

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL



Índices de Madurez, Estimación de la Producción de Semillas e Indicadores Reproductivos
de Conos y Semillas de *Pinus johannis* M. F Robert en Salaverna, Zacatecas.

Por:

YOSELIN LIMA DURAN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Índices de Madurez, Estimación de la Producción de Semillas e Indicadores Reproductivos
de Conos y Semillas de *Pinus johannis* M. F Robert en Salaverna, Zacatecas.

Por:

YOSELIN LIMA DURAN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por el Comité de Asesoría


Dr. Celestino Flores López
Asesor Principal


Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor


Dra. Rosalinda Cervantes Martínez
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2024

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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

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

Pasante



Yoselin Lima Duran

El presente trabajo de tesis ha sido financiado y apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, con clave 38111-425103001-2173 Producción de semilla e indicadores reproductivos de Pináceas y Agaváceas del norte de México. Proyecto que está a cargo del Dr. Celestino Flores López Profesor-Investigador del Departamento Forestal.

DEDICATORIA

Con sincero amor y cariño a mis padres, Emilio Lima Taxis y Laura Duran Álvarez, por creer y confiar siempre en mí. Porque sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme. Por consentirme en todo momento, cuidarme y por darme la libertad de salir de casa para buscar nuevas oportunidades de aprendizaje y a pesar de la distancia siempre han estado al pendiente de mí. Este logro es con mucho cariño para ustedes, por todo su apoyo tanto económico como emocional.

A mi hermana Jaqueline Lima Duran, por ser mi confidente y mi mejor amiga, por su apoyo incondicional, sus buenos consejos e inclusive por sus regaños, por ser la mejor hermana mayor que la vida me pudo dar. Por brindarme de su tiempo aun en los momentos en que estaba ocupada. Por ser un gran ejemplo a seguir. Por cuidarme y nunca dejarme sola.

A Saul Romero, por estar conmigo en todo momento y aun a la distancia brindarme de su tiempo cada que lo necesito, por su amor y cariño que me da. Por motivarme, confiar y creer en mí. Por la paciencia que me tuvo en mis momentos de estrés que llegue a tener al elaborar este trabajo. Por los momentos que la vida nos está permitiendo compartir juntos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a la vida por haberme dado fuerzas en los momentos más adversos, por darme la valentía de salir de casa para lograr mis sueños. Por la familia tan bonita que me dio y por la persona que está conmigo en estos momentos.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme sus puertas y darme los conocimientos necesarios para ser un profesionalista en el ámbito forestal.

Al Dr. Celestino Flores Lopez, por aceptar ser mi asesor principal, por el apoyo y su paciencia en la realización de este trabajo, por exigirme en hacer las cosas bien. Por ser un gran profesor y por compartir sus grandes conocimientos y experiencias como profesionalista en el ámbito forestal.

A la Dra. Rosalinda Cervantes Martínez y al Ing. Sergio Braham Sabag, por su disposición en formar parte en la elaboración de tesis y por sus valiosos comentarios.

Al M.C. Diego Antonio Corona, laboratorista del departamento de suelos por brindarme apoyo en las dudas que me surgieron al elaborar el presente trabajo.

A mi amigo Samuel Fonseca, por apoyarme durante todo el trayecto de la carrera, por ser un buen amigo, por sus buenos consejos y ánimos que me dio en los momentos más difíciles de la carrera. Por la paciencia que tuvo para explicarme las dudas que me surgían en cada materia.

A José Morales, por brindarme de su tiempo en la colecta de mis muestras para la elaboración del presente trabajo, por todo el apoyo brindado durante mi estancia en la universidad, por su valiosa amistad, por sus buenos consejos, y por todas las anécdotas vividas y por vivir.

A todas aquellas personas y amigos que por el momento no vienen a mi mente, pero que formaron parte de mi etapa universitaria, brindándome consejos y ánimos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE CUADROS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos e hipótesis	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Descripción y aspectos ecológicos de <i>Pinus johannis</i>	4
2.2 Distribución, y aspectos ecológicos de la especie	4
2.3 Problemas en poblaciones pequeñas	5
2.4 Indicadores reproductivos	5
3 MATERIALES Y MÉTODOS	7
3.1 Descripción del área de estudio	7
3.1.1 Localización del área	7
3.1.2 Aspectos ecológicos	7
3.1.3 Selección de arbolado y colecta de conos	7
3.1.4 Índices de madurez de conos	8
3.1.5 Estimación de la producción de semillas con un corte transversal del cono	9
3.1.6 Indicadores reproductivos de conos y semillas	10
3.1.7 Variables de producción e indicadores reproductivos	12
3.1.8 Análisis estadístico	12
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
4.1 Índices de madurez de conos	14
4.2 Estimación de la producción de semillas por un corte transversal del cono	15
4.3.2 Comparación de Indicadores reproductivos de conos y semillas de la población Salaverna en dos periodos de colecta	21
5 CONCLUSIONES	25
6 RECOMENDACIONES	26
7 LITERATURA CITADA	27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de escamas de <i>Pinus johannis</i> , en el análisis de producción e indicadores reproductivos.....	13
Figura 2. Diagrama de dispersión entre gravedad específica y contenido de humedad de conos de <i>Pinus johannis</i> en la localidad de Salaverna, Zacatecas.	14
Figura 3. Diagrama de dispersión entre el número de semillas llenas en un corte transversal y el número de semillas llenas por cono de <i>Pinus johannis</i> en la localidad de Salaverna, Zacatecas.	15
Figura 4 Producción y perdida de semillas de <i>Pinus johannis</i> de las colectas 2012y 2022, Salaverna, Zacatecas	21

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Color y clave Munsell, Nombre común y Numeración de conos de <i>Pinus johannis</i> en la población de Salaverna, Zacatecas	17
Cuadro 2 Resultados de análisis de correlación en SAS, entre la gravedad específica y el número de color en conos de <i>Pinus johannis</i> en la población de Salaverna, Zacatecas.	18
Cuadro 3. Valor promedio, desviación estándar, mínimo y máximo de indicadores reproductivos de la colecta 2022 de la población de <i>Pinus johanniis</i> M. F Robert en Salaverna, Zacatecas	19
Cuadro 4. Comparación de potencial de semilla y eficiencia de semilla entre diferentes especies de pinos piñoneros.	19
Cuadro 5. Comparación de coeficiente de endogamia entre diferentes especies de piñoneros	20
Cuadro 6. Comparación de la eficiencia reproductiva en diferentes especies.	20
Cuadro 7 Comparación de medias de las colectas 2012 y 2022 de <i>Pinus johannis</i> , Salaverna, Zacatecas.	22

RESUMEN

Pinus johannis es una especie piñonera que crece en poblaciones pequeñas, se distribuye principalmente en los estados del norte del país y algunas poblaciones en el centro de país. Esta especie se encuentra enlistada en la categoría de protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Los objetivos de presente trabajo fueron evaluar el color, la humedad relativa, la gravedad específica y la producción de semillas llenas en un corte transversal de *Pinus johannis*, como criterios de evaluación de índices de madurez, de igual manera se estimó y comparo la producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus johannis* en dos épocas de colecta en la población de Salaverna, Zacatecas.

Para el análisis de índices de madurez se utilizaron 77 conos. La selección del arbolado se hizo en base a aquellos individuos con una producción superior a 15 conos, se seleccionaron treinta y un árboles distribuidos en la localidad de Salaverna, Zacatecas, dejando una distancia mínima de 10 metros. Se evaluó gravedad específica, contenido de humedad, producción de semillas llenas en un corte transversal y el color de cada cono, en cada una de las evaluaciones se utilizaron 77 conos de *Pinus johannis* de la población de Salaverna, Zacatecas. Entre la gravedad específica y el contenido de humedad no hubo relación. Mientras que en el número de semillas en un corte transversal si tuvo relación con respecto a la producción del cono. Y en cuanto al color del cono, se determinó que mientras los conos se van desarrollando y van adquiriendo más humedad, van aumentando de un color verde claro a uno más oscuro.

Para el análisis de indicadores reproductivos se colectaron 219 y 310 conos en los años 2012 y 2022 respectivamente. La base de datos que se utilizó para comparar los indicadores reproductivos de año 2022 fue parte de un proyecto de investigación del año 2012 de la población de Salaverna. Los indicadores reproductivos evaluados fueron: longitud y diámetro del cono, peso de cono seco, número de semillas llenas, vanas, desarrolladas y dañadas, óvulos abortados del primer y segundo año, potencial de semillas, coeficiente de endogamia y eficiencia de semilla. Para la comparación de los dos años de colecta 2012 y 2022. Se realizó en Statistical Analysis System (SAS en línea, 2023) una prueba de T-Test con el método de Satterthwaite.

Palabras clave: *Pinus johannis*, índices, madurez, indicador, selección, árboles.

ABSTRACT

Pinus johannis is a stone species that grows in small populations, it is mainly distributed in the northern states of the country and some populations in the center of the country. This species is listed in the special protection category in NOM-059-SEMARNAT-2010. The objectives of this work were to evaluate the color, relative humidity, specific gravity and production of full seeds in a cross-section of *Pinus johannis*, as criteria for evaluating maturity indices, in the same way the production of seeds and reproductive indicators of *Pinus johannis* in two collection seasons in the population of Salaverna, was estimated and compared. Zacatecas.

For the analysis of maturity indices, 77 cones were used. The selection of the trees was made based on those individuals with a production greater than 15 cones, thirty-one trees distributed in the town of Salaverna, Zacatecas, were selected, leaving a minimum distance of 10 meters. Specific gravity, moisture content, full seed production in a cross-section and the color of each cone were evaluated, in each of the evaluations 77 *Pinus johannis* cones from the population of Salaverna, Zacatecas were used. There was no relationship between specific gravity and moisture content. While in the number of seeds in a cross-section, it was related to the production of the cone. And as for the color of the cone, it was determined that as the cones develop and acquire more moisture, they increase from a light green color to a darker one.

For the analysis of reproductive indicators, 219 and 310 cones were collected in 2012 and 2022, respectively. The database that was used to compare the reproductive indicators of the year 2022 was part of a research project of the year 2012 of the population of Salaverna. The reproductive indicators evaluated were: length and diameter of the cone, dry cone weight, number of full, vain, developed and damaged seeds, aborted eggs in the first and second year, seed potential, inbreeding coefficient and seed efficiency. For the comparison of the two years of collection 2012 and 2022. A T-Test was performed in the Statistical Analysis System (SAS online, 2023) using the Satterthwaite method.

Keywords: *Pinus johannis*, indices, maturity, indicator, selection, trees.

1 INTRODUCCIÓN

En México se localiza el mayor número de especies del género *Pinus*. La cifra exacta aún sigue en controversia, de acuerdo con lo que han reportado diferentes autores, Perry (1991), reportó 54 especies del género *Pinus*, años después Farjon, Pérez de la Rosa y Styles (1997) reconocieron únicamente 43 especies del mismo género. Sin embargo, la cifra más actual es de alrededor de 46 especies (Rosas-Chavoya, Granados-Sánchez, Granados-Victorino y Esparza-Govea, 2016).

Los pinos tienen un papel muy importante en los ecosistemas de México, esto se debe a su gran importancia ecológica, pues estos funcionan como albergue para algunas especies de fauna y son el componente principal en la vegetación de diferentes ecosistemas (García y González, 2003; Ramírez-Herrera, Vargas-Hernández y López-Upton, 2005).

Los pinos en México se encuentran distribuidos en regiones tales como: Baja California Norte y Sur, Sierra Madre Occidental (Chihuahua, Durango, Jalisco, Nayarit, Sinaloa, Sonora y Zacatecas), Sierra Madre Oriental (Coahuila, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, y Tamaulipas), Faja Volcánica Transmexicana (Aguascalientes, Colima, Distrito Federal, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Veracruz) cabe resaltar que de acuerdo a estudios realizados se ha concluido que la Sierra Madre Occidental es la que alberga el mayor número de especies de pinos, siendo 32 la cifra exacta (Sánchez-Gonzales, 2008).

Los pinos piñoneros son de suma importancia en especial para las zonas áridas del país, pues estos tienen un papel muy importante para brindar trabajo a los pobladores locales, en este ámbito resalta también su gran valor económico, pues son la fuente principal en la producción de leña, resinas, semillas comestibles (aprovechamiento del piñón para consumo humano), muebles, etc. (Villarreal *et al.*, 2009).

Una de las especies representativas de los pinos piñoneros es *Pinus johannis* M-F. Robert-Passini, esta especie es endémica de México y se distribuye en estados del norte como lo son: Zacatecas, Nuevo León, Coahuila, San Luis Potosí. También se han localizado poblaciones de este pino en el centro del país, específicamente en el estado de Querétaro. *Pinus johannis* crece en altitudes que van de 2400 a 2800 msnm y con una precipitación promedio anual de 300 a 400 mm (Perry, 1991; García y Passini, 1993; Romero *et al.*, 2000). Esta especie se

encuentra en la categoría de protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

Los bosques conformados por *Pinus johannis* brindan diferentes beneficios tanto a la fauna como a la flora. Pues sus semillas son el alimento para la fauna que se encuentra en esas zonas, así como también con sus copas brindan sombra a especies herbáceas y algunos arbustos, lo cual les garantiza a estos que puedan sobrevivir y desarrollarse (Romero-Manzanares y García Moya, 2002).

Además de su hábitat natural de *Pinus johannis* también se encuentran algunos árboles de esta especie en ciudades, pues son utilizados como ornamentales donde las condiciones de precipitación sean bajas (Perry, 1991).

Pinus johannis crece en poblaciones pequeñas, las cuales están más susceptibles a tener problemas de endogamia, exogamia e inclusive también mutaciones las cuales influyen en que las especies ya no puedan seguir evolucionando, teniendo como resultado la extinción de la especie, por lo cual es de gran importancia el hacer estudios acerca de su distribución y diversidad genética, para que se propongan estrategias en el manejo sustentable de estas pequeñas poblaciones y así poder seguir conservando la especie a largo plazo (Frankham, Ballou and Briscoe, 2002).

La poca disponibilidad de polen y la endogamia son de los causantes principales en la escasa producción de semillas y en la gran cantidad de semillas vanas y abortivas (Flores *et al.*, 2005; Frankham, 1998). La depresión endogámica causa que las semillas desarrolladas puedan producir plántulas anormales (Sorensen y Miles, 1974; Ledig *et al.*, 1997; Mosseler, 1998 y Ledig *et al.*, 2000).

De acuerdo con Mosseler, una de las herramientas para evaluar la producción de semillas es la de indicadores reproductivos, en la cual también se evalúan características como lo son el tamaño del cono, número de semillas vanas y llenas por cono, óvulos abortados de uno y dos años, germinación de semillas y supervivencia (Mosseler *et al.*, 2000). Por tal motivo, el presente estudio estima los indicadores reproductivos de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

1.1 Objetivos e hipótesis

Objetivo general

Evaluar color, contenido de humedad, gravedad específica y la producción de semillas llenas en un corte transversal de *Pinus johannis*, como criterios de evaluación de índices de madurez para la población de Salaverna, Zacatecas.

Estimar los indicadores reproductivos en dos fechas de colectas de *Pinus johannis* en Salaverna, Zacatecas.

Hipótesis

Ho: No hay relación entre la gravedad específica, el contenido de humedad y el color de cono de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

Ha: Si hay relación entre la gravedad específica, el contenido de humedad y el color del cono de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

Ho: No hay relación entre el número total de semillas y semillas de un corte transversal del cono de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

Ha: Si hay relación entre el número total de semillas y semillas de un corte transversal del cono de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

H0: No hay diferencias entre los indicadores reproductivos de conos y semillas en dos fechas de colecta de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

H1: Si hay diferencias entre los indicadores reproductivos de conos y semillas en dos fechas de colecta de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción y aspectos ecológicos de *Pinus johannis*

Pinus johannis es una especie de porte arbustivo, su altura máxima que se ha encontrado ha sido de 4 metros de altura, sin embargo, su altura media es de 2 a 3 metros de altura. Su copa se caracteriza por ser redonda, baja y densa. La corteza de estos pinos cuando son jóvenes es de color gris, mientras que cuando estos ya son viejos su corteza se vuelve áspera y escamosa. Los fascículos se conforman por tres acículas, aunque ocasionalmente se han llegado a encontrar 2 o 4, estas tienen una longitud de 3 a 5 cm y un espesor de 0.9 a 1.2 mm de espesor. El cono es de forma oblonga y resinosa, tienen una longitud de 3 a 4 cm y de ancho es de 2 a 3 cm. La madera de *Pinus johannis* es de color marrón amarillento pálido y es de uso comercial, ya que es utilizada como combustible y sus semillas se utilizan como alimento, la parte comestible de los piñones puede ser de color rosa, amarillo, blanco o marfil en el caso de *Pinus johannis* sus piñones llegan a contener 48.2% de proteína, incluso más que lo que proporciona la nuez de castilla (Robert 1978; Fonseca, 2003). También por su característico follaje tiene un potencial para ser utilizado como ornamental (Perry, 1991). *Pinus johannis* se desarrolla en suelos pobres y pedregosos con climas templados subhúmedos y rara vez se han adaptado al clima semifrío húmedo (Barrera, 2007).

2.2 Distribución, y aspectos ecológicos de la especie

Pinus johannis fue descrito originalmente en los municipios de Concepción del Oro y Mazapil, estado de Zacatecas (Perry, 1991). La especie de *Pinus johannis* también se localiza en la Sierra Plegada de Coahuila y Nuevo León. En el estado de Nuevo León se encuentran tres poblaciones distribuidas y situadas de la siguiente manera, en el Ejido San Antonio La Osamenta abarcando una superficie de 400.274 ha, en la propiedad privada Mesa del Rosario con una superficie de 118.927 ha, en la comunidad de Laguna de Sánchez existen 305.453 ha. En el Ejido Mesa de las Tablas, situado en el municipio de Arteaga, Coahuila está situada solo una población de *Pinus johannis* con una superficie de 211.378 ha (Barrera, 2007). Recientemente, se han reportado pequeñas poblaciones en Aramberri, Nuevo León (Barrera, 2007).

2.3 Problemas en poblaciones pequeñas

Pinus johannis es una especie que crece en poblaciones pequeñas, es por esta razón que la especie se encuentra amenazada por factores que afectan su viabilidad (SEMARNAT, 2010). Se realizaron estudios en la región sur del estado de Coahuila en los cuales se determinó que la producción de conos y semillas en los piñoneros es afectada por un 97% debido a factores biológicos, fisiológicos y climáticos los cuales afectan a la calidad del pino y esto conlleva que el 94% de su semilla que se cosecha sea vana (Díaz, 1985; Flores y Díaz, 1987). En este estudio, *Pinus johannis* obtuvo una mortalidad de 81% en conos, lo que ocasiona que el arbolado tenga una baja producción de conos y semillas, lo cual tiene un impacto negativo en que se pueda desarrollar una regeneración natural. García *et al.* (2014) señalaron que *Pinus johannis* mostró en índices de fijación un déficit de individuos heterocigóticos, esto indica que en el cruzamiento entre individuos emparentados es común, generando complicaciones en la producción de semillas.

Existen registros de plagas y enfermedades que atacan a la especie en diferentes formas, algunos de los registros son de insectos defoliadores, carpófagos y barrenadores de yemas y brotes, en gran parte son *Conophthorus cembroides*, *Leptoglossus occidentalis*, *Eucosma bobana*, *Phyllophaga*, *Cecidomyia* (Flores *et al.* (s/f). Así también resaltan las acciones del hombre, como lo es la alteración en las zonas donde se encuentra la especie, que van desde la minería, tala inmoderada, recolección de piñones y el pastoreo. Dichos factores afectan a la humedad del ambiente, influyendo de manera negativa en el desarrollo de los individuos (Robert, 1978; Romero *et al.*, 2000).

2.4 Indicadores reproductivos

El número de semillas llenas y vanas por cono, óvulos abortados de uno y dos años por cono, así como otros criterios a evaluar, son aquellos que ayudan para deducir la capacidad reproductiva en los pinos. Estos sirven como indicadores reproductivos para dar seguimiento a estudios que tengan como finalidad el preservar especies que se encuentran en una situación de riesgo debido a que son pequeñas poblaciones (Mosseler *et al.*, 2000). Bramlett *et al.*, (1997) fueron quienes estudiaron y desarrollaron el método conocido como “análisis del cono” el cual tiene como propósito evaluar la productividad de semillas, el cual se determina cuando la semilla se encuentra en desarrollo, que es en esta fase en la que ocurren pérdidas y se identifican las fallas que tienen las semillas. Los autores definen a este proceso en

términos de eficiencia de semillas, en las cuales la relación que existe es de semillas llenas y el potencial biológico que tienen los conos para poder producir las y aquellas semillas desarrolladas, pero que están vanas, no tienen valor (Bramlett *et al.*, 1997).

Las semillas llenas tienen un tejido gametofito no dañado, un embrión que no esté afectado por hongos o insectos. Los óvulos abortados se refieren a aquellas semillas que mueren antes de concluir su formación, estos pueden ser abortados en dos fases. En el primer año, es durante la fase de conillo (antes de iniciar su crecimiento de su segunda temporada). En el segundo año, son abortados en la segunda temporada de su crecimiento y desarrollan una testa más pequeña que una semilla desarrollada. Los óvulos rudimentarios (no funcionales) son aquellos que sí se pueden transformar en una semilla, pero lo que los identifica es que tienen un pequeño y oscuro punto en la base del ala (Bramlett *et al.*, 1997).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Localización del área

El área de estudio se encuentra en la localidad de Salaverna, perteneciente al municipio de Mazapil, que se ubica al norte del estado de Zacatecas.

Este municipio se localiza en las coordenadas 23° 41' y 25° 04' de latitud norte y 102° 41' de longitud oeste. Su altitud es de 1300 y 3200 m. Colinda al norte con el estado de Coahuila de Zaragoza, al sur y este con el estado de San Luis Potosí (INEGI, 2010).

3.1.2 Aspectos ecológicos

Clima: De acuerdo a la clasificación de Köppen y modificación por parte de García E. (2004), Mazapil, Zacatecas tiene un clima semiárido templado (clasificación Köppen: BSkw) (García E. 2004). La temperatura media anual en este municipio es de 17° a 30°C, donde el mes con la mínima temperatura es enero con promedio de 3°C y el mes con promedio de temperaturas máximas es mayo con 30° (INEGI, 2010).

Su vegetación pertenece en mayor porcentaje al matorral xerófilo con un 95.28%. Estas comunidades están dominadas en su mayoría por arbustos de altura media de 4 metros. En la parte alta de Mazapil se encuentra especies de piñoneros como *Pinus johannis* y *Pinus cembroides*. También abundan familias y géneros adaptados a la sequía como lo son las leguminosas, cactáceas, pastos y mezquiales (INEGI, 2010). Edafología: suelo dominante de calcsisol, leptosol y regosol (INEGI, 2010).

3.1.3 Selección de arbolado y colecta de conos

La colecta de los conos se realizó el día 20 de agosto del año 2022. La selección se realizó en base de aquellos árboles con una producción superior a 15 conos (sin considerar diámetros y alturas de los árboles), se seleccionaron treinta y un árboles distribuidos en la localidad de Salaverna, Zacatecas, dejando una distancia mínima de 10 metros. Para la comparación de esta colecta se utilizó una base de datos del año 2012, la cual fue parte de un proyecto de investigación, dicha base está conformada por 219 conos de *Pinus johannis*, de la población de Salaverna Zacatecas.

3.1.4 Índices de madurez de conos

Para esta evaluación se utilizaron 77 conos colectados en la misma fecha y mismo lugar que los anteriores, se realizó el mismo proceso de separación, pero para su evaluación se utilizó el formato de “índices de madurez”, en el cual se registraron los siguientes datos: número de árbol, número de cono, largo del cono (mm), diámetro del cono (mm), peso cono verde (gr), peso cono seco (gr), peso en probeta (ml), volumen en probeta (ml), color de cono (este se identificó con ayuda de la aplicación de “Tablas Munsell Color Chart” (App. Munsell color chart2, 2022), número de semillas en corte transversal (CTNSLL), número de semillas por cono (NSLLC), número de semillas vanas, número de semillas dañadas y por último un apartado para poner observaciones tales como: cono cerrado o cono abierto.

Para determinar índices de madurez de los conos se calculó la gravedad específica a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Gravedad específica} = \frac{\text{peso del cono}}{\text{volumen del cono}}$$

También se determinó el contenido de humedad del cono a partir del peso verde y peso seco con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ humedad} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P1= Peso del cono verde

P2= Peso del cono seco

Para estimación la relación lineal entre la gravedad específica y el contenido de humedad se utilizó un modelo lineal con el siguiente modelo (Szretter, 2017):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$$

Donde:

β_0 = ordenada al origen

β_1 = pendiente

Y= variable dependiente o de respuesta

x= variable predictora o covariable

ε = término del error

Se corrió el modelo lineal en Statistical Analysis System (SAS en línea, 2023) con el procedimiento PROC REG, estimándose los coeficientes de regresión y los estimadores de ajuste, CME R2 y raíz del CME (Vinuesa, 2016).

Con respecto a la relación gravedad específica y color del cono, la gravedad específica se dividió en categorías de 9 (0.9), 8 (0.8), 7 (0.7), 6 (0.6) y 5 (0.5) de cada categoría se seleccionó el color de mayor frecuencia y se comparó con la gravedad específica. Cada color se identificó del verde más intenso al verde más claro, los cuales de acuerdo a su tonalidad se les asignó una numeración, dicha numeración se hizo en base a una lista de notaciones de colores Munsell (Munsell Color Company, s.f.), categorizándolos de la siguiente manera: verde amarillento fuerte (1), verde cadmio pálido (12), verde primavera (16), verde claro (17) y verde claro (17) (Cuadro 1) (Artistpigments.org., 2022). Para revisar su relación se utilizó el procedimiento de correlación de Pearson de SAS (SAS, 2023) PROC CORR.

3.1.5 Estimación de la producción de semillas con un corte transversal del cono

El procedimiento que se realizó fue tomar las medidas del cono con ayuda de un vernier: largo del cono (LC), diámetro del cono (DC), peso del cono verde (PCV), y volumen del cono (gr). Posteriormente con ayuda de un cúter se realizó un corte transversal a cada cono, una vez que ya estaba cortado el cono completamente se quitaron sus semillas. Después en un recipiente con agua se echaron las semillas y las que quedaban al fondo con ayuda de una coladera se sacaban del agua y se ponían en un pedazo de papel para que este absorbiera la humedad, luego se pasaron a una bolsa de hule que llevaba su clave que consistía en el número de árbol y número de cono.

Para estimación la relación lineal entre Total de semillas llenas del cono y semillas llenas de un corte transversal del cono se utilizó un modelo lineal con el siguiente modelo (Szretter, 2017): $Y = \beta_0 + \beta_1x + \varepsilon$

Donde:

β_0 = ordenada al origen

β_1 = pendiente

Y= variable dependiente o de respuesta

x= variable predictora o covariable

ε = término del error

Se corrió el modelo lineal en Statistical Analysis System (SAS en línea, 2023) con el procedimiento PROC REG, estimándose los coeficientes de regresión y los estimadores de ajuste, CME R2 y raíz del CME (Martínez Ortega, Tuya Pendás, Martínez Ortega, Pérez Abreu, y Canovas. 2009).

3.1.6 Indicadores reproductivos de conos y semillas

Se colectaron de forma aleatoria de 15 a 20 conos por cada árbol. Estos conos se colectaron de diferentes partes de la copa. En cada árbol de los cuales se colectaban los conos se registraban en una libreta de campo los siguientes datos: estado, municipio, fecha de colecta, número de árbol, altura y diámetro. Posteriormente, los conos que se colectaron se pusieron en bolsas de hule, estas se marcaron con plumón negro colocando la inicial del municipio y el número del árbol (ejem: S1, S2, S3, etc.)

Las muestras que se colectaron fueron transportadas al Laboratorio de ingeniería forestal del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro para realizar la separación de conos individualmente en bolsas de papel, las cuales también se marcaron con plumón negro y a cada bolsa se le asignó una clave para su identificación, dicha clave estaba compuesta por el número del árbol y el número de cono. Obteniendo así un total de trescientos diez conos para el análisis de indicadores reproductivos.

Una vez identificados los conos, de forma individual se fueron tomando y anotando las siguientes medidas tomadas por un vernier digital (graduado en milímetros): No. de árbol, número de cono, largo del cono (LC), diámetro del cono (DC) considerando la parte más

ancha de este y se finalizó tomando el peso de cono verde en gramos, esto con ayuda de una báscula digital.

Posteriormente, se empezaron a retirar las escamas del cono, las cuales se pusieron en bolsas de hule que llevaban clave de identificación con el número de árbol y número de cono. Las escamas se fueron clasificando en: escamas fértiles y escamas infértiles (Figura 1).

Con respecto a la clasificación de las semillas, esta se dividió en semillas llenas, semillas vanas, semillas intermedias y semillas dañadas (estas últimas no se consideraron para el siguiente paso). Para la separación de las semillas se utilizó un recipiente con alcohol etílico, en dicho recipiente se vaciaban las semillas de cada cono. Cuando las semillas se quedaban en el fondo del recipiente se consideraban semillas llenas, cuando las semillas flotaban se consideraban semillas vanas y por último las semillas que quedaban en medio del recipiente fueron identificadas como semillas vanas intermedias. De igual manera se identificaron óvulos abortados de primer y segundo año.

Una vez que se identificaban las semillas con ayuda de una coladera se sacaban del recipiente y se ponían en un pedazo de papel para que absorbiera la humedad para posteriormente pasarlas a otras bolsas de hule las cuales con un plumón negro se le ponía nuevamente el número del árbol, número de cono y se les agregó la clave considerando si era semilla vana (SV), semilla llena (SLL), semilla vana intermedia (SVI) y por último las semillas dañadas. Las semillas llenas se contaron y se pesaron en la báscula digital.

Al terminar de evaluar los conos se prosiguió con el paso de colocarlos en la estufa de secado a $105\text{ }^{\circ}\text{C} = 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, pasadas 24 horas se seleccionaron 5 conos de diferente árbol para tomar su peso una vez por día. Para obtener su peso estable solo se necesitaron dos días. Una vez que los conos lograron su peso seco estable, se continuó con los datos correspondientes del formato en el cual se registraban: el peso de cada cono en seco (g).

Los indicadores reproductivos de acuerdo con Mosseler *et al.* (2000) son:

- Peso seco del cono (gr)
- Número de semillas llenas por cono
- Eficiencia de semillas (%) ^z
- Potencial de semillas (escamas fértiles*2).

- Proporción de semillas llenas (semillas llenas/potencial de semillas).
- Proporción de semillas vanas (semillas vanas/potencial de semillas).
- Proporción de óvulos abortados (óvulos abortados/potencial de semillas).
- Proporción de óvulos rudimentarios (óvulos rudimentarios/potencial de semillas).
- Proporción de semillas dañadas por insectos, hongos o bacterias (semillas dañadas/potencial de semillas)
- Eficiencia reproductiva (Peso de semilla mg/peso de cono seco g.)
- Peso de 1000 semillas llenas (g)
- Longitud del cono (cm)
- Diámetro del cono (cm)
- Volumen del cono (cm³)
- Número de escamas fértiles
- índice de endogamia (semillas vanas/semillas desarrolladas).
- ^zTotal de semillas llenas / Potencial de semillas x 100

3.1.7 Variables de producción e indicadores reproductivos

Para describir la población 2022 se determinaron las siguientes variables: la longitud y diámetro del cono, peso de cono seco, semillas llenas, semillas vanas, semillas desarrolladas y semillas dañadas, óvulos abortados del primer y segundo año, potencial de semillas, coeficiente de endogamia, eficiencia de semilla y la proporción de dichos indicadores.

Para la comparación entre los dos años de colecta, 2012 y 2022, se utilizaron las variables en promedio de longitud de cono, la proporción de óvulos abortados del primer y segundo año, proporción de semillas vanas y semillas llenas y el índice de endogamia.

3.1.8 Análisis estadístico

Los datos de las variables que se utilizaron para describir la población 2022 se capturaron en Microsoft Excel, en el cual se calcularon los valores de promedio, desviación estándar, valor mínimo y máximo. Para el análisis de la comparación de las dos colectas, 2012 y 2022, se calcularon únicamente el promedio de las variables antes mencionadas.

Para la comparación de los dos años de colecta 2012 y 2022. Se realizó en Statistical Analysis System (SAS en línea, 2023) una prueba de T-Test con el método de Satterthwaite, para calcular y analizar si existen diferencias significativas entre las medias de los dos años de

colecta. Dicho método se utiliza cuando los tamaños de muestra son desiguales, tal es el caso del presente estudio, donde los tamaños de muestras de ambas colectas son diferentes, la colecta 2012 con 23 datos y la colecta 2022 (estudio actual) con 31 datos, este método también se utiliza cuando no se está muy seguro de la igualdad de las varianzas (Villa, 2014).



Figura 1. Clasificación de escamas de *Pinus johannis*, en el análisis de producción e indicadores reproductivos. Dónde: EB= escama basal, ET= escama terminal, EI1S1OA= escama intermedia con una semilla desarrollada y un óvulo abortado del segundo año, EI2S= escama intermedia con dos semillas desarrolladas, EI1SOA= escama intermedia con una semilla desarrollada sin óvulo abortado, EI1OA1= escama intermedia con un óvulo abortado de primer año, EI2OA= escama intermedia con dos óvulos abortados.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Índices de madurez de conos

Gravedad específica y contenido de humedad

De acuerdo con el análisis de regresión el modelo no fue significativo, indicando que no hay relación para esta localidad de Salaverna de *Pinus johannis* entre gravedad específica y contenido de humedad, en la Figura 2 se presenta el diagrama de dispersión.

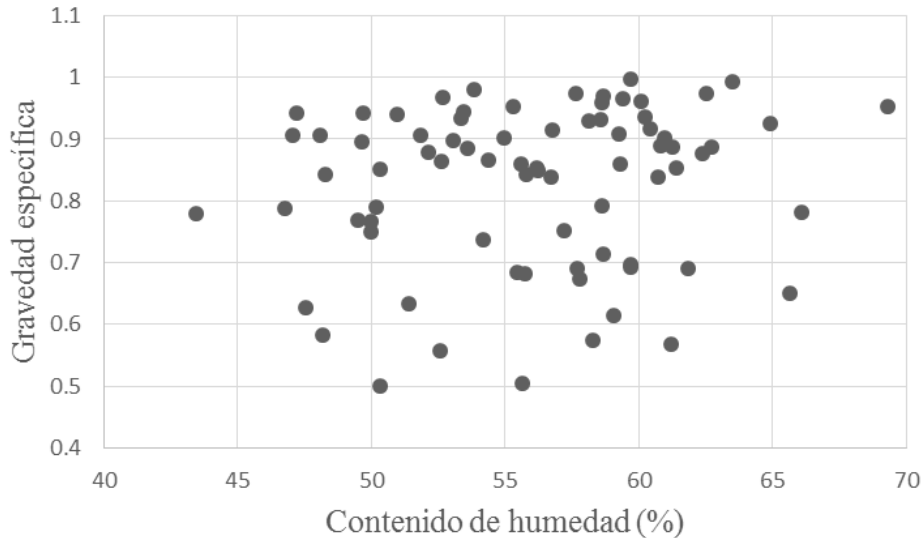


Figura 2. Diagrama de dispersión entre gravedad específica y contenido de humedad de conos de *Pinus johannis* en la localidad de Salaverna, Zacatecas.

Considerando a P. Barnett (1971) quien realizó un estudio de “Maduración de conos y semillas de Pinos del sur” en el cual trabajo con conos *Pinus taeda*, *Pinus palustris* y *Pinus elliotii*, en dicho estudio tuvo como resultado que la gravedad específica de las 4 especies se mantuvo entre 0.89 y 0.99 cuando su contenido de humedad era de 110-140%, con dichos resultados concluyo que si existe una relación significativa entre la gravedad específica y el contenido de humedad, siempre y cuando su contenido de humedad sea estable de igual manera indica que otro factor considerable es que los pinos con los que trabajo fueron seleccionados por sus grandes cosechas de semillas (P. Barnett, 1971). Sin embargo, considerando a Willan (1991), quien explica que dado a que los conos y semillas al ser materiales higroscópicos, una vez que se cortan del árbol, pierden o ganan humedad cediéndola a la atmosfera o tomándola de ella hasta que su contenido de humedad alcanza un punto de equilibrio, con la humedad y temperatura del aire. Por esta razón, cuando los conos

se cortan, su humedad ya no se mantiene constante y por ende las semillas volverán a perder o ganar humedad. Cuando las semillas húmedas se exponen al aire seco pierden humedad y por lo tanto peso, mientras que las semillas secas rodeadas por aire húmedo gana ambas cosas, es por ello que los conos al ser cortados del árbol cambian su peso, dependiendo de la humedad de sus semillas vanas y llenas (Willan, 1991). Tomando en cuenta al autor antes mencionado se explica por qué en la Figura 2 no hubo relación entre la gravedad específica y el contenido de humedad, esto se debe a que cuando se colectaron los conos de *Pinus johannis* tenían más contenido de humedad, por ende tenían más peso, tomando en cuenta que los conos con semillas llenas pesaron más y mantuvieron su peso a diferencia de los conos con semillas vanas los cuales perdieron peso, es por ello que no mantuvieron su contenido de humedad estable y por ende no hubo una relación significativa con la gravedad específica.

4.2 Estimación de la producción de semillas por un corte transversal del cono

De acuerdo con el análisis de regresión, el modelo si fue significativo, indicando que aunque el valor fue de 0.46, si hay relación para esta localidad de Salaverna de *Pinus johannis* entre el número de semillas llenas en un corte transversal y el número de semillas llenas por cono.

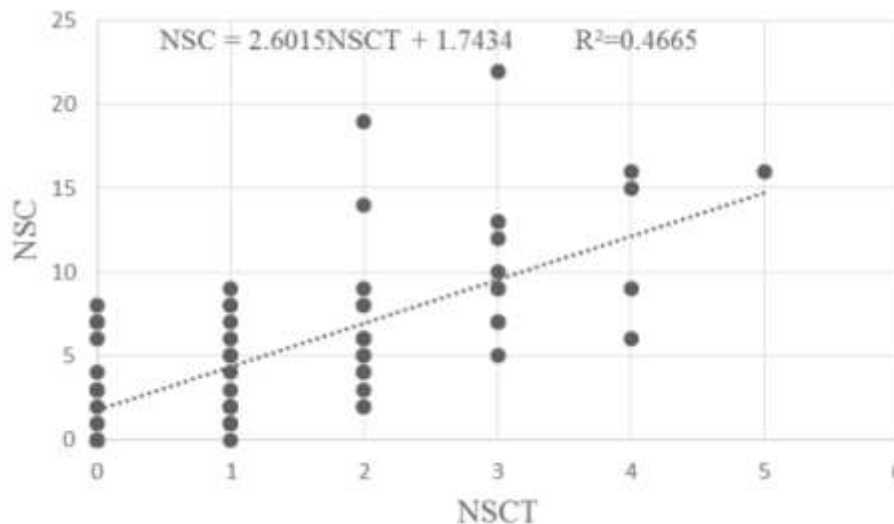


Figura 3. Diagrama de dispersión entre el número de semillas llenas en un corte transversal y el número de semillas llenas por cono de *Pinus johannis* en la localidad de Salaverna, Zacatecas. Dónde: NSC (eje y)= número de semillas por cono. NSCT (eje x)= número de semillas en un corte transversal.

Considerando a los autores Albricht y J. Birzins (1980) quienes de acuerdo a un estudio que realizaron, obtuvieron como resultado que si existe una relación lineal del 0.69 entre el recuento de la mitad y el recuento total de semillas llenas de cada cono, dicha información es útil para los planificadores de la recolección de conos (Albricht y J. Birzins, 1980). Listo L. (1983) también realizó un estudio de semillas llenas en un corte longitudinal y semillas llenas en cada cono, obteniendo de igual manera un resultado de que si existe una fuerte relación entre ambas variables, el resultado de relación es de 0.88, esto igual se debe a que su tamaño de muestra fue más grande y por ende obtuvo más datos para hacer su relación (Listo L, 1983). Con dicha información se explica que, si existe una relación entre el número de semillas llenas en un corte longitudinal y semillas llenas por cono como se muestra en la figura 3, con esta información también se puede predecir la producción de conos, donde a pesar de que su relación fue de 0.46 si fue significativa.

Gravedad específica y color del cono

De acuerdo con el análisis de correlación entre gravedad específica y la numeración del color, se obtuvo una correlación altamente significativa con valor de 1, es decir que, a medida que aumenta el valor de gravedad específica aumenta el color del verde más claro al verde más oscuro, para los conos de *Pinus johannis*, en la población de Salaverna, Zacatecas (cuadro 2).

Owens (1973) indica que los estróbilos de *Pseudotsuga menziesii* comienzan a madurar en el mes de agosto con una reducción de peso al perder humedad, y cambian lentamente de un color verde oscuro a un verde más claro. Considerando a Allen y Owens (1972), el color del cono en *Pseudotsuga menziesii* es un indicador práctico en el campo y señala que cuando el color del cono es un verde más oscuro es porque su semilla está completamente desarrollada y en condiciones de ser colectada. Por ende, cuando su semilla ya está desarrollada, su humedad relativa es estable y existe una relación con la gravedad específica (Allen y Owens, 1972). Tomando en cuenta a los autores antes mencionados se explica por qué en el cuadro 2, si existe correlación significativa de 0.7718 entre la gravedad específica y la numeración del cono, pues cuando los conos tienen un color verde más oscuro es porque sus semillas ya están desarrolladas y a medida que los conos se van desarrollando van adquiriendo más humedad y por ende hay una relación con la gravedad específica y el color

del cono. También va aumentando de un color verde claro a un verde más oscuro. Martínez, López, Vargas, Jasso y Guerra (2007) realizaron un estudio de indicadores de maduración en conos de *Pseudotsuga menziessii* en el cual indican que el color del cono es un gran criterio de evaluación para la maduración de conos.

En comparación con un estudio realizado con *Pinus maximartinezii*, en el cual también utilizaron el color del cono como un índice de maduración, el color se determinó con la tabla Munsell, obteniendo como resultado que cuando se colectaron los conos su clave Munsell era de 7.5GY (Cruz, 2012), la cual es similar a la clave que se obtuvo cuando se determinó el color de la colecta de *Pinus johannis* (2022) (cuadro 1), dicha colecta también se realizó cuando los conos ya estaban maduros.

Color Munsell	Clave Munsell	Nombre común	Numeración
	7.5GY/5/10	Verde amarillento fuerte	1
	7.5GY/7/10	Verde cadmio pálido	12
	7.5GY/8/10	Verde primavera	16
	7.5GY/8/8	Verde claro	17
	7.5GY/8/8	Verde claro	17

Cuadro 1 Color Munsell, Clave Munsell, Nombre común y Numeración de conos de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas

Coeficientes de correlación Pearson		
	Gravedad Especifica	Número de Color
Gravedad Específica	1	0.7718* <.0001
N	63	61
Número de Color	0.7718* <.0001	1
N	61	61

Cuadro 2 Resultados de análisis de correlación en SAS, entre la gravedad específica y el número de color en conos de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.

Dónde: N= número de observaciones, <.0001= indica que el nivel de confianza es bueno y *correlación positiva fuerte.

Dado que el resultado de correlación de Pearson es de 0.7718, el cual de acuerdo a “los valores del coeficiente de correlación de Pearson” establecidos por Hernández *et al.*, (2014) este valor es considerado como una correlación positiva fuerte.

4.3 Indicadores reproductivos de conos y semillas

4.3.1 Indicadores reproductivos de conos y semillas de la población Salaverna

El valor del potencial de semillas que se encontró en la población de *Pinus johannis* (colecta 2022) fue de 21.51 (cuadro 3) el cual es similar a otros valores de potencial de semillas de pinos piñoneros como *Pinus cembroides*, *Pinus orizabensis*, los cuales tienen un promedio de potencial de semilla de 19 y 23.1 (López, 2005; Hernández, 2016). A diferencia del potencial de semilla con otros piñoneros como lo son *Pinus maximartinezii* y *Pinus greggi Engelm* que sus valores son más altos (cuadro 4). Las diferencias que existen entre el potencial de semillas, se deben a que existen diferentes años semilleros entre poblaciones de la misma especie (Bramlett *et al.*, 1977; Prieto y Martínez, 1993; Plancarte, 1990; Flores *et al.*, 2005; López, 2005). Otra diferencia significativa es el factor ambiental, pues las coníferas que se localizan en zonas áridas, que es donde hay poca humedad, tienden a tener un potencial de semillas más bajo a comparación de las coníferas que se encuentran en mejores condiciones como lo es *Pinus maximartinezii*, el cual tiene un potencial de semilla más alto (cuadro 4). Es decir, las condiciones de humedad pueden hacer que se tenga una mayor producción de semillas (Flores-López *et al.*, 2012).

Cuadro 3. Valor promedio, desviación estándar, mínimo y máximo de indicadores reproductivos de la colecta 2022 de la población de *Pinus johanniis* M. F Robert en Salaverna, Zacatecas

	LC (mm)	DC (mm)	PCS (g)	OA1	OA2	SV	SLL	SDIHB	SD	PS	CEND	EF	ER
Estadísticos													
\bar{x}	32.30	26.70	2.92	1.04	0.37	9.64	1.63	0.67	12.07	21.51	0.77	10.75	0.10
σ	6.89	4.79	1.15	1.38	0.93	6.67	3.06	1.69	6.99	9.42	0.29	4.71	0.18
Min	17.07	15.08	1.20	0.00	0	0	0	0	2	4	0	2	0
Max	58.6	42	8.8500	9	7	32	18	12	42	58	1	29	1

\bar{x} = Valor promedio, σ = desviación estándar, Min= valor mínimo, Max= valor máximo, LC= Longitud del cono (mm), DC= diámetro del cono (mm), PCS= peso del cono seco (g), OA1= óvulos abortados en el primer año, OA2= óvulos abortados en el segundo año, SV= semillas vanas, SLL= semillas llenas, SDIHB= semillas dañadas por insectos, hongos y/o bacterias, SD= semillas desarrolladas, PS= potencial de semillas, CEND= Coeficiente de endogamia(%), EF= escamas fértiles y ER= eficiencia reproductiva.

Pinus johannis se encuentra en poblaciones pequeñas y aisladas, por ende está expuesto a tener problemas genéticos, como lo es la endogamia, debido a este problema, la eficiencia de semillas puede ser relativa, por factores de escasas de polen, a diferencia de las poblaciones grandes, en las cuales existe más polen (Mosseler *et al.*, 2000; Flores, 2005).

La eficiencia de semillas y el potencial de semilla, son considerados unos buenos indicadores de viabilidad reproductiva, así como también proporcionan información acerca de las condiciones genéticas en las que se encuentran las poblaciones (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000).

Cuadro 4. Comparación de potencial de semilla y eficiencia de semilla entre diferentes especies de pinos piñoneros.

Especie	Potencial de semilla	Eficiencia de semilla %	Cita
<i>Pinus johannis</i>	21.51	7	Estudio actual
<i>Pinus culminicola</i>	14 (7 a 25)	0	Pérez 2014
<i>Pinus cembroides</i>	19	40.6	Hernández (2016)
<i>Pinus johannis</i>	25 (18 a 25) ¶ ‡	8 (4 a 12)	López (2005)
<i>Pinus johannis</i>	41 (34 a 48) ¶ ‡	19% (16 a 22%) ¶ ‡	Villa (2010)
<i>Pinus piniceana</i>	50 (44 a 66) ¶	7 (2 a 13)¶	Hernández (2006)

¶ Estudios realizados en distintas poblaciones. ‡ Estudios realizados en diferentes años de colecta.

Cuadro 5. Comparación de coeficiente de endogamia entre diferentes especies de piñoneros

Especie	Coeficiente de endogamia	Cita
<i>Pinus johannis</i>	0.77	Estudio actual
<i>Pinus johannis</i>	0.33¶	villa 2010
	0.18¶	
<i>Pinus maximartinezii</i>	0.18	Cruz-Hernández (2012)
<i>Pinus remota</i>	0.74	Maya (2020)

¶ Estudios realizados en distintas poblaciones

Cuando el coeficiente de endogamia es alto, trae como consecuencias el tener un aumento en el porcentaje de semillas vanas (Mosseler *et al.*, 2000). En el caso de la población de *Pinus johannis* (2022) el coeficiente de endogamia fue de 0.77, el cual fue similar a otro valor de coeficiente de endogamia de *Pinus remota*, con un coeficiente de 0.74 (Cuadro 5), el cual indica que es un alto valor de endogamia y por ende provoca que la población tenga problemas reproductivos. Cabe resaltar que *Pinus johannis* al crecer en poblaciones pequeñas es más susceptible a tener problemas de endogamia (Frankham, Ballou and Briscoe, 2002).

Sin embargo, no en todas las poblaciones pequeñas existen altos niveles de endogamia, como es el caso de *Pinus johannis* (colecta, 2010) y *Pinus maximartinezii*, que su coeficiente es bajo, ya que en su colecta sobresale en mayor proporción el número de semillas llenas.

Cuadro 6. Comparación de la eficiencia reproductiva en diferentes especies.

Especie	Eficiencia reproductiva	Cita
<i>Pinus johannis</i>	10	Estudio actual
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	88.15	Cruz (2012)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	23.7	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus leiophylla</i> Schlttl	2.49	Morales-Velázquez <i>et al.</i> (2010)
<i>Pinus pseudostrobus</i>	13	Aragón (2019)
<i>Pinus patula</i>	46.4	Rodríguez <i>et al.</i> (2024)

La eficiencia reproductiva en la producción de semillas es una variable importante de evaluar, ya que permite determinar tanto la calidad como la cantidad de semillas en una cosecha de

conos (Martínez *et al.*, 2020), también es de gran utilidad en el seguimiento de la producción de semillas (Mendoza-Hernández *et al.*, 2018). La eficiencia reproductiva es un gran indicador para evaluar el estatus reproductivo de los árboles que pertenecen a poblaciones pequeñas, las cuales se encuentran en peligro, este indicador también se puede usar para hacer inferencias acerca del estatus genético de poblaciones con problemas de endogamia (Mosseler *et al.*, 2000).

En el presente estudio la eficiencia reproductiva fue de 10%, que es relativamente baja y es similar con otras especies de pinos como lo es *Pinus leiophylla* y *Pinus pseudostrobus* (cuadro 6). En contraste con otras especies como *Pinus maximartinezii* y *Pinus Patula*, cuyos valores son comparativamente más altos, esto se debe a que existe una correlación entre el tamaño del cono y el peso de semillas, lo cual indica que los árboles con mayor tamaño de cono producen mayor cantidad de semillas (Flores-López *et al.*, 2005).

4.3.2 Comparación de Indicadores reproductivos de conos y semillas de la población Salaverna en dos periodos de colecta.

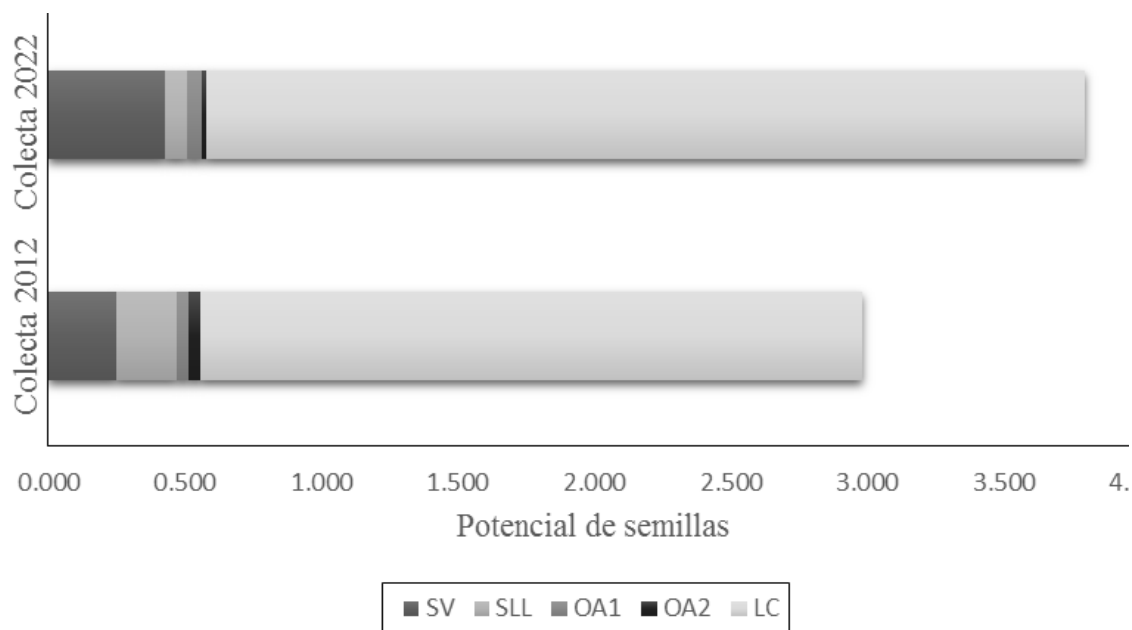


Figura 4 Producción y pérdida de semillas de *Pinus johannis* de las colectas 2012 y 2022, Salaverna, Zacatecas

Cuadro 7 Comparación de medias de las colectas 2012 y 2022 de *Pinus johannis*, Salaverna, Zacatecas.

Año de colecta		SV	SLL	OA1	OA2	LC	PS
2012	Media	0.249b	0.223a	0.041	0.042a	2.427b	8.857b
2022	Media	0.429a	0.081b	0.049	0.016b	3.221a	21.535a

SV= número de semillas vanas, SLL= número de semillas llenas, OA1= número de óvulos abortados del primer año, OA2= óvulos abortados del segundo año, LC= longitud del cono, PS= potencial de semillas. La diferencia significativa es en base a la prueba de T para variables continuas (Método de Satterthwaite) con un valor de significancia de $p \leq 0.005$. Valores sin letras indica que no hay diferencia significativa. a= valor menor y b=valor mayor.

Para el indicador reproductivo de SV= Semillas vanas (cuadro 7), la colecta del 2012 presento un promedio de 0.249, a diferencia de la colecta 2022 que tuvo un promedio de 0.429, por lo tanto en comparación con las medias de acuerdo a la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite demostró que si hay un diferencia significativa ($p \leq 0.05$). Como resultado, los valores obtenidos en el presente indicador son mayores en comparación a otro piñonero como *Pinus culminicola*, el cual de acuerdo a un estudio realizado por Tolentino (2023), en donde el promedio de dos poblaciones *Pinus culminicola* no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), dado que para la primer población obtuvo un promedio de 0.093 y de 0.094 para la otra población.

En el indicador reproductivo de SLL= semillas llenas (cuadro 7), la colecta del 2012 presento un promedio de 0.223, mientras que en la colecta del año 2022 tuvo un promedio de 0.081, de acuerdo a la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite demostró que si hay una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas colectas, por lo tanto, los valores obtenidos son relativamente bajos en comparación con un estudio realizado por Quiroz *et al.*, (2017), en el cual, a pesar de que sus valores son más altos el promedio en tres años de colecta de *Pinus pincenana* fue disminuyendo de 0.54, 0.41 y 0.37, en este estudio disminuyo la producción de conos y por ende redujo el valor de las características reproductivas, entre ellos la menor cantidad de semillas llenas, dicho desbalance está relacionado a la variación natural entre los años de alta o escasa producción y la diferencia entre árboles que producen más o menor

cantidad de conos, ya que a pesar de que esta población de piñoneros es pequeña, no se presentaron efectos de endogamia.

En el caso del indicador reproductivo de OA1= óvulos abortados del primer año y OA2= óvulos abortados del segundo año. En los óvulos abortados del primer año, no fue tan notable la diferencia de los valores en ambas colectas, ya que en la primera colecta el promedio obtenido fue de 0.041 siendo este un poco más bajo que el valor de la segunda colecta, donde se obtuvo un promedio de 0.049, por lo tanto, en comparación con las medias para ambas colectas se demostró que no presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$), esto con respecto a la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite. Mientras que en los óvulos abortados del segundo año, si se encontró diferencia en la comparación con ambas colectas, por lo cual en la primera colecta se obtuvo un promedio de 0.042, siendo este un valor más alto al de la segunda colecta con un promedio de 0.016, por consiguiente en la comparación de medias se demostró que las dos colectas son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). Dichos resultados obtenidos, son muy bajos en comparación con un estudio realizado por Capilla-Dinorin *et al.* (2021), en el cual obtuvo un valor de óvulos abortados de 16.5 en *Pinus chiapensis*. La alta cantidad de óvulos abortados, tiene que ver en gran parte a la falta de polen que existe en las poblaciones pequeñas de algunas especies, como lo es *Pinus johannis* (Bramlett *et al.*, 1997).

A continuación el indicador reproductivo de IE= índice de endogamia (cuadro 7), donde la primera colecta presento un promedio de 0.514 a diferencia de la segunda colecta, la cual tuvo un promedio más alto a de 0.772, que en comparación con las medias de acuerdo a la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite demostró que si hay una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas colectas. Dichos resultados, en comparación con un estudio realizado por Mendoza *et al.*, (2018), *Pinus patula* tuvo un valor de 0.22, siendo este resultado más bajo a los resultados obtenidos en el presente estudio de *Pinus johannis*.

Para el indicador reproductivo de LC= longitud del cono (cuadro 7), la primera colecta tuvo un promedio de 2.427, el cual es menor en comparación a la segunda que presento un promedio de 3.221, los cuales en comparación con las medias de acuerdo a la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite, demostró que sí existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre ambas colectas. Comparando este resultado con una especie la cual no pertenece al grupo de los piñoneros. En un estudio realizado por Capilla-Dinorin *et al.* (2021),

Pinus chiapensis tuvo un valor de 83.7 para dicho indicador, siendo este un valor mucho más alto en comparación con los resultados de *Pinus johannis* en el presente estudio.

Por último, el indicador de PS= potencial de semillas (cuadro 7), el cual en la primera colecta tuvo un promedio de 8.857, el cual es menor a diferencia del valor obtenido en la segunda colecta el cual tuvo un promedio de 21.535, en dichos valores es muy notable la diferencia. De igual manera, realizando la prueba de T-Test con el método de Satterthwaite, demostró que sí existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los promedios de ambas colectas. En comparación con otro estudio realizado por Corona (2015) en *Pinus johannis* tuvo un valor de 16 para este indicador. Lo cual indica el resultado del presente estudio de la colecta 2022 de *Pinus johannis* es mayor en comparación con los valores obtenidos en otros estudios.

5 CONCLUSIONES

1. El modelo de regresión lineal para gravedad específica y contenido de humedad no fue significativo, ya que los conos con semillas llenas mantuvieron su peso, a diferencia de los conos con semillas vanas, que perdieron peso, por ende, no hubo un contenido de humedad estable.
2. Si existe una relación entre el número de semillas llenas en un corte transversal con el número de semillas llenas por cono, dicha información es útil para predecir la producción de conos.
3. A medida que los conos se van desarrollando van adquiriendo más humedad y por ende su semilla ya está completamente desarrollada y están listos para ser colectados, de igual manera su color va aumentando de un verde más claro a un verde más oscuro.
4. De acuerdo a lo observado, se determina que si hay diferencias entre los indicadores reproductivos de conos y semillas en dos fechas de colecta de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas, por lo cual, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.
5. Los óvulos abortados del primer año fue el único indicador reproductivo que no presentó diferencia entre las dos colectas de *Pinus johannis* en Salaverna, Zacatecas.
6. Los indicadores reproductivos que sí presentaron diferencias significativas entre las dos colectas, fue en las semillas llenas, semillas vanas, óvulos abortados del segundo año, longitud del cono y potencial de semillas.

6 RECOMENDACIONES

1. Continuar con el monitoreo de *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas, con un tamaño de muestra más grande (mayor a 31 árboles) para poder tener más datos y obtener un mejor resultado en los análisis de regresión.
2. Hacer estudios relacionados con la identificación de color de conos en diferentes especies de pinos.
3. Identificar cuáles son las principales problemáticas que están afectando a la poca producción de semillas llenas en *Pinus johannis* en la población de Salaverna, Zacatecas.
4. complementar los estudios de indicadores reproductivos para determinar el porcentaje de plántulas anormales.

7 LITERATURA CITADA

- Albricht Maarten y J. Birzins P. 1980. Relación entre las semillas llenas por medio corte y las semillas llenas por cono en el abeto de interior1. Estación de investigación de Vernon, Vernon. 1 p.
- Alba Landa, J., Márquez Ramírez, J., y Bárcenas Cortina, H. S. 2005. Potencial de producción de semillas de *Pinus greggi* Engelm. En tres cosechas de una población ubicada en Carrizal Chico, Zacualpan Veracruz, México. Forestal Veracruzana, 7(2): 37-40.
- Allen G S, J N Owens (1972) The Life History of Douglas-fir. Forest Service Environment Canada. Ottawa, Canada. 139 p.
- Artistpigments.org. 2022. Explore Munsell colors. [En línea, versión 4.0] Disponible en: https://artistpigments.org/experiments/munsell_page?hue=7.5PB&v=8&c=6&mediums=all&hs=2.5&vs=1&cs=2
- Aragón P. R. D. 2019. Eficiencia reproductiva y calidad de progenie de *Pinus pseudostrobus* Lindl. var. oaxacana en Oaxaca. Tesis profesional. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Xoxocotlán, Oaxaca. 85 pág.
- Barrera A., J. D. 2007. Aspectos ecológicos de poblaciones de *Pinus johannis* M. –F. Robert en la sierra plegada de Coahuila y Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 45p.
- Barnett, James P. 1976. Maduración de conos y semillas de pinos del sur. Sur. Para. Exp. Stn., Nueva Orleans, La. 11 p. (USDA Forest Service Research Paper. SO-122)
- Bramlett, D. L., E.W. Belcher Jr., G.L. DeBarr., G.D. Hertel., R.P. Karrfait., C.W. Lantz., T. Miller., K.D. Ware., and H.O. III Yates. 1997. Cone analysis of southern pines: a guidebook. General Technical Report. SE-13. USDA- Forest service. Southeastern Forest Experiment Station. Asheville, North Carolina. USA. 28 p.
- Capilla-Dinorin, E., J. López-Upton, M. Jiménez-Casas y V. Rebolledo-Camacho. 2021. Características reproductivas y calidad de semilla en poblaciones fragmentadas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen. Revista Fitotecnia Mexicana, 44 (2):211-219.

- Corona-Mora, D. L. 2015. Producción e indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus johannis* M.-F. Robert en cuatro periodos de colecta, en poblaciones naturales del noreste de México. Tesis profesional ingeniero forestal. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 55 pág.
- Cruz-Hernández, A. 2012. Producción de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Juchipila, Zacatecas. Tesis profesional U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 48 p.
- Farjon, A., J. A. Pérez de la Rosa, y B. T. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew e Instituto Forestal de Oxford, Universidad de Oxford. Oxford, UK. 151 pág.
- Frankham, R., J. D. Ballou, and D. A. Briscoe. 2002. Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 617 p.
- Frankham, R. 1998. «Inbreeding and Extinction: Island Populations», Conservation Biology (EE.UU.) 12 (3): 665-675.
- Fonseca J, R. M. 2003. De piñas y piñones. Ciencias. 69: 64-65.
- Flores- López C., G. Geada-López, J. López-Upton y E. López-Ramírez. 2012. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T.F. Patterson. Baracoa 31(2):49-58.
- Flores López C., López Upton J., Vargas Hernández J. J. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea Mexicana* Martinez, Agrociencia (MX) 39:117-126 pág.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1>
- García A., A., y M.-F Passini. 1993. Distribución y ecología de *Pinus johannis* M.-F. Robert. Phytologia 74: 125-127.
- García A., A. y M. S. Gonzales. 2003. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A. C. Comisión Nacional Forestal México. 187 pág.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. (6^a ed.). México: Mc Graw Hill, 632 pag. Disponible en: <https://www.esup.edu.pe/wp->

- content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-
Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf
- Hernández, S. P. 2006. Producción e indicadores de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana*. Tesis de licenciatura. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 38 p.
- Hernández-Anguiano, L. A. 2016. Variación en indicadores reproductivos, semillas y plántulas de *Pinus cembroides* Zucc y *P. orizabensis* DK Bailey y Hawksw. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 80 p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2010. Compendio de información, Mazapil, Zacatecas. INEGI México. 11 pág.
- Listo L. K. 1986. Relación entre el rendimiento de semillas llenas y las libras de semillas limpias por fanega de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ej. Leyes.) Conos en el suroeste. Tree Planter's Notes, vol. 37, 2 p.
- López C., Y. 2005. Producción y viabilidad de semillas de *Pinus johannis* M. F. Robert en dos poblaciones naturales de México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 42 pág.
- Mendoza-Hernández, N. B., C. Ramírez-Herrera, J. López-Upton, V. Reyes-Hernández y P. Antonio-López. 2018. Variación de características reproductivas de árboles de *Pinus patula* en un huerto semillero sexual. Agrociencia, 52 (2): 279-291.
- Martínez Cantera, G.; López Upton, J.; Vargas Hernández, J. J.; Jasso Mata, J.; Guerra de la Cruz, V. 2007. Indicadores de maduración en conos de *Pseudotsuga Menziesii*. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 30, 11 pág.
- Martínez Ortega R. M.; Tuya Pendás L. C.; Martínez Ortega, M.; Pérez Abreu A.; Cánovas. 2009. El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. Revista Habanera de Ciencias Médicas, vol. 8, 20 pág.
- Martínez R.J.A., Cruz CF, Gurrola A.J.G., Nájera L.J.A (2020) Potencial productivo de conos y semillas de dos especies del género *Pinus*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 11: 26- 46. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.592>

- Maya B. B. 2023. Indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus remota* (Little) Bailey et Hawksw en Santa Catarina, Nuevo León, México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 65 pág.
- Mendoza H. N. B., Ramírez H. C, López-U. J., Reyes. H. V, López P. A. 2018 Variación de características reproductivas de árboles de *Pinus patula* en un huerto semillero sexual. Revista Agrociencia 52: 279-291.
- Morales-V. M. G., Ramírez M. C. A., Delgado V., y López U. J. Javier. 2019. «Indicadores reproductivos de *Pinus Leiophylla* Schltdl. Et Cham. En la cuenca del Rio Angulo, Michoacán. ». *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 1 (2). México, ME:31-38. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i2.635>.
- Mosseler, A. 1998. Minium Viable Population Size and the Conservation of Forest Genetic Resources, in *Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer*, Publishers, EE.UU. pp. 191-205.
- Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y. S. Park, K. H. Johnsen, and O. P. Rajora, 2000. Indicators of population viability in red spruce, *Picea Rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. *Canadian Journal Bototany*. 78: 928-940.
- Munsell Color Chart2. (2022). Munsell Color Chart2 (versión 1.0.1.1) [Aplicación móvil]. Recuperado de <https://www.softonic.com/descargar/munsell-color-chart/android/post-descarga?ext=1>
- Munsell Color Company. (s.f.). Is There a List of Munsell Colors by Name?. Munsell Color System; Color Matching. Recuperado de <https://munsell.com/color-blog/>
- Owens J N (1973) The Reproductive Cycle of Douglas-fir. Pacific Forest Research Centre. Victoria British Columbia, Canada. 23 p.
- Perry. J. P. 1991. Los pinos de México y América Central. Timber Press. Portland, Oregón, EE.UU. 231 p.
- Pérez P. E. A. 2014. Comparacion del Potencial y Eficiencia de Semillas de *Pinus culminicula* Andrensen et Beaman con Pináceas. Investigación descriptiva. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 47 pág.
- Plancarte B., A. 1990. Variación en longitud de cono y peso de semilla en *Pinus greggii Engelm* de tres procedencias de Hidalgo y Querétaro. Nota Técnica No. 4. Centro de Genética forestal, A.C. Lomas de San Juan, Chapingo, México. 3 p.

- Prieto R., J. A y J. Martínez A. 1993. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto científico No 1. SARH, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Norte Centro. Campo Experimental “Valle del Guadiana”. Durango, Dgo. México. 18 p.
- Quiroz V. R. I., López U. J., Cetina A. V. M., Ángeles P. G. 2017. Capacidad reproductiva de *Pinus pincheana* Gordon en el límite sur de su distribución natural. Revista Agrociencia. Vol 51.
- Ramírez Herrera C., Vargas-Hernández J. y Lopez-Upton J. 2005. Distribución y Conservación de poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Acta Botánica Mexicana 72:1-16.
- Rodríguez V. E. M., Rodríguez O. G., Enrique D. V. J. R., Hernández H. A., Campos A. V. G. y Velasco V. V. A. 2024. Eficiencia reproductiva de fenotipos superiores de *Pinus patula* var. *longepedunculata* Loock. Revista DIALNET. Vol. 49, 6 pág.
- Robert, M. F. 1978. Un nouveau pin pignon Mexicain: *Pinus johannis* M. –F. Robert. Adansonia. Serie 2. 18(3): 365-373.
- Romero Manzanares A., Luna Cavazos M., García Moya E., and Passini M. F. . 2000. Phenetic analysis of the Mexican Midland pinyon pines, *Pinus cembroides* and *Pinus johannis*. Botanical Journal of the Linnean Society 133: 181-194.
- Romero-Manzanares A. y García Moya E. 2002. Estabilidad y elasticidad de la composición florística de los piñoneros de San Luis Potosí, México. Agrociencia 36: 243-254. Disponible en:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000800008
- Rosas-Chavoya, M., Granados-Sánchez, D., Granados-Victorino, R. L., y Esparza-Govea, S. (2016). Clasificación y ordenación de bosques de pino piñonero del estado de Querétaro. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 7(339): 52-73. Disponible en:https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322016000100052#B2
- Sánchez-González, A. (2008). Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. Madera y bosque, 14(1), 107-120. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712008000100008

- SAS. (2023). Statistical Analysis System, en línea. (Versión 9.4) [Software] programas académicos. Disponible en: <https://welcome.oda.sas.com/>
- Szretter Noste M. E. 2017. Apunte de Regresión Lineal: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 249 pág. Disponible http://mate.dm.uba.ar/~meszre/apunte_regresion_lineal_szretter.pdf
- SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. México. 30 de diciembre de 2010. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Segunda sección. México, D.F. 78 pág.
- Sorensen, F.C., Miles, R. s. 1974. Self-Pollination on Douglas Fir and Ponderosa Pine Seeds and Seedlings. *Silvae Genetica* 23 (5): 135-165.
- Tolentino M. S. A. 2023. Indicadores reproductivos de conos y semillas de dos poblaciones de *Pinus culminicula* Beaman y Andresen en la Sierra Madre Oriental, México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Saltillo, Coahuila, México. 54 pág.
- Villarreal, J. A, Mares Arreola, O. Cornejo-Oviedo *et al.*, 2009. Estudio florístico de los piñoneros. *Acta Botánica Mexicana*, (89): 87-124.
- Villa P. V. H. 2010. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus johannis* M. F. Robert en el Noroeste de México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 49 pág.
- Villa D. E. (2014) El número efectivo de grados de libertad. Simposio de Metrología 2004. Centro de Investigación en Matemáticas, A. C. 7 pág.
- Willan L. R. (1991). Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos. Estudio FAO Montes. 20/2. DANIDA, FAO, Roma.502 pág. Disponible en: <https://www.fao.org/4/ad232s/ad232s00.htm>