisas, con huellas de los fascículos apenas marcadas (Martínez, 1948).

**Hojas.** Aglomeradas en la extremidad de las ramillas, en grupos de 3, ocasionalmente de 4, de 6 a 8 cm, a veces hasta 10, rectas, anchamente triangulares, delgadas, de color verde claro, glaucas en sus caras internas; de borde entero, sin estomas en la cara externa y con ellos en las internas (4 hileras en cada una). Tienen un haz vascular y sus conductos resiníferos son externos, en número de 2; las paredes exteriores de las células del endodermo son delgadas; el hipodermo es delgado y parejo, con 2 hileras de células (Martínez, 1948). Las vainas son pronto caedizas y miden unos 5 mm. Las yemas son cilíndrica y delgadas (Martínez, 1948).

**Conos.** Suboblóngos de 6 a 8 cm, a veces de hasta 9, con pedúnculos amarillento anaranjado, brillantes, con relativamente pocas escamas, gruesas, de umbo dorsal muy grueso e irregular, de 25 mm de ancho por 33 de largo; apófisis poco levantada; quilla transversal patente, con la cúspide hundida, en cuyo centro se observa una pequeña punta gruesa y caediza (Martínez, 1948). Los conos comienzan a abrir en diciembre (Eguiluz, 1978).

**Semilla.** Mide unos 12 mm, tiene color oscuro y es comestible. Carece de ala. A veces solamente se desarrolla una de las dos que corresponde a cada escama.

Para el caso de los piñoneros la época de producción de semilla es entre los meses de octubre y noviembre del siguiente año después de la polinización (Vallejo, 1997).

### 2.3 Distribución *Pinus pinceana* Gordon

Este piñonero se extiende en varios estados por la Sierra Madre Oriental, desde los 21° 20' a 26° 40' de latitud N y entre los 98° 00' a 102° 45' de longitud W (Eguiluz, 1978). Habita entre los 1400 a 2700 msnm sobre laderas calcáreas o barrancas (Farjon y Styles, 1997) y con un grado de inclinación entre 10 y 12 % (Martínez et al., 2015).

*P. pinceana* se ha registrado en un área aproximada de 157 km<sup>2</sup>, y cerca de 12 hectáreas están bajo protección.

Se han reportado 17 poblaciones en México, en las zonas áridas y semiáridas de México.

Se presentan en tres áreas principales: el norte (Coahuila, Zacatecas, Nuevo León), centro (San Luis Potosí) y el sur (Hidalgo y Querétaro) (Figura 1); separadas por montañas y grandes extensiones de zonas áridas (Aguirre et al., 2017).

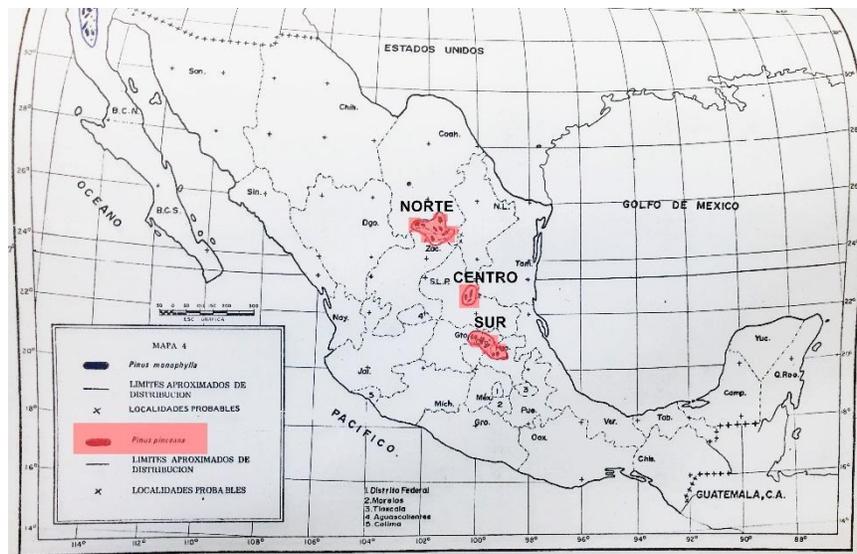


Figura 1. Distribución de *Pinus pinceana* en México (tomado de Eguiluz, 1978).

### 2.4 Condiciones ecológicas *Pinus pinceana* Gordon

**Edafología.** Se desarrolla en laderas de suelos calizos de escaso desarrollo o delgados y pedregosos.

**Clima.** Se desarrolla en zonas con temperaturas extremas de 45° (primavera) y hasta -10° C (invierno). Se requieren heladas en la segunda semana de agosto para la formación de primordios florales, sumado a lluvias de invierno y de verano para una producción de conos y semillas.

**Precipitaciones.** Se distribuyen en áreas cuya precipitación oscila desde 300 a 800 mm.

**Asociación vegetal.** Se encuentra formando masas puras abiertas, a veces manchones pequeños, pero también con otras especies como matorrales desérticos: *Mimosa zygophylla* Benth, *Karwinskia humboldtiana* (Schult.) Zucc y *Cephalocereus senilis* (Haw.) Pfeiff, también con *Juniperus* sp., *P. cembroides* Zucc., *Yucca* sp. y *P. nelsonii* Shaw muy rara vez. Otras veces se le ve junto con *Quercus crassifolia* Bonpl., *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. Ex Willd.) y *P. teocote* Schiede ex Schltdl. (Eguiluz, 1978).

## 2.5 Ciclo de vida *Pinus*

Los primordios florales aparecen entre agosto y septiembre, posteriormente la polinización ocurre al segundo año, entre mayo y junio (Passini, 1991). La polinización corresponde a la llegada del grano de polen al órgano reproductor femenino de la planta (López y López, 2013).

La polinización la realiza el viento (Valencia, 2018). La mayoría de las coníferas son monóicas, es decir, los microsporangios y óvulos se forman en el mismo individuo, aunque algunas pueden ser dioicas, en cuyo caso la producción de polen y de óvulos se presentan en individuos diferentes.

En los microsporangios se lleva a cabo la microsporogénesis y posteriormente la fase inicial de la microgametogénesis (Valencia, 2018). Durante la polinización los estróbilos megasporangiados se encuentran receptivos con las escamas erectas y separadas para facilitar la entrada de polen (Mirov, 1967), esto ocurre de uno a tres días. Finalmente se cierran las escamas como parte de su crecimiento e impiden el paso de nuevos granos de polen (Patiño, 1973; Niembro, 1986). Posteriormente el polen se adhiere a una gota mucila-ginosa que produce el micrópilo del óvulo y, cuando esta gota se deshidrata, introduce el polen y lo pone en contacto con el ápice de la nucela. Los conillos masculinos cuando terminan de soltar o liberar el polen se marchitan y caen (Martínez, 1948).

El tiempo entre la polinización y la fertilización se desconoce con exactitud, sin embargo, probablemente ocurra entre el segundo, tercer o hasta cuarto año (Passini, 1991). En la fecundación, el tubo polínico deposita dos núcleos masculinos en un arquegonio, uno de los cuales se une con el núcleo del huevo. El cigoto resultante se convierte después en el nuevo embrión diploide. El segundo núcleo masculino aborta, es decir, no se da la “doble fecundación”, típica de las angiospermas. Según Willan (1991) la semilla puede presentar los siguientes componentes: 1) cubierta seminal o testa, 2) perisperma diploide, 3) tejido haploide del gametofito, que brinda almacenamiento de nutrientes para el embrión y 4) el embrión.

a) *Maduración de conos.* Cuando el cono se encuentra maduro se observa la apertura de las escamas, permitiendo la salida de las semillas (Mirov, 1967), así

como un cambio de color a rojizo o café. Las escamas ovulíferas de los conillos femeninos conforme van madurando se tornan gruesas y leñosas. El tiempo que transcurre entre la fertilización y la madurez del cono y las semillas es aproximadamente entre 12 a 14 meses (Arteaga, 2000), para de *P. pinceana* no hay investigaciones al respecto. La madurez de conos y dispersión de semillas se presenta aproximadamente de agosto a octubre. Un ciclo similar sucede en *P. leiophylla*, *P. torreyana* y *P. pinceana* (Arteaga, 2000).

El ciclo reproductivo desde la formación de primordios hasta la liberación de semillas puede durar de 2 a 3 años (Tomlinson y Takaso, 2002). La dispersión de semillas es variable y ocurre generalmente en la época seca de primavera.

*b) Producción de semillas.* Las escamas fértiles, es decir, aquellas capaces de producir semillas se ubican en la parte central de los conos (Bramlett et al., 1977). Por lo común se encuentran dos semillas por escama (Martínez, 1948).

## **2.6 Dispersión de semillas de pinos piñoneros y *Pinus pinceana***

Las semillas de pino piñonero carecen de ala por lo que su dispersión no se lleva a cabo por viento sino por un vertebrado, principalmente de córvidos y roedores (Gernandt, Zerón y Goyenechea, 2007).

Lanner (1998) menciona que existe coevolución entre aves y pinos, estas aves son de la familia *Corvidae* y del género *Corvus*. Se ha comprobado que en piñoneros como *Pinus edulis* y *P. monophylla*, sus semillas son dispersadas por cuatro córvidos (*Aphelocoma coerulescens*, *Cyanocitta stelleri*, *Gymnorhinus cyanocephalus*, *Nucifraga columbiana*).

El proceso de selección de semillas por los córvidos comienza con la observación si el árbol presenta o no daños, posterior a esta observación inspeccionan los conos que tienen buena apariencia hasta llegar a las semillas, asegurándose de que estas no tengan daño por insectos u hongos, y para comprobarlo observan el color de las semillas y si son claras buscan otras preferentemente de color oscuro (Pesendorfer et al., 2016).

Una vez seleccionadas las semillas los córvidos pueden llevar desde cinco, 18, 50 hasta 90 semillas (Vander Wall, 1990).

Los córvidos como *Nucifraga columbiana* y *Gymnorhinus cyanocephalus* pueden expandir saco sublingual lo cual les permite llevar de 30 a 55 piñones respectivamente por cada viaje que realizan (Vander Wall y Balda, 1977; Ligon, 1978) pero solo almacenan 15 semillas en cada punto.

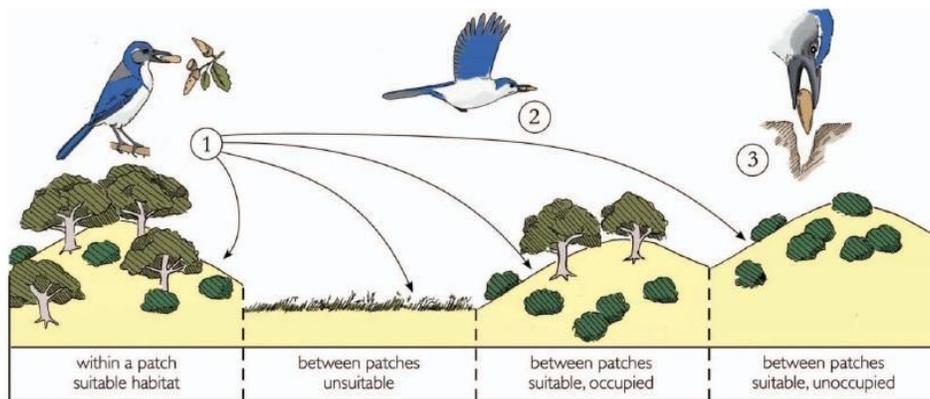
La dispersión realizada por córvidos puede darse a distancias locales, *A. coerulescens* y *C. stelleri* de uno a cinco km, *G. cyanocephalus* de cinco hasta 15 km y *N. columbiana* (Vander Wall, 1990).

La dispersión suele ser durante el día según el fototrampeo realizado por Gamboa y Barragán (2020). Esto ocurre en el otoño con el propósito de

almacenarlas como reservas de alimento para el invierno y la primavera (Pesendorfer et al., 2016).

Los córvidos entierran las semillas a una profundidad de 2.5 cm del suelo y en grupos de hasta 15 semillas (Pesendorfer et al., 2016), las almacenan en sitios como la corteza de árboles, grietas de rocas, bajo otras plantas, en áreas recientemente incendiadas o entre la hojarasca (Figura 2) (Pesendorfer et al., 2016).

Martínez, Mellink y García (1989) mencionan algunas especies de aves córvidos o pájaros azules como *Aphelocoma coerulescens*, *A. ultramarina*, los cuervos negros *Corvus corax* y *C. cryptoleucus* que consumen piñón en La Amapola, SLP, tanto de *P. cembroides* como de *P. johannis*, su acarreo y almacenamiento si no es consumida puede resultar favorable para la germinación y establecimiento de plántulas. Para el caso de *P. pinceana* no hay reportes que especifique la especie de córvido que lleva a cabo su dispersión.



**Figura 2.** Dispersión de semillas de piñoneros por córvidos (tomado de Pesendorfer et al., 2016).

## 2.7 Coevolución de córvidos y pinos

La coevolución implica una evolución conjunta entre dos o más taxa que interactúan entre sí, sin cambio de genes pero bajo presión selectiva recíproca originando que la evolución de cada taxón sea dependiente del otro (Ehrlich y Raven, 1964).

Entre córvidos y pinos hay una coevolución porque al producirse los conos estos liberan sustancias volátiles que al ingresar al sistema respiratorio de los córvidos se estimula su desarrollo gonadal. Además, los pinos brindan alimento energéticamente rico a los córvidos, estas aves tienen el hábito de esconder las semillas como reservas para épocas de escasez, lo que permite la dispersión de semillas de piñoneros.

Las aves presentan una serie de adaptaciones para explotar este tipo de alimento, sus características morfológicas, como su pico largo y puntiagudo, les permite la extracción de piñones y la cavidad sublingual sirve para transportarlos.

Cabe destacar que las semillas de los piñones son largas, pesadas y sin ala por lo que no pueden ser transportadas por el aire.

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Germinación en *Pinus*

Las semillas son un medio para asegurar la continuidad de la existencia, la adaptación y evolución de las especies (Jara, 1996).

La germinación se inicia con la entrada de agua en la semilla (imbibición) y finaliza con el comienzo de la elongación de la radícula que atraviesa las estructuras envolventes que la rodean (Matilla, 2008). Según las normas ISTA sólo se consideran germinadas las plántulas que muestran una morfología normal, es decir, en la cual las plántulas muestran todas sus estructuras esenciales de raíces y brotes, y son capaces de desarrollarse en plantas maduras, en condiciones favorables (Kameswara et al., 2007).

La germinación consta de tres fases:

Fase I. Imbibición. La entrada de agua a la semilla produce alteraciones en las membranas.

En la semilla seca, los componentes fosfolípidos de la membrana se encuentran en la fase de gel, con la rehidratación las membranas retornan rápidamente a un estado cristalino hidratado, condición más estable, por lo que prácticamente cesa la pérdida de solutos. La rehidratación permite que las enzimas y estructuras presentes en la semilla deshidratada, necesarias para el metabolismo, se reactiven.

Fase II. Activación metabólica o germinación *sensu stricto*. Concluye la absorción de agua y una actividad respiratoria más reducida. Predomina el ciclo de las pentosas fosfato, se ha visto que sustancias inhibitorias de la respiración (cianuro de potasio (KCN),  $\text{NaK}_3$  y  $\text{Na}_2\text{S}$ ) facilitan la germinación de muchas semillas, probablemente estimulando este ciclo. La germinación *sensu stricto* es principalmente anabólica y por lo tanto endergónica, consumiendo la energía disponible. Previo a la aparición de la radícula, se producen cambios transcripcionales en la elongación y división celular. Dentro de los genes implicados en la elongación celular, algunas zonas son activadas por las giberelinas, tales como: acuaporinas, xiloglucano endotransglicosilasa endotransferasa (XTH), expansinas y pectina metilesterasa (PME).

Fase III. Crecimiento de la radícula. La radícula atraviesa la testa y el endospermo, marcando el final del proceso de germinación y el inicio del crecimiento de la plántula. En las horas previas a que la radícula emerja, la fuerza necesaria para penetrar los tejidos que la rodean disminuye rápidamente. Este debilitamiento en las estructuras es producido, en muchas especies, por la degradación o separación de las paredes celulares del endospermo, compuestas primariamente por polímeros que son degradados por las enzimas endo- $\beta$ -mananasa,  $\alpha$ -galactomanosa, y  $\beta$ -

manosidasa, producidas y secretadas por el mismo endosperma. La actividad de estas tres enzimas se incrementa durante la imbibición, y en el caso de la  $\beta$ -mananasa, existe una correlación lineal entre el incremento de su actividad y la disminución del endospermo a la penetración. Las giberelinas tienen un rol indispensable en la activación de las enzimas hidrolasas que permiten la emergencia de la radícula. Durante esta fase, la expansión de las células del embrión requiere auxinas. El suministro de las formas activas de esta hormona proviene de conjugados del ácido indol-acético (AIA) almacenados en la semilla seca, los cuales son hidrolizados por amidohidrolasas cuya actividad está regulada por las giberelinas. Una vez que el embrión ha iniciado su crecimiento, este realiza la síntesis de *novo* de AIA en el ápice. Las giberelinas, además de su rol en la penetración de la radícula, también activan la síntesis y/o la respuesta al etileno, que influye positivamente sobre la germinación.

Para la germinación es necesario el agua, oxígeno y temperatura. A falta de alguno de estos factores, las semillas permanecerán en un estado quiescente, aun sin reposo.

Podemos decir que la emergencia radicular es el proceso por el que la radícula o el eje embrionario atraviesa los tejidos envolventes y pasa de un metabolismo preferentemente anaerobio a uno aerobio, marcando el fin de la germinación y el inicio del crecimiento de la plántula (Matilla, 2008).

Para que una semilla germine debe ser viable, es decir, con alto porcentaje de semillas vivas capaces de germinar y desarrollar plantas (Pérez, Lorenzo y Delgado, 2013).

Las especies del género *Pinus* presentan germinación epigea (Rodríguez, 2021), es decir, el hipocótilo comienza a crecer rápidamente una vez que la radícula está suficientemente desarrollada, los cotiledones se expanden, se vuelven verdes y comienzan a funcionar como hojas. Durante este tiempo la cubierta de la semilla se cae. Posteriormente el epicótilo comienza a crecer y la plúmula se desarrollará para producir las primeras hojas verdaderas (Jara, 1996).

La germinación puede variar entre dos o tres semanas en el género *Pinus* según las condiciones de calor y humedad (Martínez, 1948).

Existe controversia sobre los requerimientos para germinación y crecimiento de piñoneros. Algunos autores señalan que las semillas requieren sombra para germinar, Sánchez y Cetina (1989) y Romero, García y Passini (1996) mencionan que *P. johannis* requiere del 70 al 90% de sombra.

Para *P. cembroides* se requiere del 70% de luz (Sánchez y Cetina, 1989). Para el caso de *P. pinceana* G. no hay estudios sobre los requerimientos para su germinación.

### 3.2 Densidad de siembra y sus efectos sobre la germinación y establecimiento de plántulas de *Pinus pinceana*

La siembra se recomienda realizarla en grupos de semillas, esto porque no todas germinan, se debe verificar el porcentaje de germinación según la especie, por ejemplo, si se tiene un porcentaje de 95 % quiere decir que germinaran 95 semillas de cada 100. Para su siembra se sigue la regla de la profundidad, esta debe ser tres veces más el tamaño de la semilla, es decir, si la semilla mide 1 cm, el hueco donde se va a sembrar debe ser de 3 cm de profundidad (Aubert, 1997; Méndez, 2008).

Ramírez, Beardmore y Loo (2008) señalan que el porcentaje de germinación para 12 poblaciones de *P. pinceana* con lotes de 25 semillas cada una, fue de 9% y 86% en semillas con testa y sin testa, respectivamente, mientras que para semillas sin testa colocadas en la mitad de su cubiertas y semillas con testas agrietadas en áreas micropilares fue de 78% y 59% de germinación, respectivamente.

La densidad de siembra se define como el número de plantas por unidad de área de terreno (Arcila, s.f.).

Hernández et al. (2018) realizó una germinación en condiciones controladas para *P. cembroides* y *P. orizabensis*, clasificando las semillas en tres colores en la testa (negro, pardo y bicolor), en un total de 100 semillas divididas en cuatro lotes (repeticiones) de 25 semillas cada uno. Estas se colocaron en cajas de plástico rígido transparente con tapa de cierre hermético. En ambos pinos hubo diferencias significativas en la capacidad de germinación entre los colores de testa. La semilla con testa de color pardo presentó mayor capacidad germinativa que la de color negro; pero esta última posee mayor vigor, al germinar más rápido.

Alfonzo (2008) comparó cinco sustratos con el fin de obtener el mejor sustrato para el crecimiento de *P. pinceana* bajo condiciones controladas, utilizando almácigos o contenedores para germinación, fue un total de 1155 semillas, colocándolas una por cavidad y a una profundidad de dos veces el tamaño de la semilla, el riego fue cada tercer día. Se concluyó que al comparar los cinco sustratos no se presentaron diferencias significativas en la altura y diámetro basal.

López (2007) se evaluó el efecto de cuatro sustratos orgánicos, con el fin de obtener uno funcional para la supervivencia y crecimiento de *P. pinceana* bajo las condiciones de invernadero, utilizando un total de 45 semillas, en cinco lotes con nueve semillas cada uno. Indicó que el sustrato que presentó mejor respuesta para el diámetro de las plántulas fue el tratamiento cinco que es el que comúnmente utilizan los viveristas (peat moss, vermiculita, perlita y osmocote) y para la altura el mejor sustrato fue la fibra de coco.

García (2020) identificó los factores que afectan en la supervivencia de plántulas de *P. cembroides* para lo cual se seleccionaron sitios naturales con características como: pendiente (baja a moderada 0-30° y pronunciada >30°) y vegetación (sitios abiertos, bajo dosel de pino y sotobosque). Se sembraron 40

semillas por parcela (10x25 m) a una distancia entre semillas de 40 cm. Las semillas para su emergencia y crecimiento dependieron de las condiciones ambientales. De 3600 semillas de pino, emergieron un total de 1254 plántulas, siendo así un 34.8 % de emergencia.

Quiroz (2015) elaboró diferentes tratamientos pregerminativos en semillas de *P. pinceana* procedentes del Arenalito, Hidalgo, estas habían sido recolectadas dos años antes. Su germinación fue dentro de envases plásticos, en invernadero bajo condiciones controladas. Las pruebas se realizaron con 400 semillas en total, divididas en cuatro lotes de 100 semillas cada uno. Como resultado se obtuvo que los lotes de semillas más recientes presentaron mayor porcentaje de viabilidad debido al menor deterioro en su almacenamiento y por la diferencia de años de cosecha. El porcentaje de germinación fue mayor al usar hipoclorito de sodio al 1.95 % por cinco y 10 minutos mientras que el tratamiento con frío (escarificación), peróxido de hidrogeno y el fungicida de tipo comercial no dieron resultados favorables, debido a que la semilla de *P. pinceana* tiene latencia física y con susceptibilidad al ataque de patógenos, sin embargo, no hay investigaciones sobre la germinación de *P. pinceana* en ambiente natural.

### **3.3 Factores de mortalidad y su relación con la germinación en grupos de semillas de piñoneros en ambiente natural**

Los bosques de pino piñonero proveen alimento y refugio, uno de sus habitantes el ratón piñonero logra recolectar las semillas que se encuentran en el suelo o de conos abiertos para posteriormente almacenarlas en sus madrigueras.

Según Frischknecht (1975) reporta fauna asociados a piñoneros los cuales son roedores endémicos como *Neotoma lepida* y *Peromyscus trueci*.

En Coahuila y Zacatecas se identificó que *P. pinceana* logra albergar tres géneros y cuatro especies de mamíferos pequeños: *Peromyscus pectoralis*, *P. gratus gentilis*, *Neotoma goldmani* y *Chaetodipus nelsoni*. Dichos roedores consumen semillas en la época de producción de semillas, en otoño, y acumulan gran cantidad de éstas para alimentarse en invierno, por lo tanto, su interacción puede influir en la dispersión y establecimiento de estos pinos (Juárez, 2006).

Martínez, Mellink y García (1989) mencionan algunas especies de roedores que consumen piñón en La Amapola, SLP, tanto de *P. cembroides* como de *P. johannis*, como: *Peromyscus difficilis* J. A. Allen, *Peromyscus maniculatus* Osgood, *Neotoma mexicana* Goldman, *Sciurus oculatus* Peters, y *Spermophyllus variegatus* Bennett.

En un estudio llevado a cabo por Carrillo (2011) para *P. pinceana* G. obtuvo que los roedores atacan las semillas en etapa de germinación, pero solo en un 10%. La supervivencia de las plantas a los nueve meses fue superior al 90%.

Cibrián (1985) destaca a *Conophthorus cembroides* (coleóptero) como la causante del 62% de daño a conos y semillas de los pinos piñoneros, *Leptoglossus occidentalis*, las ninfas provocan el aborto de conillos; en cambio cuando se alimentan de conos en crecimientos, dañan a las semillas sin matar todo el cono. Y *Eucosma franclenonti*, las larvas barrenan el interior de los conos dejando excremento y seda.

En tanto, Flores y Díaz (1991) consignaron 89% de mortalidad en conos de *P. johannis* y 66% en los de *P. cembroides* de Saltillo, Coah., debido a *Conophthorus cembroides* (Coleóptera) y *Eucosma bobana* (Lepidoptera).

Las plagas que están presentes en *P. pinceana* son *Leptoglossus occidentalis* (hemíptero) cuyos adultos y ninfas se alimentan de conos y semillas, *Neodiprion bicolor* (himenóptero) cuyas larvas defolian y *Eucosma bobana* (palomilla) cuyas larvas destruyen conos y semillas (CONAFOR, s.f.).

Cervantes y Huacuja (2017) registran los siguientes herbívoros asociados a *P. pinceana*, *Conophthorus edulis* (coleóptero), *Dendroctonus adjunctus* (coleóptero), *Dendroctonus mexicanus* (coleóptero), *Eucosma bobana* (lepidóptero) y *Retinia arizonensis* (lepidóptero).

### **3.4 Factores de mortalidad en plántulas de piñoneros en ambiente natural**

García (2020) estudió los factores asociados a la supervivencia de plántulas en el estadio temprano de establecimiento (20 cm altura) de *P. cembroides* en ambiente natural tras su trasplante. Obteniendo que, de 1208 plántulas, 542 sobrevivieron y 350 de ellas se presentaron en una pendiente de  $>30^\circ$ .

El siguiente factor fue la comparación de supervivencia entre sitios abiertos, bajo el dosel de pino y vegetación de sotobosque, de un total de 1625 plántulas, se emplearon 601 para sitios abiertos sobreviviendo 173, bajo el dosel del pino fueron 499 sobreviviendo 214 y 525 la vegetación del sotobosque sobreviviendo 483. Esto indicó que la alta supervivencia de *P. cembroides* bajo plantas nodrizas indica una interacción positiva con la vegetación del sotobosque (García, 2020).

En otro estudio, de 3600 semillas de *P. cembroides* emergieron un total de 1254 plántulas (34.8%). De estas 464 plántulas se encontraban en sitio abierto, 390 bajo el dosel de pino y 400 en vegetación densa. Sobreviviendo 14, 19 y 60 plántulas respectivamente, siendo al final solo 93 plántulas (7.2 % supervivencia). Los resultados indican que la supervivencia de plantas fue mayor en vegetación, probablemente por el efecto amortiguador del estrés ambiental por parte de las plantas del sotobosque (García, 2020). Para *P. pinceana* no se han realizado investigaciones sobre la supervivencia de plántulas en ambiente natural.

El último factor fue la precipitación, la humedad aprovechable del suelo puede cambiar entre años debido a la variación interanual en precipitaciones. De 600 plántulas 510 sobrevivieron, es decir, la supervivencia de plantas se debió a la presencia de lluvias en 2010 y a las plantas nodrizas del sotobosque (García, 2020).

Los eventos periódicos de sequía ocasionan estrés hídrico dentro de las plantas, causando cambios en su crecimiento, anatomía, morfología, fisiología y bioquímica (Kramer y Kozlowski, 1979).

Córdoba et al. (2011) evaluó el crecimiento de las raíces en 250 plantas de *P. pinceana*, de estas se seleccionaron 24 plantas las cuales fueron divididas en dos lotes y sometidas a humedad a capacidad de campo y humedad restringida, respectivamente. Obtuvieron que la reducción en el número de raíces principales, el aumento en el número de raíces laterales y el crecimiento ante las condiciones restrictivas de humedad muestran un mecanismo que permite a las plantas de *P. pinceana* aumentar la capacidad de exploración del suelo, extraer la poca humedad disponible e incrementar su resistencia mecánica y desarrollarse en zonas con alta pendiente.

El mayor problema fitosanitario en los viveros es la enfermedad conocida como el complejo damping-off, mal del semillero, secadera de la planta, mal del talluelo, ahogamiento, chupadera y pudrición de raíces (García et al., 2017). Damping-off es ocasionado por el hongo del género *Fusarium*, disminuyendo la calidad de la planta y causando pérdidas de hasta 40 % en la producción (Cibrián et al., 2008).

Se presenta en pre-emergencia, donde el hongo infecta semillas (Storer et al., 1998). Durante el desarrollo de la planta cuando el tallo aún no está lignificado se manifiesta como un estrangulamiento en el tallo a nivel del suelo (Peterson, 2008; Solano y Brenes, 2012), pudrición de raíz, doblamiento de la plántula y clorosis (color rojizo) en las acículas, dicho marchitamiento de las acículas se explica por la obstrucción del flujo de agua a través del xilema y en raíz presenta un color café (Peterson, 2008; Solano y Brenes, 2012).

Con base en lo anterior, se plantean las siguientes interrogantes:

- 1.- ¿Cuáles son las características morfométricas de los conos?
- 2.- ¿Las características morfométricas de los conos están relacionadas con la cantidad de semillas?
- 3.- ¿Cuánto es el porcentaje de semillas llenas, vanas y viables de *P. pinceana*?
- 4.- ¿A qué se atribuye el porcentaje de semillas llenas y vanas *P. pinceana*?
- 5.- ¿La siembra de semillas en grupos genera mayor porcentaje de emergencia y supervivencia de plántulas con respecto a la siembra de semillas individuales?

Por lo anterior se propone la siguiente

#### 4. HIPÓTESIS

- 1.- Entre mayor sea la longitud del cono de *P. pinceana* mayor será el número de semillas.
- 2.- La siembra de semillas de piñones en grupos tendrá una mayor emergencia y supervivencia de plántulas con respecto a las semillas sembradas en forma individual.

#### 5. OBJETIVOS

- 1.- Evaluar la morfometría de los conos (longitud, números de escamas, escamas con semilla y número de semillas por cono) de *P. pinceana*.
- 2.- Determinar color, tamaño, viabilidad, porcentaje de semilla llena y vana de *P. pinceana*.
- 3.- Evaluar los factores que influyen en el porcentaje de semilla llena y vana de *P. pinceana*.
- 4.- Estimar el efecto de la siembra en grupos de semillas de *P. pinceana*, sobre su porcentaje de emergencia, supervivencia y los factores de mortalidad de plántulas de *P. pinceana*.

#### 6. ZONA DE ESTUDIO

**Ubicación.** La localidad de El Arenalito se ubica en el municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El municipio de Cardonal se encuentra entre los paralelos 20° 25' y 20° 47' de latitud norte; los meridianos 98° 55' y 99° 11' de longitud oeste; altitud entre 900 y 2 900 m (INEGI, 2009).

**Clima.** Cardonal presenta una variedad de climas como: C (w2) (w) que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano C (w1) (44.5% del territorio), semiseco templado (BS1kw), seco semicálido (BS0hw) y el semiseco semicálido (BS1hw) (INEGI, 2009). Para dicha adaptación de climas para México se tomó en cuenta la clasificación climática de Köppen modificado por García (2004). El Arenalito presenta una temperatura media anual de 17.8 °C, precipitación media anual de 597 mm, clima seco con lluvias en verano Bw y Bs.

**Fisiografía.** Mejenes y colaboradores (2010) mencionan que el poblado del Arenalito se encuentran la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, en una cañada que tiene el mismo nombre.

**Vegetación.** La SEMARNAT (2006) reporta que en el municipio de Cardonal hay bosque templado representado por bosques de encino y encino-pino que se ubican en dirección noreste-noroeste. También hay vegetación con especies xerófilas

como el Cardón, Nopal, Cardenche, Cholla, Tasajillo y Alicoche ubicadas en sus proporciones oeste y suroeste.

En las laderas de las sierras y lomeríos del municipio es común el crecimiento de matorral desértico rosetófilo (magueyes, lechuguilla y algunas palmas), generalmente es arbustiva y en zonas de humedad restringida y suelos someros. Su especie representativa son los viejitos *Cephalocereus senilis*, que se distribuyen principalmente en las laderas de la sierra.

Las especies más comunes en esta región son: *Pinus cembroides*, *P. pinceana*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus*, *P. greggii*, *Quercus affinis*, *Q. castanea*, *Q. acatenangensis*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

El Arenalito tiene vegetación de estrato arbóreo dominado por *Pinus cembroides* Zucc., *Pinus pinceana* G. y el cactus columnar *Cephalocereus senilis* (Villarreal et al., 2009).

**Fauna.** Mejenes et al. (2010) reportaron en el Estado de Hidalgo un total de 154 especies, dos órdenes fueron los más abundantes: Chiroptera con 65 especies (42.2%) y el Rodentia con 47 especies (30.5%). Así como seis especies nuevas de mamíferos registras para este estado, las cuales son: *Tamandua mexicana*, *Herpailurus yagouaroundi*, *Puma concolor*, *Galictis vittata*, *Coendu mexicanus* y *Cuniculus paca*.

En cuanto a reptiles están lagartos, camaleones y una variedad de víboras como de cascabel. Se han registrado aves como el águila y diversas aves canoras (SEMARNAT, 2006).

En la zona xerófila, hay 39 especies: 12 anfibios y 27 reptiles, correspondientes a una especie de tortuga, 11 larcertilios, 11 colubridos, un coralillo, un leptotyphlópido y dos crotálicos (Gobierno del Estado de Hidalgo, 2001).

Revueltas (2016) reporta mamíferos terrestres en la Sierra de Cardonal, Hidalgo, el orden mayor representado fue Rodentia (38 %) con 12 especies, seguida por Carnívora (34 %) con 11 especies.

Las especies más abundantes fueron: *Bassariscus astutus* (83 %), *Lynx rufus* (67 %). Las especies menos abundantes fueron: *Philander oposum*, *Otospermophilus variegatus*, *Peromyscus yucatanicus* y *Sigmodon leucotis*.

Algunas especies que se enlistan en la NOM-059-SEMARNAT-2010, se encuentran: *Leopardus wiedii* y *Leopardus pardalis* en Peligro de Extinción. Bajo criterios que maneja el libro rojo de la UICN solo se cataloga como casi amenazadas (NT) a *Lepus callotis* y *L. pardali*. Según la NOM-059 ocho especies son endémicas de México y son: *Bassariscus astutus*, *Cryptotis parva*, *Sorex veraecrucis*, *L. callotis*, *Sylvilagus cunicularius*, *Neotoma mexicana* y *Sigmodon leucotis*.

**Geología.** Las rocas que afloran en las provincias Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo del Norte, que se extienden por el estado de Hidalgo, indican que hubo diferentes eventos geológicos de tipo orogénico, que

asociados al volcanismo y al relleno de cuencas oceánicas dieron el carácter estructural a esta entidad (SEMARNAT, 2006).

En la Sierra Madre Oriental afloran rocas más antiguas de México (Precámbrico) y junto con está una serie completa de unidades estratigráficas que abarcan el Paleozoico Superior (Pérmico), todo el Mesozoico y el Cenozoico (SEMARNAT, 2006).

En el Noroeste de Hidalgo se encuentran sedimentos marinos terciarios genéticamente relacionados con la formación de la Llanura Costera del Golfo del Norte, la cual tiene su origen en la regresión del Atlántico, iniciada a principios del Terciario y el relleno gradual de la cuenca oceánica, donde fueron acumulados sobre la pendiente del talud continental grandes volúmenes de sedimentos de las partes altas del continente. El agua actúa como agente que altera las rocas y de disolución, forma así depósitos de calizas y un conjunto de estructuras típicas de regiones Cársticas (SEMARNAT, 2006).

En la localidad de El Arenalito se encuentra roca sedimentaria caliza- lutita.

**Edafología.** Cardonal presenta el 67.75 % de su territorio con suelo del tipo Leptosol, 12.5% Phaeozem 8.5 %, Kastañozem, 5 % Vertisol, 4 %, Calcisol y 2 % Cambisol (INEGI, 2009).

Los Leptosoles son suelos someros y pedregosos. Se encuentran en todos los tipos de climas (secos, templados, húmedos) y son particularmente comunes en las zonas montañosas y en planicies calizas superficiales. (SEMARNAT, s.f.).

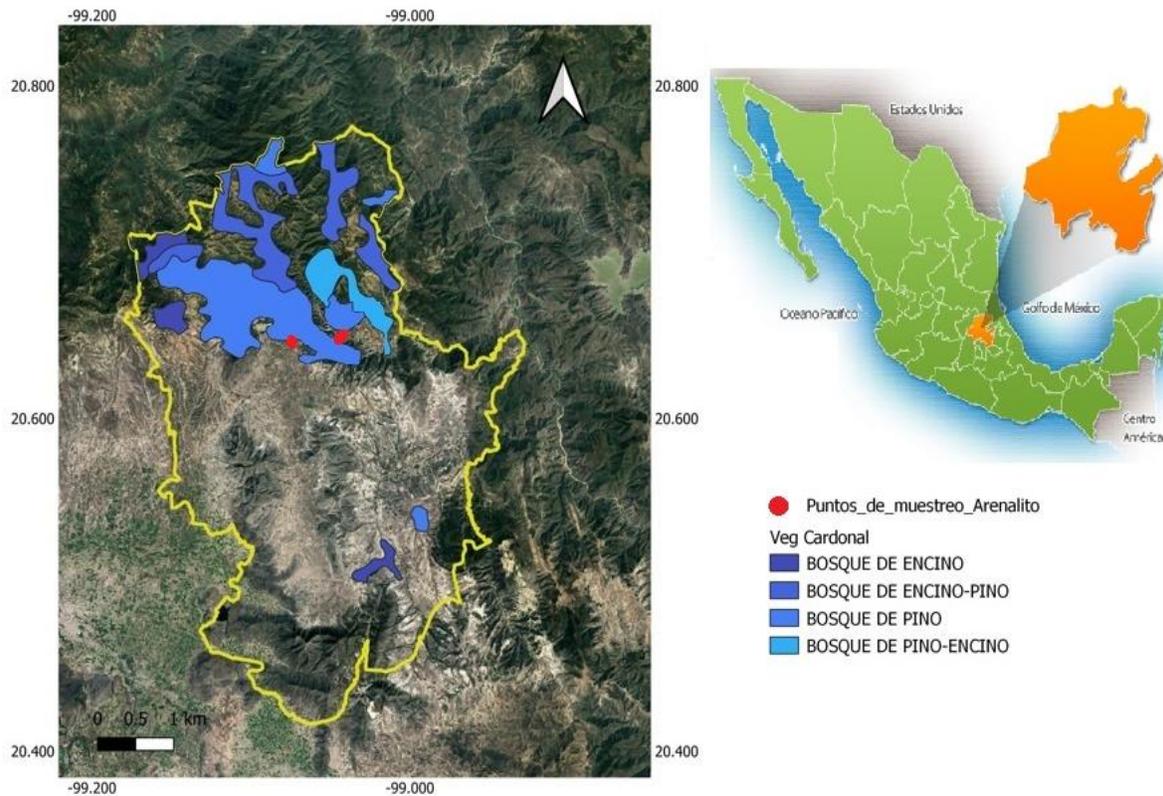
El suelo de El arenalito es de textura migajón arcillo-limoso, con bajo contenido de materia orgánica, fertilidad, retención de humedad y capacidad de intercambio catiónico (Córdoba, Vargas y Arévalo, 2008).

## 7. MÉTODO

**7.1 Localización de sitios de muestreo.** Se realizó un recorrido en la carretera Cardonal – La Mesa y cercano al poblado de El Arenalito se encontró bosque e individuos de *P. pinceana* (Figura 3), en concordancia con lo mencionado por Quiroz et al. (2017). El Arenalito se encuentra a 20° 39' 27" N (latitud), 99° 02' 59" O (longitud), entre los 1867 y 1950 msnm (altitud), en el Municipio Cardonal, Hidalgo (Figura 4) (Quiroz et al., 2017).



**Figura 3.** Bosque de pino piñonero (*P. pinaster*) municipio Cardonal, El Arenalito Estado de Hidalgo, México.

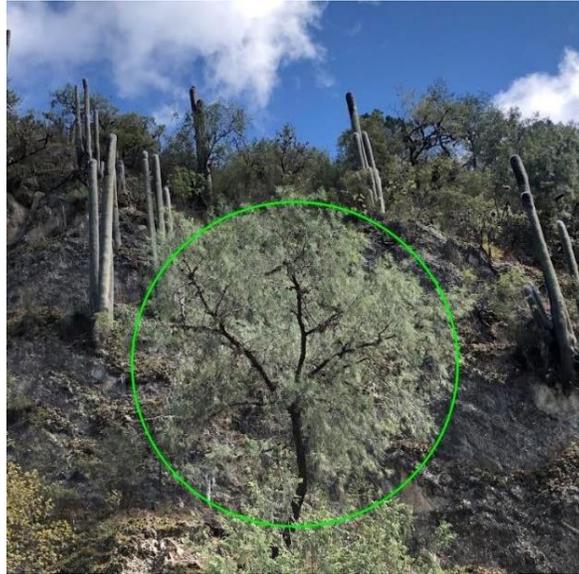


**Figura 4.** Zona de estudio. Bosques presentes en el Municipio Cardonal y puntos de muestreo realizados en El Arenalito, estado de Hidalgo, México.

## 7.2 Colecta de semillas.

**Obtención de conos y semillas.** Se identificaron árboles vigorosos, sanos y con follaje verde (con buena conformación de copa) de *P. pinaster* con producción de

conos (Figura 5). La recolecta fue realizada en 2020 y 2022, con 79 y 88 conos de *P. pinceana* respectivamente.



**Figura 5.** Árbol vigoroso de *P. pinceana* en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo.

Los conos recolectados se midieron en longitud con un metro marca Pretul (en centímetros), color se determinó con Cartas de color Munsell, se contó el número de escamas y el grosor de escamas, fue determinado con un Vernier Mitutoyo, modelo CD-6"ASK (en milímetros).

Para el peso fresco y seco de conos se utilizó una balanza digital marca Noval, modelo POCKET 2000 (en gramos), en el caso del peso seco se registró después de la apertura de las escamas a temperatura ambiente, cuando habían transcurrido de dos a tres semanas de su recolecta y posteriormente se calculó el contenido de humedad de los conos de acuerdo con ISTA (2016):

$$\frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso inicial}} \times 100 = \frac{M2 - M3}{M2 - M1} \times 100$$

El potencial de semillas en conos son las escamas que presentaron semillas, y se calculó con la siguiente formula:

$$\text{Potencial de semilla} = \text{no. de escamas fértiles} \times 2 \text{ (dos óvulos por escama)}$$

(Mosseler et al., 2000).

Para identificar el número de escamas con semillas y semillas por cono, fue necesario la apertura de las escamas y extraer las semillas (FAO, 1991).

Se seleccionaron semillas sin daños por hongos o perforaciones para medir su tamaño con un flexómetro (en centímetros), para el grosor de la testa fue necesario quebrarla con una prensa marca Truper de 1 ". La medición del grosor se realizó en dos extremos opuestos de la testa, a una distancia de 5 mm por encima del micrópilo cerca de la parte media de la testa con un vernier digital marca

Mitutoyo, modelo CD-6"ASK (en milímetros) (Figura 6 a, b, c y d) y se obtuvo el grosor promedio. Las semillas se pesaron en una balanza analítica marca Ohaus Adventurer, modelo AR3130 (en gramos). Todos los datos obtenidos se registraron en una base de datos Excel 2013 para su variación estadística anual de semillas.



**Figura 6.** Conos y semillas de *P. pinceana*. a) cono de *P. pinceana* en ambiente natural, b) medición de cono de *P. pinceana*, c) medición de grosor escama en cono de *P. pinceana* y d) medición de grosor de testa en semilla de *P. pinceana*.

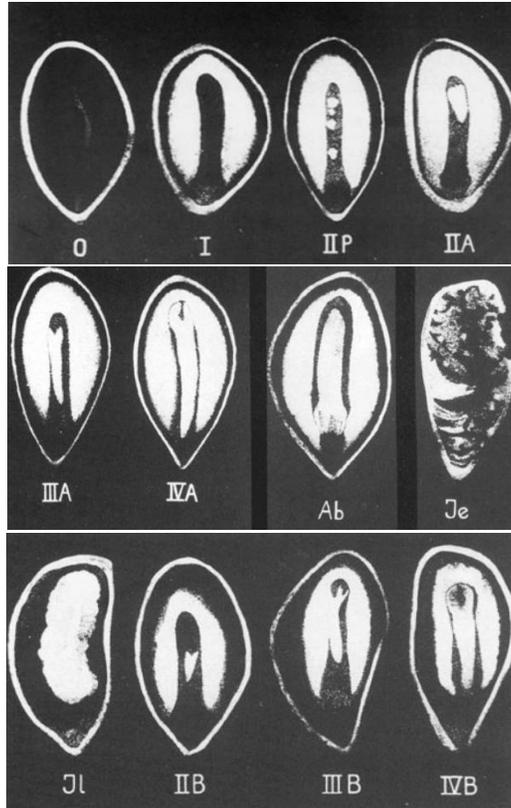
### 7.3 Análisis de semillas.

**Desinfección.** Con solución de hipoclorito de sodio (NaClO 0.25 %) e inmersión de cinco minutos más un lavado abundante con agua corriente a 25 °C, antes de hacer el análisis de germinación. Después del lavado, las semillas deben secarse a una temperatura de 20 a 25 °C (ISTA ,2016).

**Viabilidad.** Se utilizó:

a) *Método de flotación.* Aquellas semillas vanas (vacías) flotarán y las viables (llenas) caerán al fondo del contenedor (FAO, 1991).

b) *Método radiométrico.* Se considera el uso de rayos x para determinar la viabilidad de la semilla, si están llenas o vanas, así como daños físicos o por insectos (ISTA, 2016). Se analizaron 13 semillas. Las semillas fueron cortadas longitudinalmente con el propósito de identificar aquellas semillas llenas, vanas, sin embrión o con daño por insectos. Posteriormente los endospermas se sometieron a un remojo en agua destilada por una hora antes de la toma radiométrica esto para obtener mayor contraste (FAO, 1991) en la interpretación de resultados, se colocaron en papel engomado (INIFAP, 1968), ya realizada la radiografía se analizó el estado del embrión (presencia o ausencia de embrión, nivel de desarrollo de embrión, malformaciones, endosperma sano, incompleto o podrido) (Figura 7).



Radiografías con rayos X que muestran distintas clases de embrión y endosperma en las semillas de coníferas. (M. Simak)

- 0** Ni embrión ni endosperma (=semilla vacía).
- I** Endosperma y cavidad embrionaria desarrollados, pero sin que se observe embrión.
- IIP** Endosperma y uno o más embriones pequeños cuya longitud no supera su anchura (“embriones puntuales”).
- II** Endosperma y uno o varios embriones, ninguno de los cuales es más largo que la mitad de la cavidad embrionaria.
- III** Endosperma y uno o más embriones, el más largo de los cuales mide entre la mitad y tres cuartas partes de la cavidad embrionaria.
- IV** Endosperma con un solo embrión plenamente desarrollado, que ocupa por completo o casi por completo la cavidad embrionaria. En raras ocasiones aparecen embriones diminutos.
- A** El endosperma llena casi por completo la capacidad de la cubierta seminal y absorbe fácilmente los rayos X.
- B** El endosperma llena la cubierta seminal de manera incompleta, y suele presentar encogimiento u otra deformación. La absorción de rayos X es inferior a la del tipo A.
- Ab** Semillas con desarrollo anormal del endosperma o el embrión.
- J** Semillas dañadas por insectos, con larvas (JI) o excremento de estas (Je).

**Figura 7.** Grado de desarrollo de embrión y endosperma (tomado de FAO, 1991).

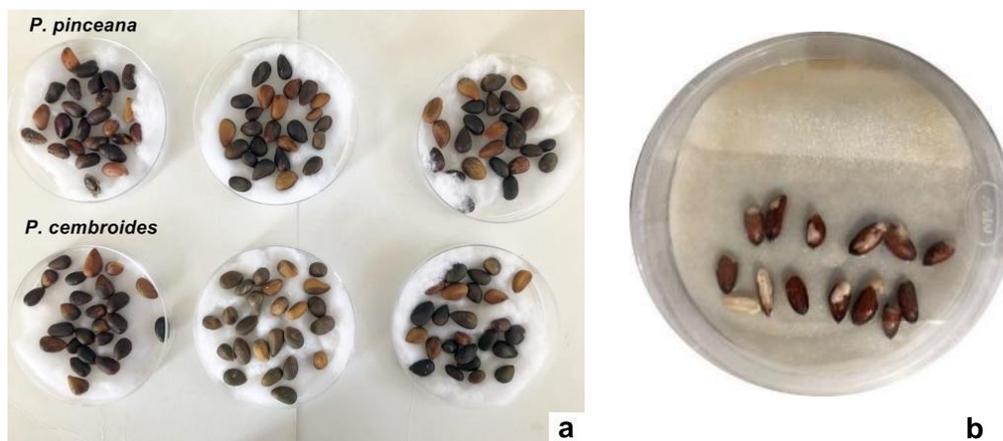
**Prueba de germinación.** Se utilizaron un mínimo de 405 semillas sugeridas por el ISTA (2016), en ambiente controlado (Cuadro 1) en dos años diferentes.

**Cuadro 1.** Pruebas de germinación en semillas de *P. pinceana* en 2020 y 2022.

Sitio/ Año	No. Semillas	Pruebas de germinación
El Arenalito, Cardonal, Hidalgo. (2020)	425	Germinación en ambiente controlado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almácigos con suelo del sitio de estudio. Evaluación de supervivencia de plántulas.</li> </ul>
El Arenalito, Cardonal, Hidalgo. (2022)	405	Germinación en ambiente controlado <ul style="list-style-type: none"> <li>• Almácigos con suelo del sitio de estudio. Evaluación de efecto de densidad de siembra.</li> <li>• Cajas Petri con papel filtro. Observación de la germinación (elongación de radícula), semilla con y sin testa.</li> <li>• Rayos X. Identificación de presencia o ausencia de embrión, nivel de desarrollo de embrión, malformaciones, endosperma sano, incompleto o podrido.</li> </ul>

Se colocaron en total 75 semillas con testa de *P. pinceana* y 75 semillas de *P. cembroides*, en seis cajas Petri con papel filtro (ISTA, 2016), cada una con 25 semillas (tres repeticiones). Además, se colocaron 13 endospermas de *P. pinceana* (Figura 8 a y b) en una caja Petri con papel filtro.

Las semillas con testa de *P. pinceana* y *P. cembroides* se sembraron en almácigos con suelo del sitio de estudio en grupos de una, cinco, 10, 15 y 20 semillas (Figura 8 c) (cinco repeticiones). Cada semana se registró el número de semillas podridas, germinadas y emergidas, así como la altura, tamaño de acículas, vigor y supervivencia de las plántulas de *P. pinceana*.





**Figura 8.** Siembra de semillas *P. pinceana* y *P. cembroides*. a) semillas de *P. pinceana* y *P. cembroides* en cajas Petri (condiciones controladas), b) endospermas de *P. pinceana* en cajas Petri y c) semillas de *P. pinceana* y *P. cembroides* en almácigos (simulando siembra natural por córvidos).

**Efecto de la densidad de semillas sobre la germinación 2022.** En condiciones naturales los córvidos transportan y entierran grupos de cinco a 50 semillas de *P. pinceana*. Para simular lo anterior y determinar el efecto de la densidad de semillas sobre el éxito de germinación en ambiente natural, se hicieron cinco lotes de una, cinco, 10, 15 y 20 semillas, con cinco repeticiones cada una. Los diferentes grupos de semillas se enterraron a una profundidad de 2.5 cm (Figura 8 c).

El riego se aplicó hasta su punto de saturación del suelo, ocupando 70 ml por cavidad de almácigo, el agua presentó un pH 5 similar al de la lluvia (HCl 0.2% en 350ml).

Las semillas se revisaron cada semana para identificar su germinación y emergencia (esto comprende desde la siembra hasta la total emergencia de las hojas cotiledonares), una vez que se observó la emergencia de las plántulas se calculó la velocidad de germinación (relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación, Maguirre, 1962) y el porcentaje de emergencia (relación del número de semillas germinadas con el tiempo de germinación, Maguirre, 1962) con las siguientes fórmulas:

$$\text{Velocidad de germinación } M = \sum (n_i / t) \quad (\text{Maguirre, 1962}).$$

$$\text{Porcentaje de emergencia } PE = \frac{\text{No. de semillas emergidas}}{\text{No. total de semillas}} \times 100$$

(Hartmann y Kester, 2000).

Las semillas que no germinaron se abrieron en su eje longitudinal (ISTA, 2016) para evaluar si se encontraban llenas, podridas o vanas y posteriormente se calcularon los siguientes porcentajes:

$$\text{Porcentaje de semilla plena} = \frac{\text{Cantidad de semillas plenas sanas y bien desarrolladas}}{\text{Cantidad total de semillas en la muestra}} \times 100$$

(FAO, 1983).

**7.4 Evaluación de supervivencia de plántulas de *P. pinceana*.** Se observaron y se realizó un registro cada seis días de su altura y diámetro del tallo, utilizando un Vernier, se anotó la posible causa de muerte (déficit hídrico, ataque de hongos, aves, fenómenos meteorológicos, como nevadas y granizadas) y vigor de las plántulas con base en las siguientes escalas:

#### **Escala de vigor.**

0 plántula muerta 100 % de hojas amarillas, deshidratadas, desaparecida o con signos de depredación.

1 plántula con vigor bajo, 1 al 25 % de hojas verdes, hidratadas y del 75 al 99 % con signos de depredación u hojas amarillas.

2 plántula con vigor medio, 25 al 50 % de hojas verdes, hidratadas y el 50 al 75 % con signos de depredación u hojas amarillas.

3 plántula vigor medio, 50 al 74 % de hojas verdes, hidratadas y del 25 al 50 % con signos de depredación u hojas amarillas.

4 plántula vigorosa, 75 al 90 % de hojas verdes, hidratadas y del 10 al 25 % con signos de depredación u hojas amarillas.

5 plántula vigorosa, 100 % de hojas verdes, hidratadas, sin signos de depredación.

#### **Factores de mortalidad.**

1.- Muerte por déficit hídrico o sequía (hojas amarillas y sin signos de depredación).

2.- Muerte por enfermedad de hongos (tallos delgados en la unión con el suelo, hojas verdes o amarillas).

3.- Muerte por insectos en estadio larval en hojas cotiledonares.

4.- Muerte por depredación (tallos y hojas cotiledonares dañadas).

5.- Muerte por caída de granizo.

6.- Muerte por caída de ramas grandes y pequeñas.

7.- Otra causa.

**Análisis estadístico.** Se utilizará un análisis de varianza de comparación de medias para longitud, número de escamas, escamas con semilla, semillas por cono, longitud y peso de semillas, con el paquete Stata 9.

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Características de los conos de *Pinus pinceana*

**Color.** En 2020 se obtuvieron 79 conos, en 2022, 88 conos (Cuadro 2), siendo un total de 167 conos de *P. pinceana*, estos presentaron en la madurez un color rojo amarillento (2.5yr 3/6, Cartas de color Munsell) (Figura 9).

**Cuadro 2.** Valores de media (valor mínimo y máximo), de características de conos de *P. pinceana* en años diferentes, en un bosque de pino piñonero en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo.

Año	Núm. Conos	Longitud (cm)	Núm. escamas	Escamas con semillas	Núm. Semillas por cono	Núm. Total de semillas
2020	79	8.41 <sup>a</sup> (4 - 12)	31 <sup>a</sup> (9 - 53)	9 <sup>a</sup> (1 - 34)	8 <sup>a</sup> (0 - 34)	425 <sup>a</sup>
2022	88	7.95 <sup>b</sup> (3.3 - 11)	50 <sup>b</sup> (21- 75)	2 <sup>b</sup> (1 - 22)	3 <sup>b</sup> (0 - 34)	255 <sup>b</sup>

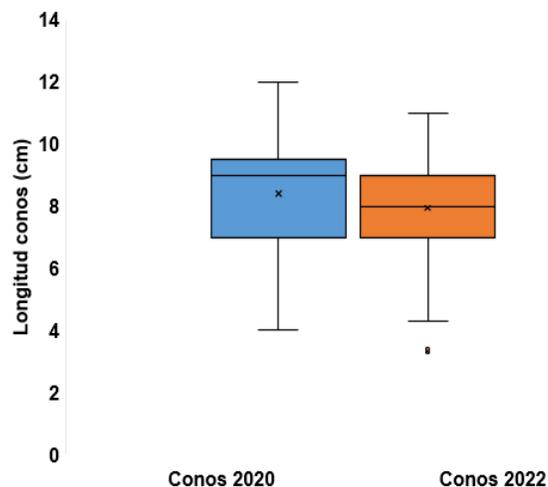
\*Letras diferentes significan que hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).



**Figura 9.** Color de cono de *P. pinceana* en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo.

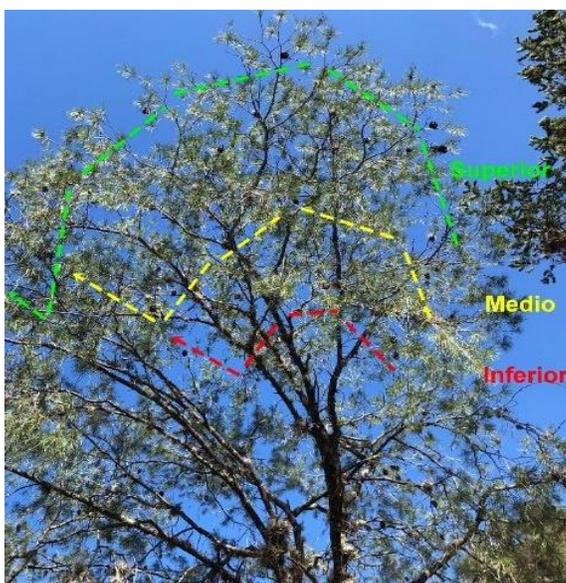
**Longitud de conos.** *P. pinceana* puede producir conos con longitudes de 3.3 a 12 cm (Figura 10). Además, se observó que continua la producción de conillos ya que se observaron algunos recientes de 2 a 4.5 cm en la parte superior de la copa del árbol.

La longitud es variable. Los conos de *P. pinceana* obtenidos en 2020 mostraron una longitud  $\bar{x} = 8.41$  cm, ( $\pm 4$  a 12 cm; mínimo y máximo respectivamente), en tanto en 2022, la longitud fue significativamente menor  $\bar{x} = 7.95$  cm, ( $\pm 3.3$  a 11 cm; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 10).



**Figura 10.** Variaciones de longitud de cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. La longitud del cono fue significativamente mayor en 2020 ( $p < 0.0000$ ).

Los conos de *P. pinceana* con tamaños de 3.3 a 8 cm aún son mantenidos en la copa del árbol y se desprenden cuando son mayores de 8 a 12 cm (Figura 11).



**Figura 11.** Conos de *P. pinceana* distribuidos por estratos en un árbol en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo, 2022.

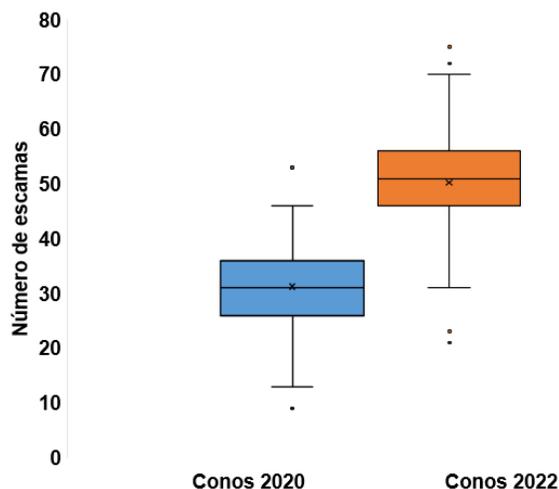
Los conillos inmaduros de *P. pinceana* de 2 a 4.5 cm se localizan en la parte superior de la copa del árbol (Figura 12).



**Figura 12.** Cono de *P. pinceana* inmaduro (verde), en la parte terminal de la rama de un árbol en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo, 2022.

Estas longitudes de los conos maduros varían de 3.3 a 12 cm, es un intervalo mayor (6 a 8 cm) al citado por Martínez (1948) quien considera que es poco común la longitud de 9 cm; Farjon y Styles (1997) mencionan longitudes de 5 a 10 cm similar a lo registrado por CONAFOR (2008).

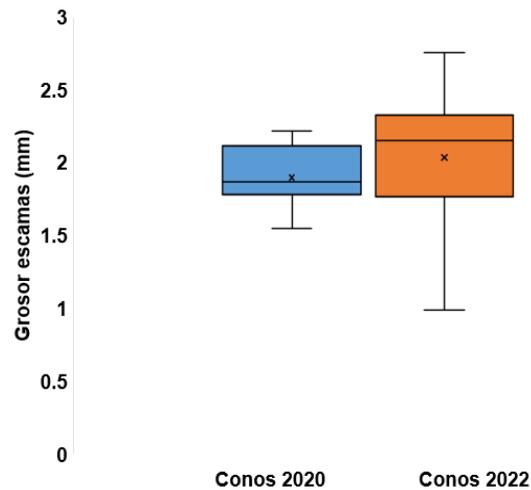
**Escamas por cono.** El número de escamas por cono fue variable entre años. En 2020 los conos de *P. pinceana* presentaron una  $\bar{x} = 31$  escamas/cono, ( $\pm 9$  a 53; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 13). En tanto 2022 se registró un incremento significativo ( $p < 0.0000$ )  $\bar{x} = 50$  escamas/cono ( $\pm 21$  a 75; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 13).



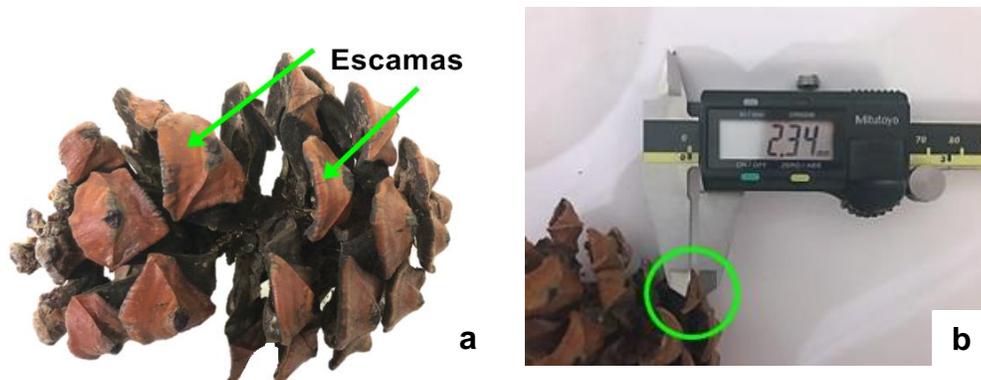
**Figura 13.** Variaciones de número de escamas en cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El número de escamas por cono fue significativamente mayor en 2022 ( $p < 0.0000$ ).

El número de escamas en este estudio fue menor a lo reportado por Farjon y Styles (1997) y CONAFOR (2008), quienes consideran que se presentan de 60 a 80 escamas por cono de *P. pinceana*.

**El grosor de escamas.** Los conos de *P. pinceana* no mostraron diferencias significativas entre años ( $p > 0.1048$ ) en el grosor de las escamas. En 2020 presentaron una  $\bar{x} = 1.90$  mm, ( $\pm 1.55$  a  $2.22$  mm; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 14), mientras que en 2022  $\bar{x} = 2.04$  mm ( $\pm 0.99$  a  $2.76$  mm) (Figura 14 y 15). Sin embargo, no existen investigaciones que reporten el grosor de las escamas en conos de *P. pinceana*.



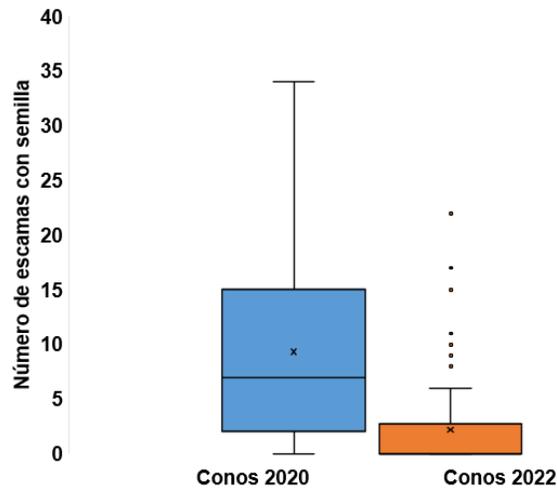
**Figura 14.** Variaciones de grosor de escamas en conos de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El grosor de escamas por cono no mostró diferencia significativa ( $p > 0.1048$ ).



**Figura 15.** Escamas en cono de *P. pinceana* en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo. a) señalización de escamas y b) medición de grosor de escamas.

**Escamas con semilla.** La cantidad de escamas con semillas por cono fue variable entre años. En 2020 se registró una  $\bar{x} = 9$  ( $\pm 1$  a 34 mínimo y máximo) escamas con semilla y en 2022 fue significativamente diferente ( $p < 0.0000$ )  $\bar{x} = 2$  ( $\pm 1$  a 22 mínimo y máximo) escamas con semilla (Figura 16). Cabe mencionar que en ambos años hubo escamas que no presentaron semillas, mientras que el máximo que se reportó en 2020 fueron 34 y en 2022 de 22 escamas con semilla (Figura 16).

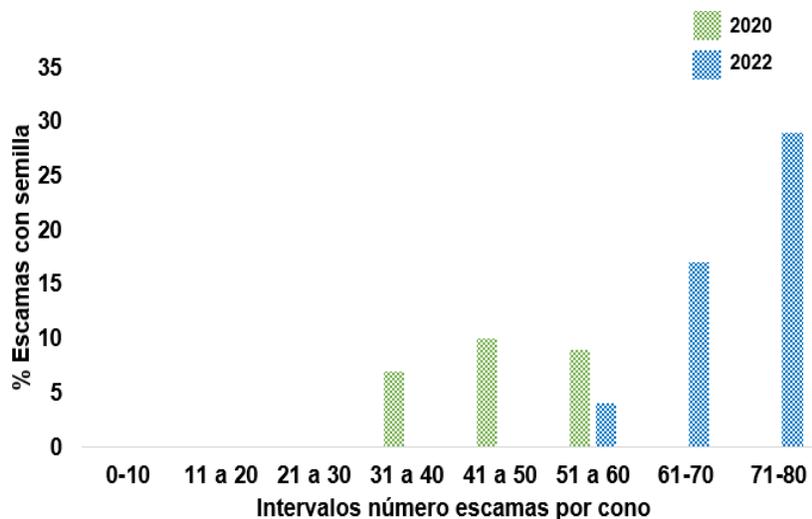
No existen investigaciones acerca del número de escamas que presentan semillas en *P. pinceana*.



**Figura 16.** Variaciones de número de escamas con semilla en cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El número de escamas con semilla en conos fue significativamente mayor en 2020 ( $p < 0.0000$ ).

**El potencial de semilla.** Es variable entre años. En 2020 el potencial de semilla fue de 18, significativamente mayor ( $p < 0.0000$ ) que cinco en 2022. Lo anterior es diferente a lo reportado por Quiroz y colaboradores (2017) en El Arenalito, Hidalgo, donde el potencial de semillas de *P. pinceana*, fue mayor en tres años, en 2001 fue de 63.3, en 2002 y 2003 fue de 58.9 y 53 respectivamente.

El número de escamas necesarias para producir semillas de *P. pinceana* en 2020 y 2022 fue a partir de 31 y 51 escamas respectivamente (Figura 17) y contarán con al menos una escama fértil.



**Figura 17.** Número de escamas necesarias para producir semillas por cono de *P. pinceana*, 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo.

**Número de semilla por escama.** Se logró identificar de una a dos semillas por escama en conos de *P. pinceana* (Figura 18).

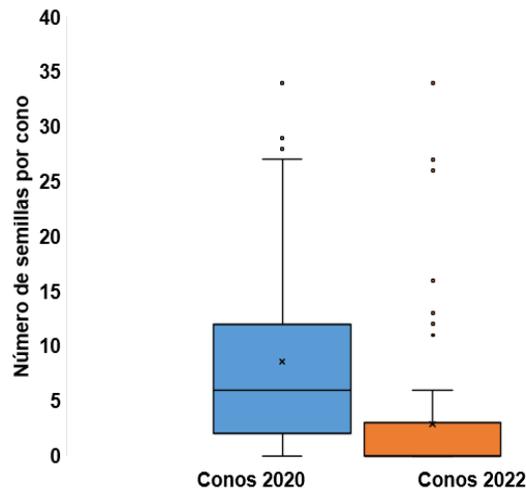


**Figura 18.** Semillas por escama en cono de *P. pinceana*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo.

Martínez (1948) registra una sola semilla por escama en conos de *P. pinceana*; Farjon y Styles (1997) y CONAFOR (2008) registran que frecuentemente sólo una de las semillas se desarrolla completamente en cada escama, suponiendo que los nutrimentos para el desarrollo completo de las semillas se enfocan a una sola.

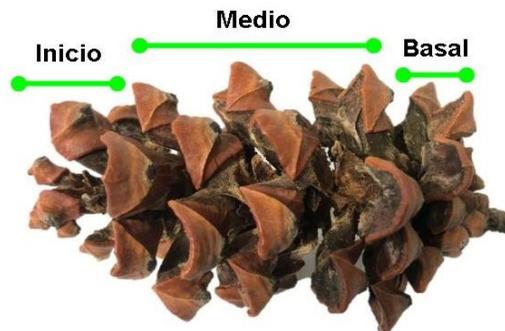
Teniendo en cuenta que la familia pinaceae posee dos óvulos por escama ovulífera y que los conos de *P. pinceana* colectados en El Arenalito, Hidalgo, presentaron dos semillas por escama, demuestra que dichos óvulos llegan a desarrollarse estructuralmente hasta formar dos semillas por escama, siendo esto una variación a lo descrito para este piñonero.

**Semillas por cono.** Fue variable entre años. En 2020 los conos de *P. pinceana* presentaron  $\bar{x} = 8$  semillas por cono, ( $\pm 0$  a 34; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 19). Mientras que en 2022 fue significativamente menor ( $p < 0.0000$ )  $\bar{x} = 3$  semillas por cono, ( $\pm 0$  a 34; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 19). Este número de semillas de ocho es menor al reportado por Hernández (2006) ya que determinó en ocho poblaciones de *P. pinceana* un potencial de semillas promedio de 50 semillas por cono.



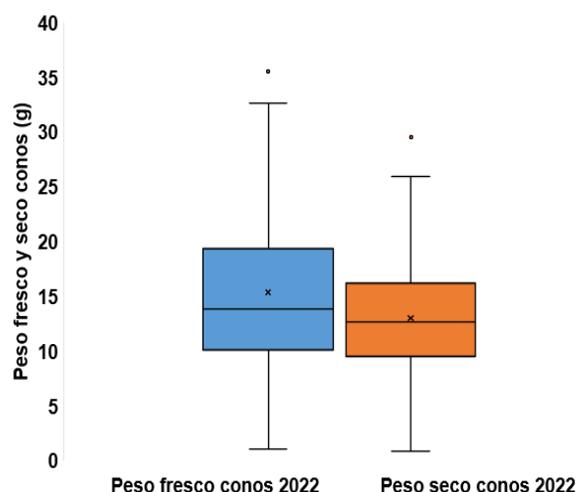
**Figura 19.** Variaciones de número de semilla por cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El número de semilla por cono fue significativamente mayor en 2020 ( $p < 0.0000$ ).

En la parte inicial y basal del cono se ubicaron semillas de 0.5 a 0.8 cm, en la parte media aquellas semillas de 0.9 hasta 1.5 cm de longitud (Figura 20).



**Figura 20.** Ubicación de semillas en un cono de *P. pinceana* en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo.

**Contenido de humedad en conos.** Los conos de *P. pinceana* almacenan poca humedad. En 2022 el peso fresco en conos de *P. pinceana*  $\bar{x} = 15.7$  g, ( $\pm 2$  a 35.6 g; mínimo y máximo respectivamente), el peso seco disminuyó significativamente ( $p < 0.0000$ )  $\bar{x} = 13.3$  g, ( $\pm 0.9$  a 29.6 g; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 21).



**Figura 21.** Variaciones contenido de humedad en conos de *P. pinceana* en el año 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El peso fresco y seco de cono fue significativamente diferente ( $p < 0.0000$ ).

El contenido de humedad (%) en conos para *P. pinceana* fue del 15 %, el cual se considera bajo en contraste con el registrado por Aragón y colaboradores (2020) para conos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* con peso fresco de 155 g, el peso seco 97.9 g y el contenido de humedad es de 62 %.

## 8.2 Semillas de *Pinus pinceana*

**Color de semillas.** En 2020 y 2022 se obtuvieron 425 y 211 semillas sanas de *P. pinceana* respectivamente (Cuadro 3).

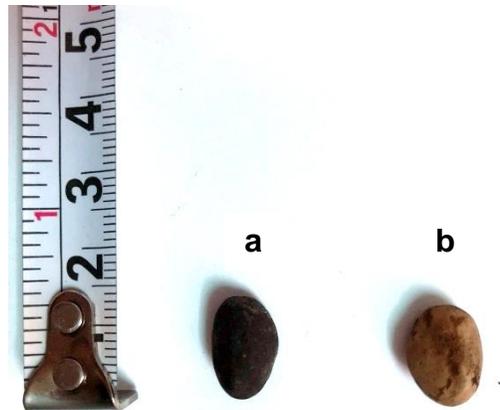
**Cuadro 3.** Valores de media (valor mínimo y máximo), de características de semillas de *P. pinceana* en un bosque de piñón en El Arenalito, Municipio Cardonal, Hidalgo.

Año	Núm. Semillas	Longitud (cm)	Peso (g)	Porcentaje Semillas llenas (%)	Porcentaje Semillas vanas (%)	Porcentaje emergencia (%)
2020	425	1.16 <sup>a</sup> (0.5 - 1.5)	0.3 <sup>a</sup> (0 - 0.5)	1 <sup>a</sup>	99 <sup>a</sup>	0.94 <sup>a</sup>
2022	211	1.24 <sup>b</sup> (0.7 - 1.5)	0.23 <sup>b</sup> (0.03 - 0.45)	6 <sup>b</sup>	94 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>

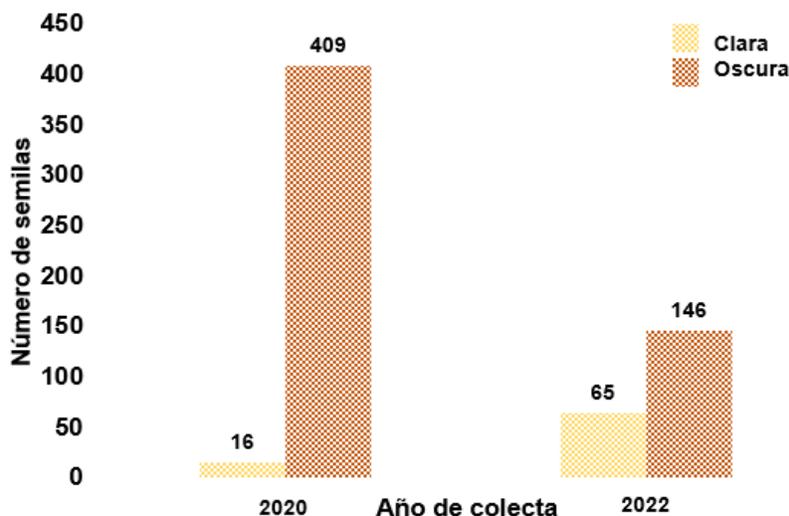
\*Letras diferentes significan que hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

Las semillas de *P. pinceana* en este estudio se clasificaron en dos colores: café claro y oscuro (Figura 22 a y b). Siendo dominantes en 2020 las de color café oscuro con un total de 409 semillas y 16 café claro. Mientras que, en 2022, solo 146 semillas fueron oscuras y 65 café claro (Figura 23).

Martínez (1948) menciona que las semillas de *P. pinceana* presentan un color oscuro carentes de ala, en tanto Farjon y Styles (1997), CONAFOR (2008) registran un color café rojizo y color oscuro. Las semillas de *P. pinceana* de El Arenalito, Hidalgo presentaron colores café oscuro y claro pero no rojizos.



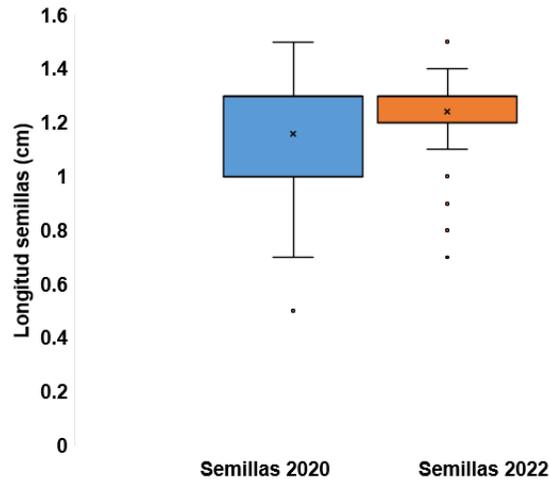
**Figura 22.** Color de semilla de *P. pinceana*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo. a) semilla oscura y b) semilla clara.



**Figura 23.** Número de semillas *P. pinceana* de color claro y oscuro, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo.

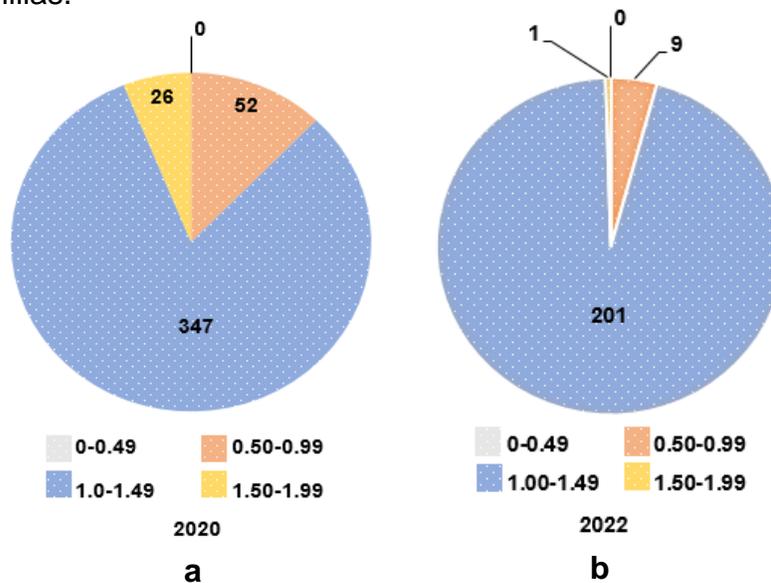
**Longitud semillas.** Pueden presentar variación anualmente. En 2020 las semillas de *P. pinceana* registraron  $\bar{x} = 1.15$  cm, ( $\pm 0.5$  a 1.5 cm; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 24). En tanto, 2022 fue significativamente mayor

( $p < 0.0000$ )  $\bar{x}$  = de 1.24 cm, ( $\pm 0.7$  a 1.5 cm; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 24).



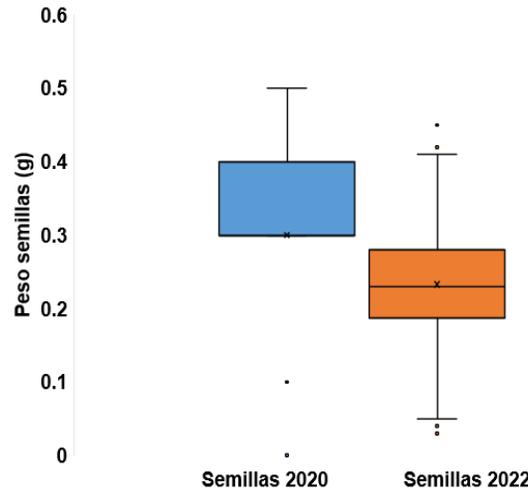
**Figura 24.** Variaciones de longitud de semilla por cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. La longitud de semilla fue significativamente mayor en 2022 ( $p < 0.0000$ ).

La longitud de las semillas de *P. pinceana* en 2020 y 2022 fue de 1.0 a 1.49 cm (Figura 25). El tamaño de semilla supera los valores reportados por Martínez (1948) de 1.2 cm, mientras que CONAFOR (2008) indica de una variación de 1.1 a 1.4 cm para estas semillas.



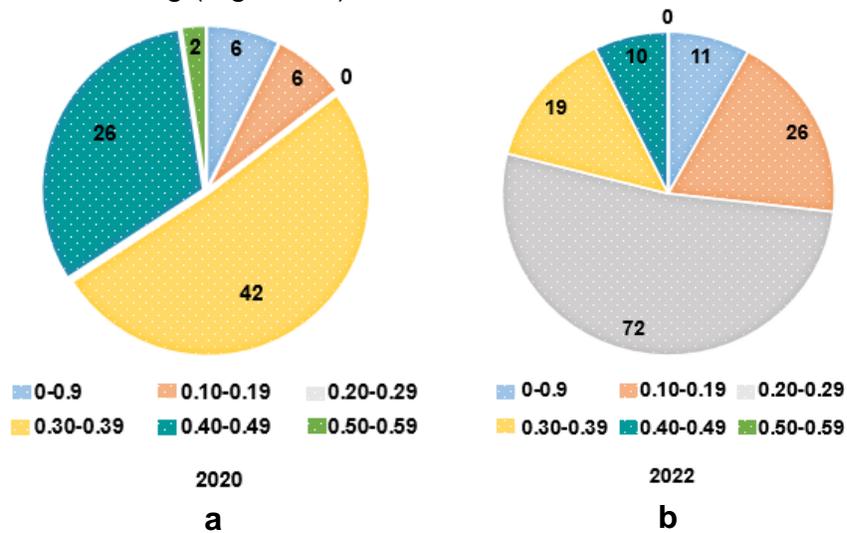
**Figura 25.** Número de semillas por intervalos de tamaño (cm) de semilla de *P. pinceana*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo. a) 2020 y b) 2022.

**Peso de semillas.** Es variable anualmente. En 2020 el peso de las semillas de *P. pinceana* fue de  $\bar{x} = 0.3$  g, ( $\pm 0$  a 0.5 g; mínimo y máximo respectivamente) (Figura 26). En 2022, significativamente menor ( $p < 0.0000$ )  $\bar{x} = 0.23$  g, ( $\pm 0.03$  a 0.45 g) (Figura 26).



**Figura 26.** Variaciones peso de semilla por cono de *P. pinceana* en los años 2020 y 2022 en un bosque en El Arenalito, Municipio Cardonal, Estado de Hidalgo. El peso de semilla fue significativamente menor en 2022 ( $p < 0.0000$ ).

El peso de las semillas de *P. pinceana* en 2020 fue de 0.30 a 0.39 g, mientras que en 2022 de 0.20 a 0.29 g (Figura 27).



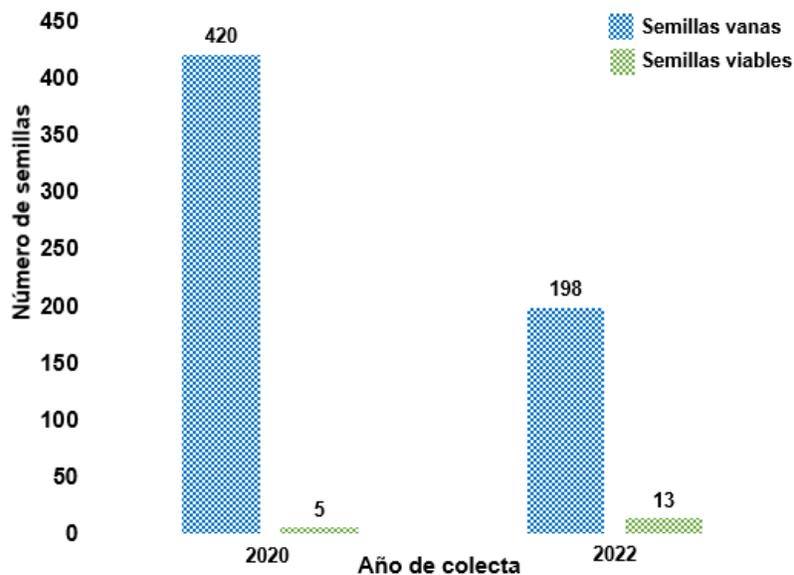
**Figura 27.** Número e intervalo peso (g) de semilla de *P. pinceana*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo. a) 2020 y b) 2022.

Cabe mencionar que no se encontraron investigaciones con respecto al peso de las semillas de *P. pinceana*. Sin embargo, González et al. (2006) mencionan que para *P. cembroides* el peso de las semillas se encuentra entre los 0.54 y 0.55 g.

**Grosor de testa.** En 2022 el grosor de testa en semillas de *P. pinceana*  $\bar{x}$  = de 1.29 mm, ( $\pm$  0.87 a 1.81 mm; mínimo y máximo respectivamente).

Ramírez y colaboradores (2010) mencionan que las semillas de este piñonero tienen una testa gruesa, sin embargo, Flores y Caldera (1985) mencionan que las semillas de este piñonero tienen una testa de 0.9 mm. Para *P. cembroides* se registra de 0.6 a 1.0 mm (Farjon y Styles, 1997) y en *P. orizabensis* 0.78 mm (Hernández et al., 2018).

**Semillas llenas y vanas.** Las semillas de *P. pinceana* en el año 2020 presentaron un porcentaje de 99 % de semillas vanas y 1 % de semillas viables. En la recolecta de 2022 se registraron 94 % de semillas vanas y 6 % de semillas viables (Figura 28).



**Figura 28.** Semillas de *Pinus pinceana* vanas y viables, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo.

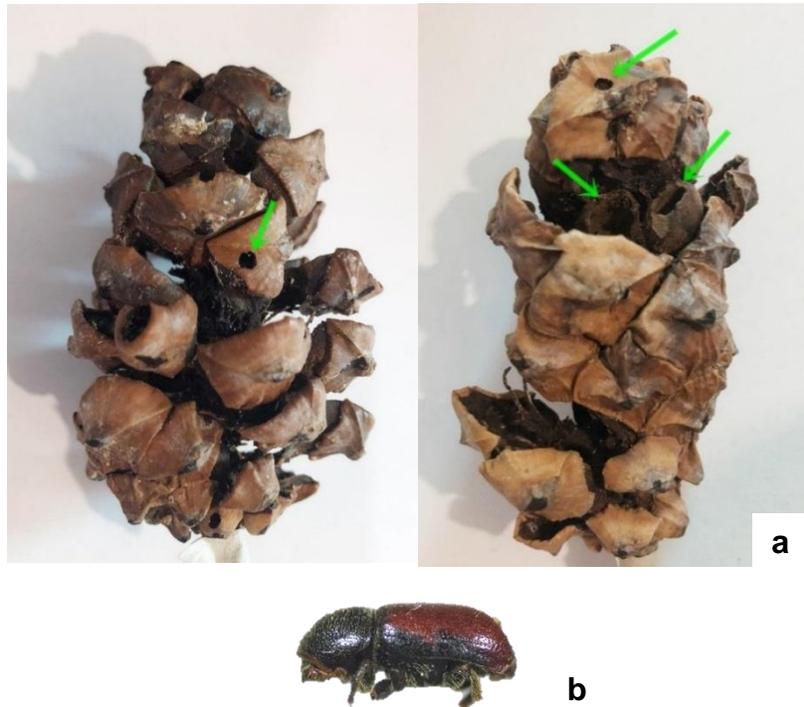
Lo que indica que la producción de semillas viables fue muy deficiente posiblemente está relacionado con la baja calidad de polen de *P. pinceana*.

Quiroz y colaboradores (2017) registraron los siguientes datos de semilla llenas de *P. pinceana*, en 2001, 54.9%; 2002, 32.2 % y 2003, 18.1%. Y de semillas vanas de *P. pinceana* fueron en 2001, 9.5%; 2002, 21.4%; 2003, 21.9%.

Dichos autores atribuyeron la autopolinización como la principal causa de semillas vanas, esto teniendo en cuenta que no se detectaron semillas dañadas por insectos. Según Sorensen (1973) la abundancia y calidad de polen variable entre años influye en la producción de semillas llenas. Sin embargo, Marschner (1995) menciona que la deficiencia de  $\text{Cu}^{2+}$  afecta la formación de polen, semillas, frutos y crecimiento vegetativo.

### 8.3 Supervivencia de conos y semillas de *Pinus pinceana* en sitio natural

**Conos.** De un total de 88 conos de *P. pinceana* solo el 2 % presentaron perforaciones (Figura 29 a). Flores y Martínez (1987) indican como principal plaga que afecta la producción de piñón al barrenador de conos, conillos y semillas, *Conophthorus edulis* (62 %) (Figura 28 b), seguida de *Leptoglossus occidentalis* (30 %), y *Eucosma bobana* (2.1 %) en el bosque piñonero localizado en el municipio de Cardonal, Hidalgo.



**Figura 29.** Daños en conos de *P. pinceana* por depredador. a) conos de *P. pinceana* con perforación y b) *Conophthorus edulis*, posible barrenador de conos y semillas de *P. pinceana* en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo 2022.

**Semillas.** De 379 semillas de *P. pinceana* el 56 % estaban sanas, es decir, no presentaban ningún daño, el 28 % tuvo fisura a la mitad y 16 % perforación (Figura 30).



**Figura 30.** Daños en semillas de *P. pinceana* por depredador, semilla sana, perforada y fisurada.

Revueltas (2016) reportó en la Sierra de Cardonal, Hidalgo, el género *Peromyscus* con tres especies: *Peromyscus gratus*, *Peromyscus difficilis* y

*Peromyscus yucatanicus*, de las cuales las dos últimas resultan ser endémicas. Mencionado lo anterior se atribuye al roedor del género *Peromyscus* la depredación y perforación de semillas de *P. pinceana* en El Arenalito, Hidalgo (Figura 31 a y b).



**Figura 31.** Depredador de semillas de *P. pinceana*. a) roedor del género *Peromyscus*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo 2022 y b) comedero de semillas de *P. pinceana*, en un bosque en Cardonal, Estado de Hidalgo, 2022.

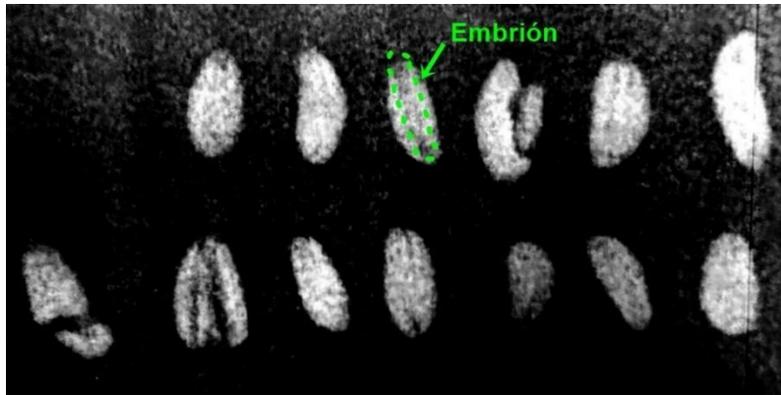
#### 8.4 Germinación de *Pinus pinceana*

**Viabilidad en semillas de *P. pinceana* 2022.** Como primera prueba de viabilidad se llevó a cabo el método de flotación. De 51 semillas de *P. pinceana* se identificaron 13 llenas, ya que permanecieron en el fondo del contenedor con agua. Cabe mencionar que al realizar un corte longitudinal a la testa de la semilla de *P. pinceana* se observó que 13 semillas contenían piñón (semillas llenas) (Figura 32).



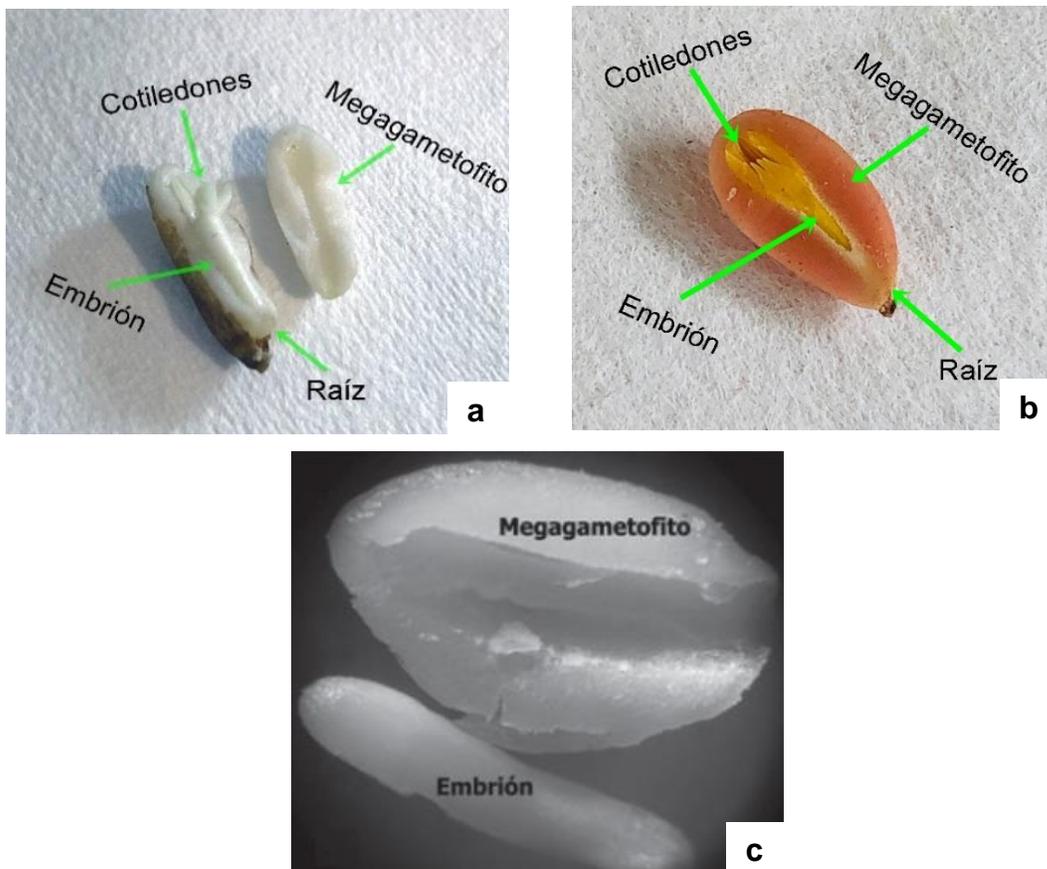
**Figura 32.** Endospermas de *P. pinceana*.

Además, se tomó una placa de rayos x a los endospermos de *P. pinceana*, y se corroboró al distinguir 13 endospermas, con un solo embrión plenamente desarrollado, que ocupan por completo la cavidad embrionaria (Figura 33). Dos de los piñones presentaron ruptura por la partición de su testa.



**Figura 33.** Radiografía de endospermas de *P. pinceana*.

Los embriones tuvieron forma lineal y no se presentaron plagas en su interior (Figura 34 a y b).



**Figura 34.** Corte longitudinal de piñón. a) piñón de *P. pinceana* con megagametofito, embrión bien desarrollado y sin plaga, b) piñón de *P. cembroides* con megagametofito, embrión bien desarrollado y sin plaga y c) embrión de *Pinus tecunumanii* (tomada de Cerda y Díaz, 2013).

En *P. pinceana* no se han registrado investigaciones que realicen radiografía para las semillas. La ventaja de este método implica detectar semillas vacías, llenas, estructuras seminales dañadas o anormales y la presencia de alguna plaga.

### 8.5 Germinación de *Pinus pinceana* en ambiente controlado 2020 y 2022

En 2020 de 425 semillas con testa de *P. pinceana* sembradas en almácigo, solo cuatro germinaron, de estas tres continuaron su desarrollo (Figura 35) y una se pudrió por hongo *Fusarium* sp.



**Figura 35.** Plántula de *P. pinceana* 2020.

Las semillas de *P. pinceana* en 2020 indicaron una velocidad de germinación de 35 días y un 0.70 % de emergencia. Mientras que en 2022 las semillas de este piñonero tuvieron nula velocidad de germinación y porcentaje de emergencia, ya que presentaron pudrición por hongo posiblemente por *Fusarium* sp. (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Germinación y emergencia de semillas de *P. pinceana* en ambiente controlado.

Año	No. Semillas	Velocidad de germinación (días)	Porcentaje de emergencia (%)
2020	425	35	0.70
2022	405	0	0

### 8.6 Efecto de la densidad de siembra en semillas de *Pinus pinceana* y *Pinus cembroides* sobre la germinación en laboratorio 2022

Se colectaron semillas en abril de 2022. Se utilizaron un total de 405 semillas, colocando 150 semillas en caja Petri y 255 en almacigo. La siembra se llevó a cabo

en el mes de mayo. Se revisaron diariamente durante cuatro meses obteniendo los siguientes resultados.

**Densidad de 25 semillas en caja Petri.** De un total de 150 semillas con testa de *P. pinceana* y de *P. cembroides* colocadas en seis cajas Petri, todas mostraron pudrición (Figura 36), causada posiblemente por hongo *Fusarium* sp. y 0 % de germinación, la causa puede atribuirse al riego con agua de la llave que presenta un pH es alcalino, ya que el riego con lluvia de pH 5 no registró ataque de *Fusarium* sp.

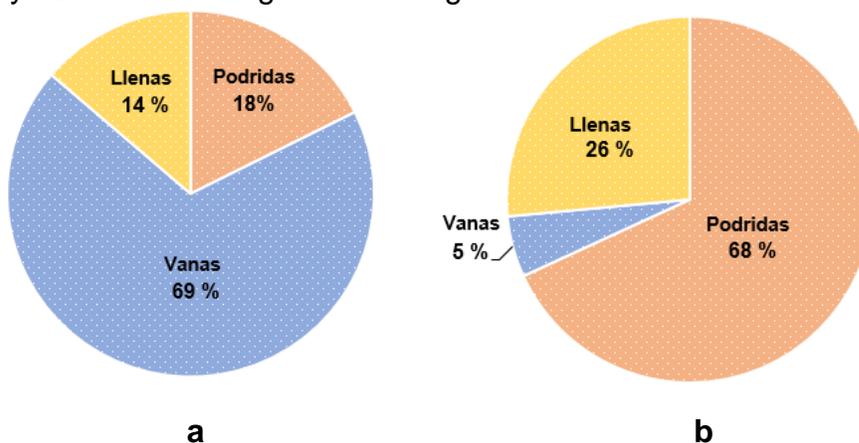


**Figura 36.** Nivel de pudrición de endospermos de *P. cembroides* 2022.

**Primera prueba de densidad de siembra (una semilla, cinco semillas, 10 semillas, 15 semillas y 20 semillas) en almácigo.** La colecta de semillas de *P. cembroides* se fue en marzo y de *P. pinceana* en abril 2022. La siembra se llevó a cabo en el mes de mayo. **En todas estas densidades la germinación fue nula.**

Para *P. pinceana*. De 51 semillas con testa sembradas en almácigo, predominaron las semillas vanas (Figura 37 a). De las semillas restantes el 14 % se presentaron llenas sin germinar y el 18 % podridas por hongo. Se obtuvo nula germinación.

Para *P. cembroides*. De 204 semillas con testa sembradas en almácigo, predominaron las semillas podridas (Figura 37 b). De las semillas restantes el 5 % fueron vanas y 26 % llenas sin germinar. La germinación fue nula.



**Figura 37.** Porcentaje de semillas llenas, vanas y podridas. a) semillas de *P. pinceana*, y b) semillas de *P. cembroides*, 2022.

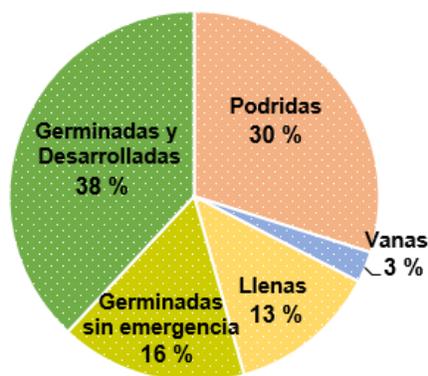
Ante la nula germinación obtenida se realizó una:

**Segunda prueba de densidad de siembra (una semilla, cinco semillas, 10 semillas, 15 semillas y 20 semillas) en almacigo.** La colecta de semillas fue en marzo y la siembra se realizó en el mes de agosto. En estas densidades se obtuvo una velocidad de germinación de 40 días y un porcentaje de emergencia del 38 %.

Se sembraron 184 semillas con testa de *P. cembroides* en almacigo, de las cuales resultó que el 3 % fueron vanas, el 13 % llenas que no germinaron, el 16 % llenas que germinaron, pero no continuaron su desarrollo por pudrición, el 30 % de las semillas llenas presentaron pudrición por hongo y solo el 38 % emergieron continuando su desarrollo hasta plántulas (Figura 38 y 39), **el riego fue por lluvias de verano**, se notó que el riego con agua de la llave incrementa la mortalidad por hongo.



**Figura 38.** Semillas de *P. cembroides*. a) semilla germinada seca y podridas de *P. cembroides*.



**Figura 39.** Porcentaje de semillas llenas, vanas, germinadas y podridas de *P. cembroides* 2022.

La colecta de semillas de *P. pinceana* realizada en el mes de abril 2022 corresponde producción de semillas del año 2021, lo cual sugiere que las cosechas de semillas de seis meses son sensibles al ataque de hongo, mientras que una cosecha fresca reciente de meses de octubre a noviembre es más resistente a patógenos.

La pudrición de semillas de *P. pinceana* y *P. cembroides* causada por hongo revela que no requieren de exceso de humedad, por ello la distribución de estos piñoneros es en zonas áridas. Es posible que la presencia de testa en la semilla sea sensible al ataque de hongo. Las semillas de algunos géneros de coníferas tienen ductos de resina (*Abies*, *Cedrus*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Pseudolarix*, *Tsuga*) en los

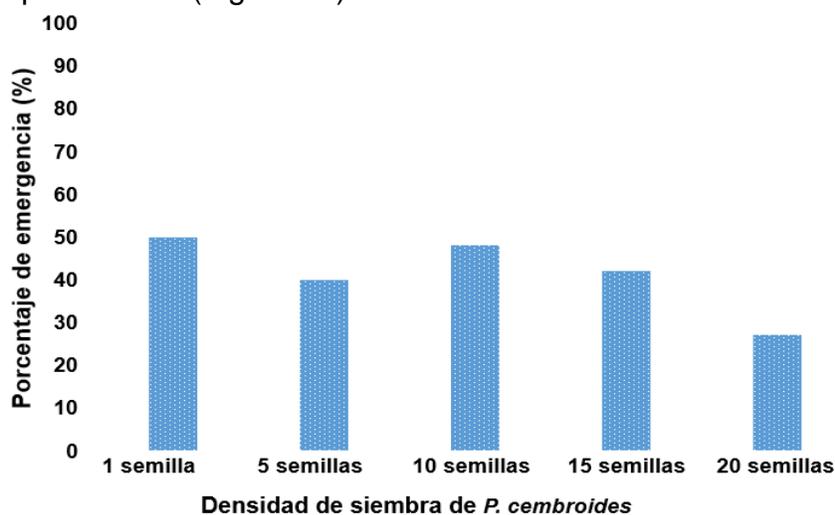
géneros restantes están ausentes (Farjon, 1990), lo cual ayuda como defensa. Dicho lo anterior las semillas de *P. pinceana* no presentan ductos de resina como mecanismo de defensa contra insectos y hongos, siendo una desventaja ya que pueden ser fácilmente atacadas y por consecuencia presentar una baja germinación.

**Densidad de semillas y su efecto en la emergencia, supervivencia y vigor en plántulas de *Pinus cembroides* 2022.** Emergieron un total de 70 plántulas de *P. cembroides* (Figura 40).

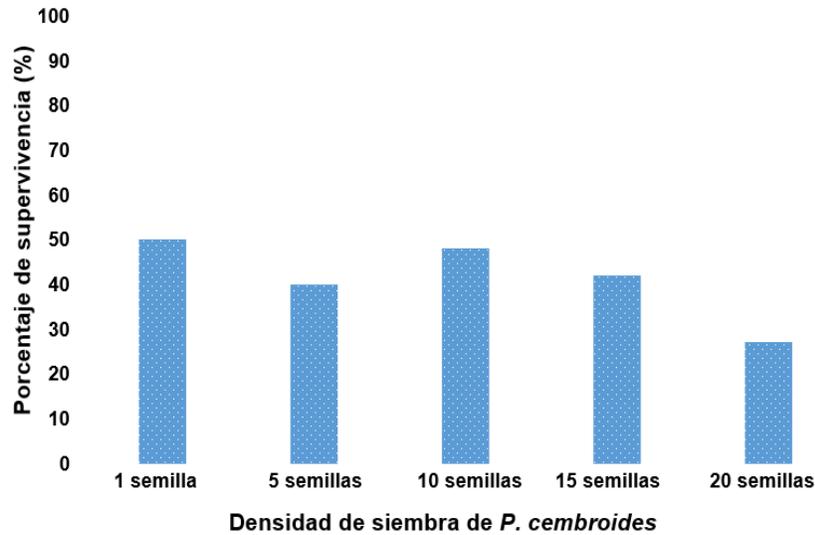


**Figura 40.** Densidad de siembra y plántulas de *P. cembroides* 2022.

La densidad de siembra de 10 semillas de *P. cembroides* obtuvo el mayor porcentaje de emergencia con 48 %, es decir 19 plántulas de 40 semillas (Figura 41) y 48 % de supervivencia (Figura 42).

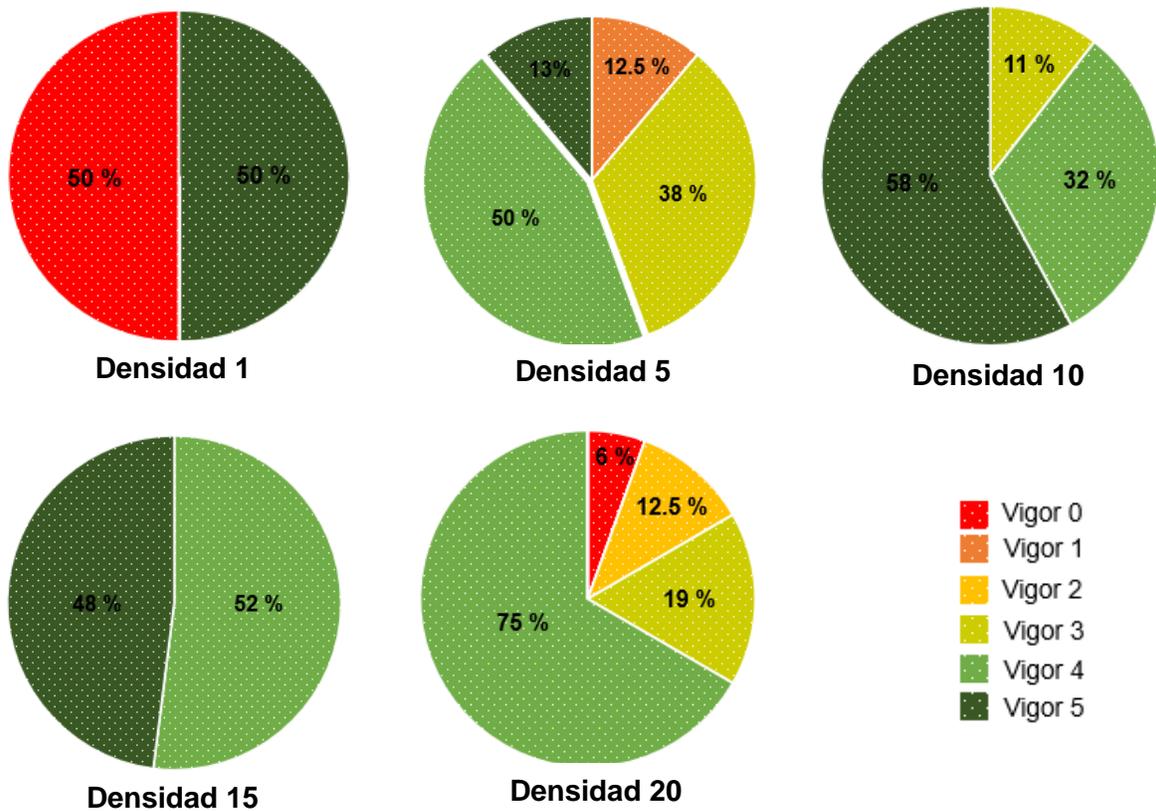


**Figura 41.** Densidad de siembra y porcentaje de emergencia de semillas de *P. cembroides* 2022.



**Figura 42.** Densidad de siembra y porcentaje de supervivencia de plántulas de *P. cembroides* 2022.

La densidad de siembra que presentó plántulas de *P. cembroides* más vigorosas fue de 10 semillas (Figura 43) presentando un 58 % de vigor 5 y 32 % de vigor 4 (Figura 44).



**Figura 43.** Porcentaje de vigor en plántulas por densidad de siembra de *P. cembroides* 2022



**Vigor 0**  
Plántula muerta 100 % de  
hojas amarillas



**Vigor 1**  
Plántula con vigor bajo, 1  
al 25 % de hojas verdes



**Vigor 2**  
Plántula con vigor medio,  
25 al 50 % de hojas verdes



**Vigor 3**  
Plántula con vigor medio,  
50 al 74 % de hojas verdes



**Vigor 4**  
Plántula vigorosa, 75 al  
90 % de hojas verdes



**Vigor 5**  
Plántula vigorosa, 100 %  
de hojas verdes

**Figura 44.** Escala de vigor en plántulas de *Pinus cembroides* 2022.

Se observó que la densidad de siembra de cinco, 15 y 20 semillas influyen en la germinación, emergencia y supervivencia de las plántulas de *P. cembroides*, sin embargo, la densidad de 10 semillas mostró mayor porcentaje de germinación, emergencia, supervivencia y vigor en plántulas. Esto se podría deber a que no logran almacenar la suficiente humedad que provoque el desarrollo de hongo. La de densidad de una, 10 y 15 semillas presentaron mayor porcentaje de vigor en plántulas. Las semillas en grupos pueden escapar de la depredación y germinar.

### 8.7 Evaluación de supervivencia de plántulas de *Pinus pinceana* 2020 y 2022

En 2020 las tres plántulas de *P. pinceana* presentaron hongo *Fusarium* sp. a los dos meses ocasionando su muerte (Cuadro 5).

*Fusarium* sp. afectó las plántulas iniciando por su tallo (sin lignificar) presentando un cambio de color verde rojizo a café, así como un ahorcamiento (Cibrián, 2019), posteriormente las acículas mostraron clorosis tornándose de verde a amarillo y un doblamiento del brote principal (la punta) (Cibrián, 2001) y pudrición de raíz, ocasionando un aspecto seco y su marchitamiento (Figura 45). Al tener un vigor bajo y una muerte ocasionada por enfermedad (hongo) la supervivencia fue nula.

**Cuadro 5.** Supervivencia de plántulas de *Pinus pinceana* en condiciones controladas.

Año	No. Plántulas	Altura (cm)	Long. hojas (cm)	Hojas cotiledonales	Diam. tallo (mm)	Causa de Muerte	Supervivencia
2020	1	4.3	4.8	11	8	Hongo ( <i>Fusarium</i> sp.)	0
	2	3.6	4.0	12	7		0
	3	5	4.0	11	7		0
2022	0	0	0	0	0	Hongo ( <i>Fusarium</i> sp.)	0



**Figura 45.** Plántulas de *Pinus* infectadas por hongo (*Fusarium* sp.). a) *Pinus pinceana* con marchitamiento por *Fusarium* sp (2020) y b) Fotografía de *Pinus* con daño por *Fusarium* sp. (tomada de CONAFOR, 2008).

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1 Primordios florales y potencial de semillas en *Pinus pinceana*

El bajo potencial de semillas obtenido se atribuye al siguiente proceso.

Para la formación de primordios florales se requiere de heladas tempranas en la segunda semana de agosto (Forcella, 1981) y lluvias de invierno.

Sin embargo, para el presente estudio los años de formación de primordios florales fueron 2019 y 2021. En dichos años se observaron temperaturas mínimas en agosto aproximadamente de 13 y 12 °C respectivamente y una disminución en las lluvias de invierno (Figura 46 y 47), lo cual sugiere que los años 2019 y 2021 no presentaron condiciones óptimas para el desarrollo de primordios florales.

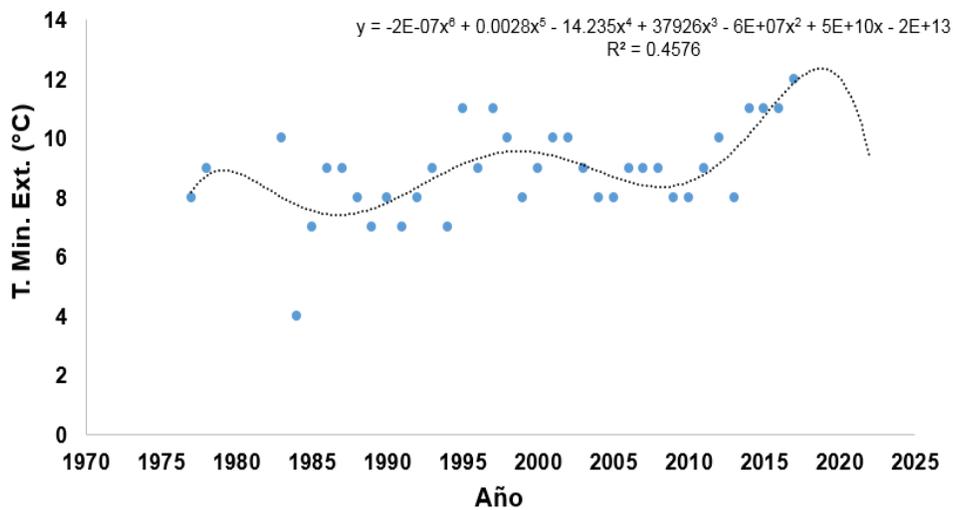


Figura 46. Temperatura mínima agosto, Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años.

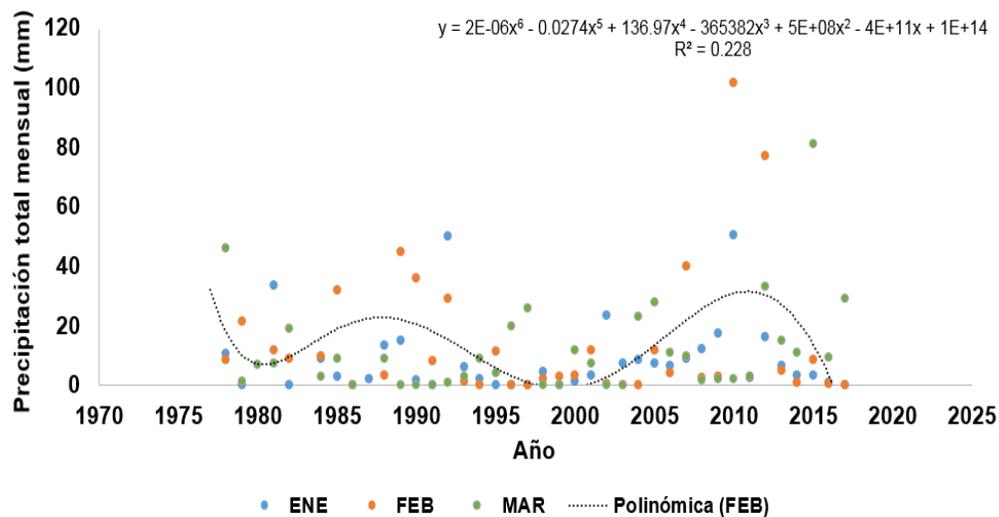
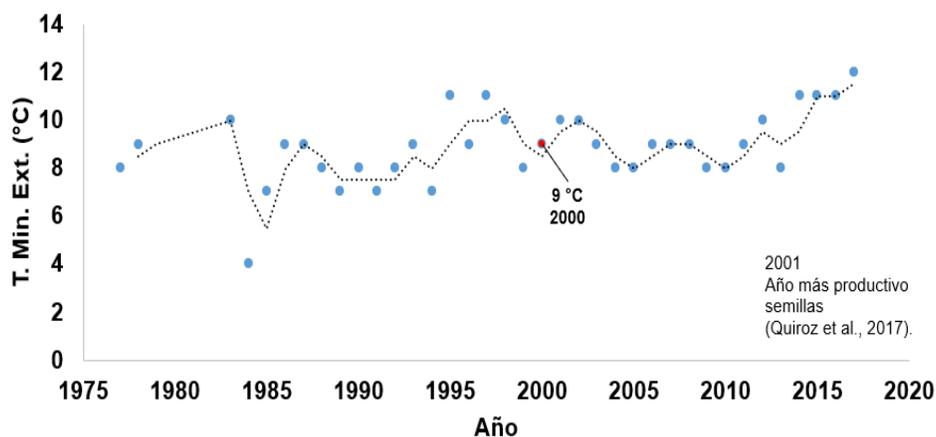
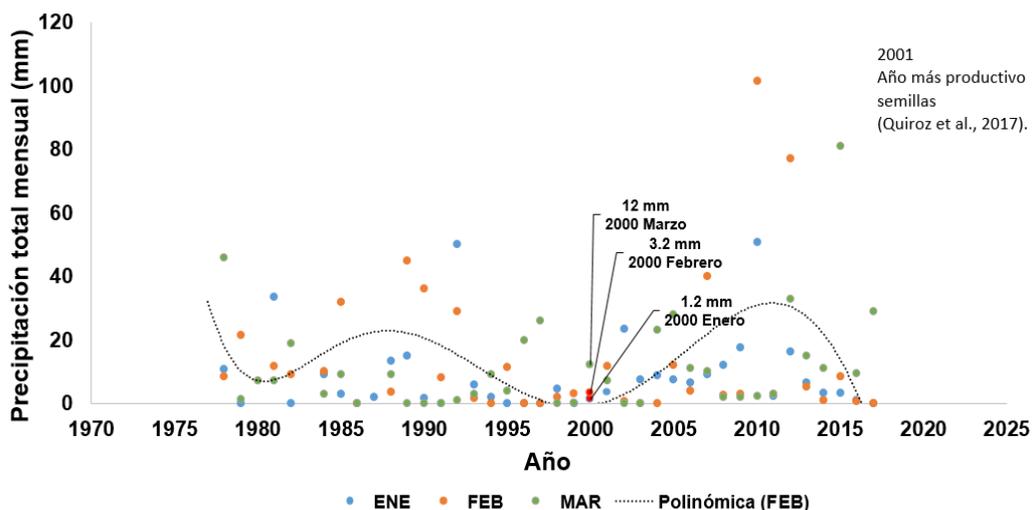


Figura 47. Precipitaciones de invierno para desarrollo de primordios de *P. pinceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años.

El mayor potencial de semillas se presenta cuando las condiciones de temperaturas mínimas son de 9 ° C y lluvias de invierno de 1.2, 3.2 y 12 mm de enero, febrero y marzo respectivamente (Figura 48 y 49) según lo reportado por Quiroz y colaboradores (2017) en 2000 para que el año 2001 tuviera un 63.3 de potencial de semilla.



**Figura 48.** Temperatura mínima para la formación de primordios florales de *P. piniceana* en agosto 2000, Municipio Cardonal, Hidalgo.



**Figura 49.** Lluvias de invierno en el año 2000 para la formación de primordios florales de *P. piniceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo.

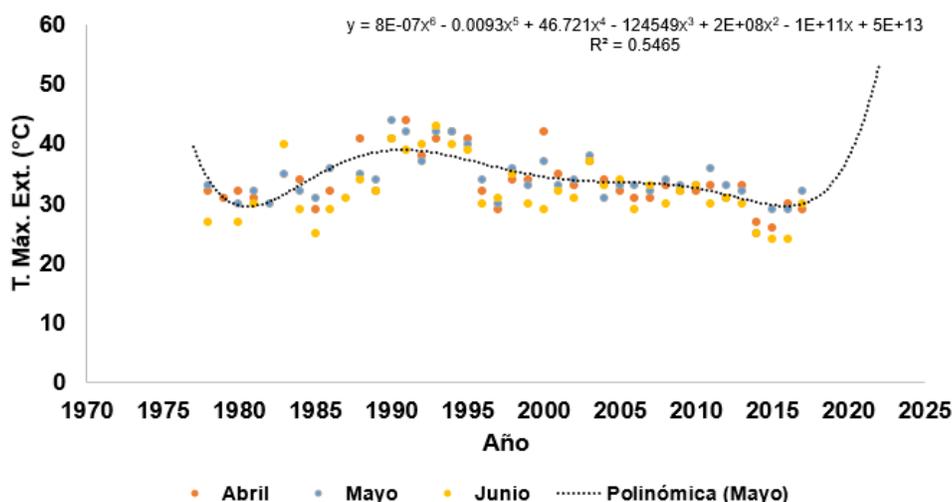
## 9.2 Polinización y semillas vanas

Las semillas vanas de *P. pinceana* presentaron un alto porcentaje, esto se debe a una baja polinización. La alta formación de polen está relacionada con heladas en la segunda semana de agosto y lluvias de invierno, lo cual no ocurrió en estos años 2019 y 2021. Además, para que la polinización ocurra a finales de mayo y principios de junio (Flores, 1983) (Figura 50) se requieren temperaturas máximas para la apertura de conos masculinos y femeninos.

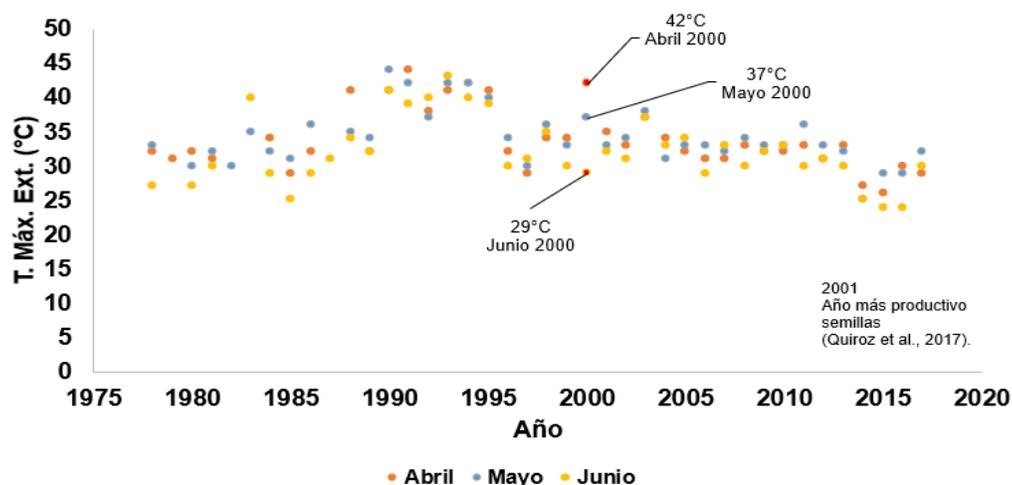
Dic-Feb	Marzo-Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept-Nov
Primordios sin crecimiento	Floración	Polinización/ crecimiento de conillos	Crecimiento de conillos			
Crecimiento de conillos suspendido	Fertilización/ crecimiento de conillos	Crecimiento de conos/ maduración de semillas			Apertura de conos	

**Figura 50.** Observaciones fenológicas (Flores Lara, 1994). Fenología de *P. cembroides* en Galeana, N.L. Citado de Vallejo, 1997.

Para este estudio en 2019 y 2021 la estación de primavera registró temperaturas máximas de aproximadamente 37 y 47 °C respectivamente. Estas temperaturas tienden a incrementarse (Figura 51) y están dentro del intervalo de temperaturas máximas de 42, 37 y 29 °C que se reportaron para Quiroz y colaboradores (2017) en el año de alta producción de semillas (2001) (Figura 52). Por lo tanto, las temperaturas máximas de primavera no influyen en la producción de semillas vanas.



**Figura 51.** Temperaturas máximas extremas de primavera para la polinización de *P. pinceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo, a cinco años.

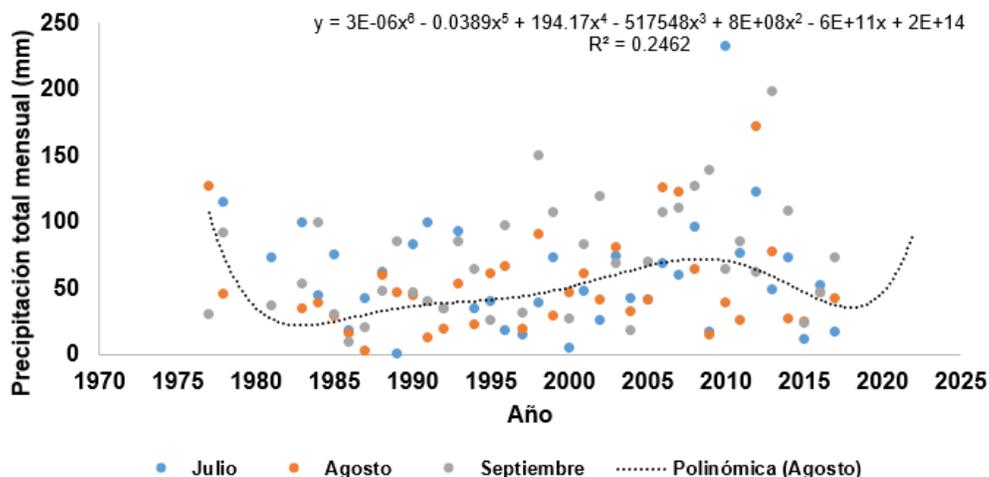


**Figura 52.** Temperaturas máximas primavera 2000 para la polinización de *P. pinceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo.

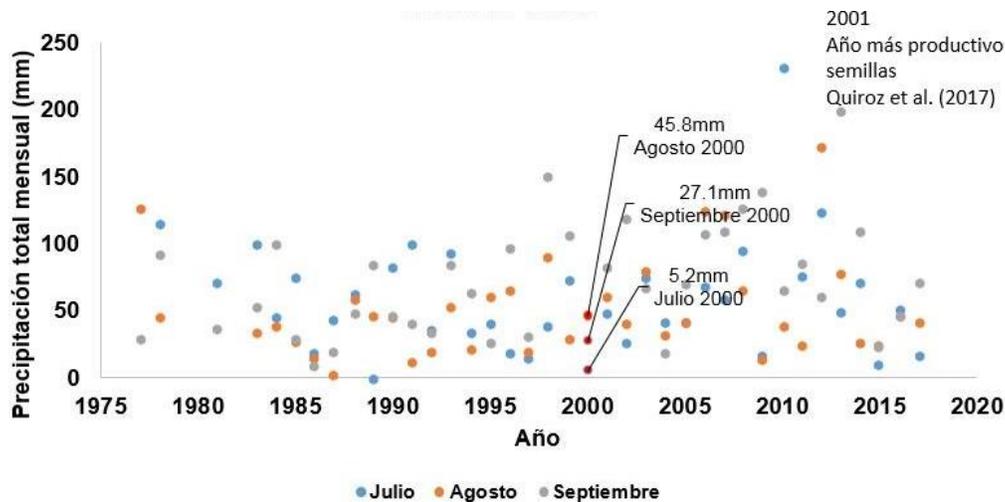
Marschner (1995) menciona que la deficiencia de cobre generalmente se asocia a una baja concentración de polen. Lo que es necesario estudiar ya que podría ser la solución para aumentar la producción de polen, producción de semillas y favorecer el crecimiento poblacional.

### 9.3 Maduración de semillas

La maduración de semillas se lleva a cabo un año después de la polinización, abarcando los meses de julio, agosto y septiembre (Flores, 1994). Para los años 2019 y 2021 las lluvias de verano se registraron en aumento (Figura 53), y están dentro del intervalo registrado por Quiroz et al. (2017) 5.2, 45.8 y 27.1 mm en julio, agosto y septiembre respectivamente (Figura 54). Sin embargo, no influyen en la producción de semillas vanas.



**Figura 53.** Precipitaciones de verano para la maduración de semillas de *P. pinceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo a cinco años.



**Figura 54.** Precipitaciones de verano 2000 para la maduración de semillas de *P. pinceana*, Municipio Cardonal, Hidalgo.

#### 9.4 Semillas llenas de *P. pinceana*.

Las semillas llenas de *P. pinceana* presentaron un bajo porcentaje y esto se debe a los pocos primordios florales y polen que lograron desarrollarse, bajo las condiciones de temperatura mínima de 13 y 12 °C en el mes de agosto, y nulas lluvias de invierno, en los años 2019 y 2020 de este estudio.

La polinización de los pocos conos masculinos y femeninos se vio favorecida por las temperaturas máximas de 37 y 47 °C en primavera, permitiendo la apertura de los conos. Finalmente, la maduración de semillas fue posible por las lluvias de verano de estos años.

Por lo tanto, con base a nuestros resultados y lo registrado por Quiroz et al. (2017) para una alta producción de semillas llenas se requiere:

- 1.- Formación de primordios. Temperaturas menores a 9°C en la segunda semana de agosto.
- 2.- Desarrollo de primordios florales y polen. Lluvias en invierno de 1.2, 3.2 y 12 mm de enero, febrero y marzo respectivamente.
- 3.- Polinización. Temperaturas máximas de 42, 37 y 29 °C en primavera, de abril, mayo y junio respectivamente para la apertura de conos masculinos y femeninos. Es necesaria la adición de  $\text{Cu}^{+2}$  de dos a tres ppm.
- 4.- Desarrollo de semillas. Lluvias de verano de 5.2, 45.8 y 27.1 mm en julio, agosto y septiembre respectivamente.

## 9.5 Longitud de conos y distribución de *Pinus pinceana*

Los conos de *P. pinceana* colectados en el bosque de pino piñonero en El Cardonal, Hidalgo en 2020 y 2022 presentaron longitudes de 8.41 y 7.95 cm respectivamente, lo cual coincide con lo registrado por Martínez (1948), Farjon y Styles (1997) y CONAFOR (2008), que fueron localizados a una altitud entre 1877 y 2104 msnm, lo cual se encuentran dentro del intervalo señalado por Farjon y Styles (1997) de 1400 a 2700 msnm donde se desarrolla este pino piñonero.

Estos datos son representativos de la región ya que los ejemplares de conos de *P. pinceana* del Herbario de Chapingo, provenientes de los estados de Hidalgo y Coahuila, cuentan con los siguientes datos, en 1979 en el municipio de Tolantongo dos conos de un árbol de *P. pinceana* de 12 m de altura aproximadamente, tuvieron una longitud de 8 y 6.3 cm respectivamente, con 36 y 44 escamas aproximadamente. En 1981 en el municipio El Cardonal un cono de *P. pinceana* obtenido de un árbol de 3 m de altura, tuvo 12.5 cm de longitud y 57 escamas aproximadamente, a 1700 msnm. Posteriormente de un árbol de 5 a 10 m de altura, se colectó un cono *P. pinceana* de 9 cm de longitud y 44 escamas aproximadamente, a 1750 msnm. Finalmente, en 1994 en Sierra de Parras, Coahuila, un cono de *P. pinceana* presentó 7.5 cm de longitud y 43 escamas aproximadamente ubicado entre 2000 a 2450 msnm.

Mencionado lo anterior, la longitud variable de conos de *P. pinceana* del presente estudio y del Herbario de Chapingo, no se atribuye a una variación en el rango altitudinal, ya que no se identificó una mayor longitud de cono a mayor altitud ni menor longitud de cono a menor altitud. Tampoco se debe a su ubicación geográfica ya que son similares a las obtenidas en las poblaciones del norte y sur de su distribución natural, contrario a lo que llega a mencionar Aparicio et al. (2020) para las poblaciones de *P. patula* en donde a mayor altitud (a partir de 2331 msnm) presentaron conos con mayor longitud, mientras que en las poblaciones de menor altitud los conos mostraron menor longitud.

La longitud variable de conos de *P. pinceana* se puede deber a la distribución de nutrimentos en el árbol, ya que las ramas presentan constricciones y nudos de almacenamiento de nutrimentos que le permite continuar su crecimiento (Figura 55) a pesar de las condiciones adversas, es necesario realizar los estudios al respecto, ya que Ramírez et al. (2018) identificaron en árboles de *Cedrela odorata* una disminución en la concentración de nutrimentos como nitrógeno, potasio y magnesio en el fuste, así como potasio y fósforo en el follaje, al incrementar la edad del arbolado.



**Figura 55.** Nudos de almacenamiento de nutrientes en fuste de *P. pinceana*, Municipio El Cardonal, Hidalgo 2022.

### 9.6 Longitud de conos de *Pinus pinceana* G y suelo

*P. pinceana* se desarrolla en suelos alcalinos, calizos, pedregosos, muy delgados y pobres de materia orgánica (Eguiluz, 1978), por lo que la variabilidad de su longitud de cono no puede deberse exclusivamente a la textura del suelo contribuye Rodríguez y colaboradores (2012), en *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii*.

En cuanto a los nutrientes del suelo Córdoba, Vargas y Arévalo (2008) indicaron que, en El Arenalito, el suelo tiene una textura de migajón arcillo-limoso que le confiere menor capacidad de retención de humedad (27.70%). Además, tiene menor contenido de materia orgánica (6.84%) y menor fertilidad, menor capacidad de intercambio catiónico (35.20 meq 100 g<sup>-1</sup>) y valores bajos de nitrógeno (0.30%), fósforo (18.80 mg kg<sup>-1</sup>), potasio (0.34 cmol kg<sup>-1</sup>) y otros cationes intercambiables Ca<sup>++</sup>(10.0 meq L<sup>-1</sup>), Mg<sup>++</sup>(1.40 meq L<sup>-1</sup>), Na<sup>+</sup> (0.46 meq L<sup>-1</sup>), HCO<sub>3</sub> (6.67 meq L<sup>-1</sup>), SO<sub>4</sub> (0.67 meq L<sup>-1</sup>), esto en comparación con el suelo de El recreo, Coahuila. Dichas características se analizaron según los límites establecidos en la NOM-021-RECNAT-2000, indicando que el porcentaje de magnesio y materia orgánica se encuentran dentro de la clase media con valores de (1.3- 3.0 meq L<sup>-1</sup>) y (6.1-10.9%), respectivamente; en cuanto a la capacidad de intercambio catiónico, contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y otros cationes intercambiables como el calcio, se encuentran dentro de la clase media con intervalos de (25-40 meq 100 g<sup>-1</sup>), (0.15-0.25%), (> 11), (>0.6 cmol kg<sup>-1</sup>), (>10 meq L<sup>-1</sup>). Por lo que el suelo donde se desarrollan los árboles de *P. pinceana* en El Arenalito aporta los nutrientes necesarios para su crecimiento, por lo que las propiedades del suelo no son

determinantes en la producción de conos además *P. pinceana* presenta zonas de acumulación de nutrimentos en el tronco.

### 9.7 Morfometría de conos de *Pinus pinceana*

El número total de semillas por cono presentó una alta correlación con número de escamas fértiles, y longitud de cono. Es decir, entre mayor longitud presente el cono más escamas fértiles y por lo tanto aumentará el número total de semillas por cono (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Correlación entre datos morfométricos de conos de *Pinus pinceana*.

	<b>R</b>
No. Total Semillas por Cono / No. Escamas fértiles	0.970667254
No. Total Semillas por Cono / Long. Cono	0.764566157

### 9.8 Efecto de la densidad de siembra en la emergencia, vigor y supervivencia de plántulas

La densidad de siembra de 10 semillas presentó el mayor porcentaje de emergencia (48 %), vigor (58 %) y supervivencia de plántulas (48 %), seguido de los grupos de una, cinco y 15 semillas.

La siembra de semillas se recomienda realizarla en grupos desde una hasta 15 semillas, ya que a partir de 20 semillas hay presencia de hongo (*Fusarium* sp). Esto se puede atribuir a que entre mayor sea el número de semillas habrá mayor almacenamiento de humedad y genera condiciones favorables para el desarrollo de hongo que afecta la supervivencia. Además, a esta profundidad de siembra y densidad de semillas, Hayashida (1988) registra las mejores condiciones para desarrollo y supervivencia en el caso de *Pinus koraiensis*, esto simulando el comportamiento de la ardilla roja (*Sciurus vulgaris orientis*).

Los dispersores naturales, los córvidos también entierran las semillas de piñoneros a una profundidad de 2.5 cm del suelo y en grupos de hasta 15 semillas (Pesendorfer et al., 2016),

Por lo tanto, con base en nuestros resultados podemos suponer que la densidad de siembra óptima es de una hasta 15 semillas. Esta densidad genera las condiciones necesarias para su emergencia como humedad necesaria y supervivencia ante la depredación.

En general los resultados permiten explicar que los pinos piñoneros llegaron al continente americano a través del estrecho de Bering comenzando a distribuirse desde el norte hasta llegar a nuestro país. La adaptación a las bajas temperaturas y sequías, permitió su distribución y establecimiento en las zonas semiáridas del país. Al igual que *Pinus cembroides*, *Pinus pinceana* requiere en el primer año temperaturas bajas (9°C) en la segunda semana de agosto (verano - otoño) para la formación de primordios florales que se pueden desarrollar si hay lluvias de invierno. La topografía accidentada en las barrancas hace variable la humedad disponible lo que permite explicar la variabilidad en la morfometría de los conos y semillas.

Se ha mencionado que para generar polen es necesario adicionar  $\text{Cu}^{2+}$ , en concentraciones de 0.02ppm, y pueda llevarse a cabo la polinización en primavera. es importante que no ocurran lluvias en este mes, ya que no permiten la dispersión aérea del polen generando semillas vanas. En el segundo año, las semillas maduran en verano y a principios de otoño se dispersan. Finalmente, las lluvias de invierno (nortes) y las lluvias de verano favorecen la germinación de las semillas y su desarrollo. Mencionado lo anterior, sin estas condiciones climáticas no es posible una alta producción de semillas llenas en *Pinus pinceana*, sin embargo, la presencia de plántulas y árboles jóvenes pueden significar su posible adaptación a condiciones extremas, por su crecimiento diferencial de ramas en el mismo verticilo.

Este piñonero es una especie de suma importancia ya que produce semillas y su distribución en zonas áridas permite ser una especie que se ha mantenido a pesar de los cambios climáticos extremos en el mundo.

## 10. CONCLUSIONES

Con base a los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente.

- 1.- Los conos de *P. pinceana* presentan longitudes de 3.3 a 12 cm.
- 2.- El número de escamas, escamas con semilla, semillas por cono y potencial de semilla es variable entre años.
- 3.- Conos con mayor longitud tendrán mayor número de escamas y de semillas.
- 4.- El porcentaje de semillas llenas fue bajo 1.17 y 6.16 %, mientras que el porcentaje de semillas vanas fue alto 98.8 y 93.8 %, en los años de estudio 2020 y 2022 respectivamente.
- 5.- Las semillas vanas de *P. pinceana* presentaron un porcentaje alto, esto ocasionado por las lluvias de primavera que no permiten la polinización adecuada.

6.- Las semillas llenas de *P. pinceana* presentaron un porcentaje bajo. En la temporada de polinización, la ausencia de lluvias en pocos días permitió que algunos conos fueran polinizados exitosamente.

7.- La densidad de siembra de una hasta 15 semillas de *P. pinceana* mostraron los mayores porcentajes de emergencia y supervivencia de plántulas.

8. Es altamente recomendable adicionar  $\text{Cu}^{2+}$  para mayor producción de polen.

## 11. LITERATURA CITADA

- Aguirre, V., Alanís, G., González, J. I., Flores, A. y Favela, S. (2017). Variación genética de *Pinus pinceana* Gordon evidencia de conectividad en poblaciones fragmentadas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43), 39-63.
- Alfonzo, H. (2008). *Prueba de sustitución de peat moss por aserrín en sustratos para la germinación de Pinus pinceana Gordon, bajo condiciones de invernadero* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Aparicio, A., Viveros, H., Hernández, J., Sáenz, C., Ruiz, C. y Pineda, J. A. (2020). Zonificación altitudinal de *Pinus patula* a partir de conos y semillas en la sierra de Huayacocotla, Veracruz, México. *Madera y bosques*, 26(2), 1-12.
- Aragón, R. D. Rodríguez, G., Vargas, J. J., Enríquez, J. R., Hernández, A. y Campos, G. V. (2020). Selección fenotípica y características reproductivas de *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) S. G. Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59), 118-140.
- Arcila, J. (s.f.). Capítulo 6. Densidad de siembra y productividad de los cafetales. En Arcila, J., Farfán, F., Moreno, A., Salazar, L. F. e Hincapié, E. (Eds.), *Sistemas de Producción de Café en Colombia* (131-144). Centro Nacional de Investigaciones de Café.
- Arteaga, B. (2000). Producción de semilla de *Pinus maximartinezzi* Rzedowski. En Salazar, F. (Ed.), *II Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina*. (47-52). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Aubert, C. (1997). *El huerto biológico. Como cultivar todo tipo de hortalizas sin productos químicos ni tratamientos tóxicos*. RBA Libros, S.A.
- Bramlett, D. L. (1977). *Cone analysis of Southern pines: a guidebook*. Gen. Tech. Rep. SE-13. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C.
- Carrillo, J. (2011). *Crecimiento de cinco procedencias de Pinus pinceana Gordon en cinco suelos de su distribución natural* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Cerda, D. A. y Díaz, V. (2013). Optimización de un protocolo de extracción de ADN genómico para *Pinus tecunumanii*. *Encuentro*, 94, 82-92.

- Cervantes, J.F. y Huacuja, A. H. (2017). *Guía de los ácaros e insectos herbívoros de México, Vol. 3 Ácaros e insectos dendrófagos de importancia agrícola y forestal*. Universidad Autónoma de México.
- Cibrián, D. (1985). Insectos de los pinos piñoneros en México. En Flores, J. E., Cantú, C. M. y Marroquín, J. S. (Eds.), *I Simposium sobre Pinos Piñoneros (174-192)*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables.
- Cibrián, D. (2001). *Manual para la Identificación y Manejo de las Plagas y Enfermedades Forestales del Estado de Jalisco*. Fideicomiso para el Desarrollo del Programa Forestal de Jalisco.
- Cibrián, D. (2019). *Incidencia y severidad por Fusarium spp., y umbral de daño ocasionado por moscas fungosas Bradysia y Lycoriella*. PROYECTO: Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR 2018-1 A-S-67865.
- Cibrián, D., García, D. y Don Juan, M. (2008). *Manual de identificación y manejo de plagas y enfermedades en germoplasma y planta producida en viveros*. Comisión Nacional Forestal.
- Comisión Nacional Forestal. (s.f). *Paquetes tecnológicos: Pinus pinceana Gordon*. Comisión Nacional Forestal.
- Comisión Nacional Forestal. (2008). *Manual Identificación y manejo de plagas y enfermedades en viveros forestales*. Comisión Nacional Forestal.
- Comisión Nacional Forestal. (2008). *Catálogo de contenido de carbono en especies forestales de tipo arbóreo del noreste de México*. Comisión Nacional Forestal.
- Córdoba, D., Vargas, J.J. y Arévalo, J. A. (2008). Adaptabilidad de poblaciones de *Pinus pinceana* en dos suelos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 273-279.
- Córdoba, D., Vargas, J.J., López, J. y Muñoz, A. (2011). Crecimiento de la raíz en plantas jóvenes de *Pinus pinceana* Gordon en respuesta a la humedad del suelo. *Agrociencia*, 45(4), 493-506.
- Diario oficial de la federación. (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. Diario oficial de la federación.
- Diario oficial de la federación. (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.

- Eckert, A. J. and Hall, B. D. (2006) Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (Pinaceae): Phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 40, 166-182.
- Eguiluz, T. (1978). Ensayo de Integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México [Tesis licenciatura]. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Ehrlich, P. and Raven, P. (1964). Butterflies and plants: a study in coevolution. *Evolution*, 18, 586-608.
- Farjon, A. (1990). Pinaceae: drawings and descriptions of the Genera: *Abies*, *Cedrus*, *Pseudolarix*, *Keteleeria*, *Nothotsuga*, *Tsuga*, *Cathaya*, *Pseudotsuga*, *Larix* and *Picea*. Költz Scientific, Königstein.
- Farjon, A., Pérez, J. A. and Styles, B. T. (1997). *A field guide to the Pines of México and Central America*. The Royal Botanic Gardens, Kew and Oxford Forestry Institute, University of Oxford.
- Farjon, A. and Styles, T. B. (1997). *Pinus (PINACEAE)*. *Flora Neotropica, Monograph 75*. Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden, New York, USA.
- Favela, S. y P. Thomas. (2013). *Pinus pinceana*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- Flores, R. (1983). *Notas autoecológicas del pino piñonero (Pinus cembroides Zuccarinil) en Nuevo León*. México. [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Flores, J. (1994). *Componentes principales*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Flores, J. y Caldera, F. (1985). Características de los conos de algunos piñoneros en relación al ataque de insectos. En Flores, J., Cantú, C. M. y Marroquí, J. S (Eds.), *I Simposium Nacional sobre Pinos Piñoneros* (223 -233). Facultad de Silvicultura y Manejo de Recursos Renovables. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Flores, J. D. y Díaz, E. (1991). Evaluación de la mortalidad de conos y semillas en diferentes especies de piñoneros, localizadas cerca de Saltillo, Coahuila. En

Sánchez, G., Sáenz, C. y Ledezma, S. (Eds.), *IV Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros* (105-110). Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Flores, A. J. F. y Martínez, R. S. (1987). *Contribución al conocimiento de la biología e importancia de algunos insectos que se alimentan de conos y semillas de Pinus cembroides Zucc.* [Tesis licenciatura]. Universidad Autónoma de Chapingo.

Forcella, F. (1981). Estimating cone production in New México and Western Oklahoma. *J. Wildl. Manage*, 45(2), 553-557.

Frischknecht, N. C. (1975). Native faunal relationship within the pinyon juniper ecosystem. In Gifford, C. F. and Busby, F. E. (Eds.), *The pinyon-juniper ecosystem: A symposium College of Natural Resources, Utah State University* (55-65). Utah Agricultural Experiment Station.

Gamboa, A. y Barragán, F. (2020). Preferencias de los granívoros con respecto al tamaño y la calidad de las bellotas en un bosque de *Quercus* en la zona centroseptentrional de México. *Animal Biodiversity and Conservation*, 43(2), 197-208.

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.

García, J. (2020). Patrones de supervivencia de *Pinus Cembroides* Zucc. en una comunidad montañosa del norte de México. *CIENCIA UANL*, 23 (99). <https://doi.org/10.29105/cienciauanl23.99-1>

García, S. E., Aldrete, A., Alvarado, D., Cibrián, D., Méndez, J. T., Valdovinos, G. y Equihua, A. (2017). Efecto de *Fusarium circinatum* en la germinación y crecimiento de plántulas de *Pinus greggii* en tres sustratos. *Agrociencia*, 51(8), 895-908.

Gernandt, D.S., Zerón, O. y Goyenechea, I. (2007). Inferencia filogenética mediante secuencias de DNA: un ejemplo con los pinos piñoneros. En Ramos, A., Cuevas, C., Goyenechea, I. e Iturbe, U. (Eds.), *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad* (55 -65). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Gobierno del Estado de Hidalgo. (2001). *Ordenamiento ecológico territorial estado de Hidalgo*. Gobierno del Estado de Hidalgo.

González, J., García, E., Vargas, J. J., Trinidad, A., Romero, A. y Cetina, V. M. (2006). Evaluación de la producción y análisis de conos y semillas de *Pinus*

- cembroides* Zucc. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(002), 133-138.
- Hartmann, H.T. and Kester, D.E. (2000). *Propagación de plantas: principios y prácticas*. (8ª Ed.). Compañía Editorial Continental.
- Hernández, S. O. (2006). *Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de Pinus pinceana Gordon* [Tesis licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Hernández, L.A., López, J., Ramírez, C. y Romero, A. (2018). Variación en germinación y vigor de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis*. *Agrociencia*, 52, 1161-1178.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Cardonal, Hidalgo*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Garza, P. y Nepamuceno. F. (1968). Análisis Radiográfico de Semillas Forestales en México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 11(59), 1-14.
- International Seed Testing Association. (2016). *Reglas Internacionales para el Análisis de las Semillas*. International Seed Testing Association.
- Jara, L.F. (1996). *Biología de semillas forestales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza.
- Juárez, J.J. (2006). *Diversidad de pequeños mamíferos asociados a poblaciones de Pinus pinceana Gordon en Coahuila y Zacatecas* [Tesis Licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Kameswara, N., Hanson, J., Dulloo, E., Ghosh, K., Nowell, D. y Larinde, M. (2007). *Manual para el Manejo de Semillas en Bancos de Germoplasma*. Bioversity International.
- Kramer, P. J. y Kozlowski T. T. (1979). *Physiology of Woody Plants*. Academic Press.
- Lanner, R. M. (1998). *Seed dispersal in pines. Ecology and Biogeography of Pinus*. Richardson, D. M. Cambridge University Press.
- Ligon, J. D. (1978). Reproductive interdependence of Pinon Jays and pinon pines. *Ecological Monographs*, 48,111 -126.

- López, R. (2007). *Efecto de cuatro sustratos orgánicos en la sobrevivencia y crecimiento de Pinus pinceana Gordon, bajo condiciones de invernadero* [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- López, X. y López, F.A. (2013). La evolución en la polinización: orígenes e hipótesis actuales. *E. insecta*, 1, 8-20.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2, 176-177.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants* (2<sup>a</sup> Ed.). Academic Press.
- Martínez, M. (1948). *Los pinos mexicanos*. Editorial Botas.
- Martínez, D.F., Mellink, E. y García, M. E. (1989). Consumo de piñón por aves y roedores en Amapola, S.L.P. En Flores, J. D., Flores, J., García, E. y Lira, R. H. (Eds.), *III Simposio Nacional Sobre Pinos Piñoneros (87-89)*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Martínez, J.G., Sánchez, C., Martínez, R., Sánchez, G., Trejo, I., Mora, A. y Alanís, E. (2015). Primer registro de *Pinus pinceana* (pinaceae) para Tamaulipas: aspectos ecológicos y estructurales. *Botanical Sciences*, 93(2), 357-360.
- Matilla, J.A. (2008). Capítulo 27. Desarrollo y germinación de las semillas. En Azcón, J. y Talón, M. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw Hill.
- Mejenes, S. M. A., Hernández, M., Barragán, J. y Pacheco, J. (2010). Los mamíferos en el Estado de Hidalgo, México. *THERYA*, 1(3), 161-188.
- Méndez, R. (2008). *Cultivos orgánicos. Su control biológico en plantas medicinales y aromáticas*. ECOE ediciones.
- Mitsuhiro, H. (1989). Seed dispersal by red squirrels and subsequent establishment of Korean pine. *Forest Ecology and Management*, 28(2), 115-129.
- Molina, F., Delgado, P., Piñero, D., Pérez, N., and Álvarez, E. (2001). Do rare pines need different conservation strategies? Evidence from three Mexican species. *Canadian Journal of Botany*, 79(2), 131-138.
- Mirov, N. T. (1967). *The Genus Pinus*. Ronald Press.
- Mosseler, A., Major, J. E., Simpson, J. D., Daigle, B., Lango, K., Park, Y.S., Johnsen, K. H., and Rajora, O. P. (2000). Indicators of population viability in red spruce, *Picea rubens*. I Reproductive traits and fecundity. *Can. J. Bot.*, 78, 928-940.

- Munsell Soil Color Charts. (1994). Munsell Soil Color Charts.
- Niembro, R. A. (1986). *Mecanismo de reproducción sexual en pinos*. Editorial Limusa.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1983). *Recolección, manipuleo, almacenaje y pre-tratamiento de las semillas de Prosopis en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1991). Capítulo 9. Ensayos de las semillas. En Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Passini, M. F., (1991). Pino piñonero: Ciclo reproductivo, Palinología y Biopalinología. En Sánchez R., Sáenz R. y Ledezma P. (Eds.), *Memorias del IV Simposio Nacional sobre pinos piñoneros*. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Patiño, V. F. (1973). Floración, fructificación y recolección de conos y aspectos sobre semillas de pinos mexicanos. *Bosques y Fauna*, 10(4), 20-30.
- Pérez, M., Lorenzo, D. y Delgado, M. (2013). Viabilidad de semillas de arroz provenientes de plantas obtenidas in vitro. *Acta Agronómica*, 62(2), 114-119.
- Pesendorfer, M.B., Scott, T., Koenig, W. D. y Morrison, S. A. (2016). Scatter-hoarding corvids as seed dispersers for oaks and pines: A review of a widely distributed mutualism and its utility to habitat restoration. *Ornithological Society*, 118, 215-237.
- Peterson, M. (2008). *Fusarium* species. A British Columbia perspective in forest seedling production. *USDA Forest Service Proceedings: RMRS-P-57*, 109 - 125.
- Quiroz, R. I. (2015). *Características reproductivas y estructura de poblaciones de Pinus pinceana Gordon en el Estado de Hidalgo* [Tesis de doctorado]. Colegio de Postgraduados.
- Quiroz, R. I., López, J., Cetina, V. M., Ángeles, G. (2017). Capacidad reproductiva de *Pinus pinceana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. *Agrociencia*, 51(1), 91-104.

- Ramírez, D., Alvarado, A., Ávila, C., Camacho, M.E., Fernández, J., Murillo, R., Salazar, L. y Sandí, C.L. (2018). Dinámica de la concentración y acumulación de nutrimentos en los componentes de la biomasa aérea de *Cedrela odorata* L. en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 42(1), 21-48.
- Ramírez, C., Beardmore, C. T. y Loo, J. (2008). Overcoming dormancy of *Pinus pinceana* seeds. *Seed Science and Technology*, 36(1), 1-20.
- Ramírez, C., Percy, K. E., Loo, J. A., Yeates, L. D. and Vargas, J. (2010). Genetic variation in needle epicuticular wax characteristics in *Pinus pinceana* seedlings. *Silvae Genetica*, 60, 210-215.
- Revueltas, S.E. (2016). *Mamíferos terrestres en la Sierra de Cardonal, Hidalgo* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez, D.A. (2021). *Semillas de Especies Forestales*. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
- Rodríguez, R., Razo, R., Juárez, J., Capulín, J. y Soto, R. (2012). Tamaño de cono y semilla en procedencias de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* establecidas en diferentes suelos. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(4), 289-298.
- Romero, A., García, E. y Passini, M. (1996). *Pinus cembroides* S. I. y *Pinus johannis* del Altiplano Mexicano: Una síntesis. *Acta Botánica Gallica*, 143 (7), 681-693.
- Sánchez Ávila, S. D. y Cetina Alcalá, V. M. (1989). Efecto de la temperatura en la velocidad y en el porcentaje de germinación en *P. cembroides* zucc. En Flores, J. D. Flores, Flores, J., García, E. y Lira, R. H. (Eds.), *III Simposio Nacional Sobre Pinos Piñoneros* (40-41). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2006). *Estudio y Proyecto del Cardonal-Arenalito-La Mesa-Cieneguillas- Los Lirios del Km 15+000 al Km 32+000, en el Estado de Hidalgo*. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (s.f.). Recuadro. Unidades principales de suelo en México.
- Secretaría de Medio Ambiente. (2020). Lista de precios de semillas forestales 2020. Secretaría de Medio Ambiente.

- Solano, B. M., y Brenes, C. D. (2012). Evaluación de métodos de curación de sustratos para la prevención del mal de talluelo. *Rev. For. Mesoam. Kurú*, 9 (22), 63-65.
- Sorensen, F. C. (1973). Frequency of seedlings from natural self-fertilization in Costal Douglas-fir. *Silvae Genetica* 22, 20-24.
- Storer, A. J., Gordon, T.R. and Clark, S.L. (1998). Association of the pitch canker fungus, *Fusarium subglutinans* f. sp. *pini*, with Monterey pine seeds and seedlings in California. *Plant Pathology*, 47, 649-656.
- Tomlinson, P. B. y T. Takaso. (2002). Seed cone structure in conifers in relation to development and pollination: a biological approach. *Canadian Journal of Botany*, 80, 1250-1273.
- Valencia, S. (2018). *Introducción a las embriofitas*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vallejo, G. E. (1997). *Asociación de variables dasonómicas a diferentes niveles de producción de conos en pino piñonero Pinus cembroides Zucc., en el sur de Nuevo León, México* [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Vander Wall, S. B. (1990). *Food Hoarding in Animals*. University of Chicago Press, Chicago, IL, USA.
- Vander Wall, S. B. and Balda, R. P. (1977). Coadaptations of the Clark's Nutcracker and the pinon pine for efficient seed harvest and dispersal. *Ecological Monographs* 47, 89 -111.
- Villarreal, J. A., Mares, O., Cornejo, E. y Capó, M. A. (2009). Estudio florístico de los piñonares de *Pinus pinceana* Gordon. *Acta botánica mexicana*, (89), 87-124.
- Wang, X. Q. y Ran, J. H. (2014). Evolution and biogeography of gymnosperms. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 75, 24-40.
- Willan, R. L. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales; con referencia especial a los trópicos. 20/2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Roma.
- Xiao-Quan, W. y Jin-Hua, R. (2014). Evolution and biogeography of gymnosperms. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 75, 24–40.