



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA FORESTAL

TESIS

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE CONOS Y SEMILLAS EN
ÁRBOLES DE *Pinus cembroides* Zucc. EN EL RANCHO LA
CUEVA, ACATLÁN, HIDALGO.

Para obtener el título de
Licenciado en Ingeniería Forestal

PRESENTA

Ivan Islas Charco

Director

Dr. José González Ávalos

Codirectora

Mtra. Adriana Hernández Lazcano

Comité Asesor

M. en C. Naum Abraham Fragoso López

Ing. Oscar Graciano Romero González

Ing. Luis Alberto Lugo Martínez

Tulancingo de Bravo, Hidalgo, junio del 2025



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
 Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales
Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

ICAP-PEIF/003/2025

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
 Directora de Administración Escolar
 Presente

Por este conducto informo que el jurado asignado a él pasante de la Licenciatura de Ingeniería Forestal **Ivan Islas Charco**, con número de cuenta **422080**, ha autorizado la impresión de tesis titulada **Evaluación de la producción de conos y semillas en árboles de *Pinus cembroides* Zucc. en el rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo**. Esto después de que el alumno realizó las correcciones acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

Presidente: M.C. Naum Abraham Fragoso López

Secretario: Ing. Oscar Graciano Romero González

Vocal: Ing. Luis Alberto Lugo Martínez

Suplente 1: Dr. José González Ávalos

Suplente 2: Mtra. Adriana Hernández Lazcano

ATENTAMENTE

"Amor, Orden y Progreso"

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo; a 02 de junio del 2025


Dr. José González Ávalos
 Coordinador del Programa
 Educativo de Ingeniería Forestal


Dr. Armando Peláez Acero
 Director del ICAP



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
 Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
 México, C.P. 43775.
 Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
 profe_5566@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



DEDICATORIA

A mis amados padres, Joel Ricardo Islas Ortega y Sofía Charco Vargas, les expreso mi más profunda gratitud por el don de la vida. Su amor incondicional ha sido el faro que ha iluminado y guiado mi camino en cada etapa de mi existencia. Agradezco sinceramente su apoyo constante, que se ha manifestado en cada palabra de aliento, en los sacrificios realizados con discreción y en la fe inquebrantable que siempre depositaron en mis capacidades. No solo me brindaron las herramientas para enfrentar el mundo, sino que se erigieron como mi pilar fundamental, la base sólida sobre la cual pude construir mis sueños y aspiraciones. Su esfuerzo y dedicación, siempre impulsados por un propósito claro, han sido la inspiración constante que me motivó a superar los desafíos y a perseverar hasta alcanzar este significativo hito académico. Mi reconocimiento es absoluto por todo lo que me han enseñado a través de su ejemplo de vida, su dedicación incansable y su profundo amor.

A mi querida hermana Perla Yureni Islas Charco y a mi hermano Joel Omar Islas Charco, les expreso mi más sincero agradecimiento. Su apoyo constante, manifestado en cada palabra de aliento y en la comprensión incondicional. Cada momento compartido, cada risa y cada desahogo, hicieron este camino mucho más llevadero y menos solitario. Su presencia y su ánimo fueron un bálsamo en los momentos de mayor exigencia académica, recordándome la importancia de la unión familiar. Gracias por ser compañeros de vida y por la complicidad que tanto valoro.

A mis abuelos, Maximino Islas Badillo y Elvia Celerina Ortega López, ustedes han sido, y siguen siendo, mis segundos padres. Cada paso que he dado en este camino, y en mi vida, ha sido posible gracias a su amor incondicional, una fuerza inagotable que me ha impulsado en los momentos de alegría y de dificultad.

A mis abuelos, Roberto Charco Vargas y Crescencia Vargas Tlalacalco, cuya luz y amor permanecen en mi corazón. Esta tesis es un tributo a su memoria y a la huella imborrable que

dejaron en mi vida, este logro es también suyo, y lo dedico con todo el cariño y la admiración que siempre les tuve.

A mi cuñado, Edgar Cuaxoxpa Castelán, por su incondicional apoyo y por hacer de cada reunión familiar un espacio de alegría y desconexión. Su ánimo y comprensión fueron un gran alivio durante los momentos más intensos de este proceso.

A mis queridas sobrinas Paloma Giselle Cuaxoxpa Islas y Danna Isabella Cuaxoxpa Islas, por cada sonrisa, por sus ocurrencias y por recordarme la importancia de la alegría y la ligereza en medio de la intensidad académica. Su presencia ha sido un bálsamo y una constante motivación.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profunda gratitud a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por haber proporcionado el ambiente académico, los recursos necesarios y la infraestructura indispensable que hicieron posible el desarrollo y la feliz culminación de la presente investigación.

Mi más sincero agradecimiento se extiende al Lic. José Santos Marroquín Morato, propietario del Rancho La Cueva, localizado en el municipio de Acatlán, Hidalgo. Su generosidad al conceder las facilidades de acceso y permitir la realización de este estudio en su propiedad fue un factor determinante para la obtención de los datos y el progreso del trabajo.

En primer lugar, dedico mi gratitud al Dr. José González Ávalos y a la Mtra. Adriana Hernández Lazcano. Su invaluable orientación, paciencia, constante motivación y el rigor académico que impartieron fueron pilares fundamentales para el desarrollo integral y la calidad metodológica de esta investigación. Su guía experta no solo enriqueció sustancialmente este proyecto, sino que también contribuyó significativamente a forjar en mí una perspectiva crítica y analítica.

Asimismo, extiendo mi reconocimiento al M.C. Naum Abraham Fragoso López, al Ing. Oscar Graciano Romero González y al Ing. Luis Alberto Lugo Martínez. Sus valiosas observaciones, pertinentes sugerencias y el tiempo dedicado a la revisión meticulosa de este documento fueron cruciales para fortalecer y mejorar significativamente su contenido final.

No puedo dejar de mencionar a mis compañeros de la carrera y amigos. Su camaradería, apoyo incondicional y las discusiones constructivas que compartimos hicieron que el proceso de esta investigación fuera considerablemente más llevadero y enriquecedor a nivel personal y académico.

Mi agradecimiento especial a los compañeros Patricia Citlali Flores Cerón, Lesli Ortega Rivero, Angélica Suárez Torres, Bryan Cortes Miranda y Jonathan Adair Islas Martínez, cuyo invaluable apoyo en las labores de recolección de material botánico en campo y en la realización

de mediciones dentro del laboratorio fue esencial para el progreso y la culminación de este estudio.

Finalmente, deseo expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a todas aquellas personas e instancias que, de una u otra forma, contribuyeron directa o indirectamente a la exitosa culminación de este trabajo de tesis. Su apoyo, en sus diversas manifestaciones, fue crucial.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	3
II.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo general	5
2.2.	Objetivos específicos	5
III.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1.	Descripción botánica de <i>Pinus cembroides</i>	6
3.2.	Distribución geográfica.....	7
3.3.	Características ecológicas	7
3.3.1.	Clima.....	8
3.3.2.	Temperatura	8
3.3.3.	Precipitación	9
3.3.4.	Altitud.....	9
3.3.5.	Suelo y topografía	9
3.3.6.	Vegetación asociada.....	10
3.4.	Manejo para la producción de conos y semillas.....	12
3.4.1.	Genética	12
3.4.2.	Fertilización.....	13
3.4.3.	Riego	14
3.4.4.	Podas.....	14
3.4.5.	Aplicación de hormonas.....	15
3.5.	Control de plagas y enfermedades de conos y semillas	17

3.5.1.	Conophthorus cembroides Wood	17
3.5.2.	Contarinia sp.	17
3.5.3.	Leptoglossus occidentalis Heidemann, 1910	18
3.6.	Trabajos Afines.....	18
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1.	Área de estudio	21
4.2.	Características ambientales del área de estudio.....	22
4.2.1.	Clima.....	22
4.2.2.	Hidrología	22
4.2.3.	Edafología.....	22
4.2.4.	Vegetación.....	22
4.3.	Cuantificación de la producción de conos femeninos	23
4.3.1.	Colecta de cono.....	23
4.3.2.	Conteo de los conos.....	24
4.4.	Evaluación de los conos.....	25
4.4.1.	Peso total.....	25
4.4.2.	Longitud	28
4.4.3.	Diámetro	29
4.4.4.	Conteo de las semillas por cono.....	30
4.5.	Medición de las semillas	31
4.5.1.	Viabilidad	31
4.5.2.	Peso.....	33

4.5.3.	Longitud	34
4.5.4.	Diámetro	35
4.5.5.	Color	36
4.6.	Análisis de datos	37
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1.	Árboles.....	39
5.2.	Conos	39
5.2.1.	Longitud.....	40
5.2.2.	Diámetro	41
5.2.3.	Peso.....	42
5.2.4.	Número de semillas por cono	43
5.3.	Semillas	44
5.3.1.	Color de las semillas	44
5.3.2.	Viabilidad	44
5.3.3.	Longitud	45
5.3.4.	Diámetro	46
5.3.5.	Peso.....	48
5.4.	Análisis de varianza de los conos.....	49
5.4.1.	Longitud.....	49
5.4.2.	Diámetro	51
5.4.3.	Peso.....	53
5.4.4.	Número de semillas por cono	54

5.5.	Análisis de varianza de semillas	56
5.5.1.	Longitud	56
5.5.2.	Diámetro	58
5.5.3.	Peso.....	60
VI.	CONCLUSIONES.....	63
VII.	REFERENCIAS	64
VIII.	ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 <i>Frecuencia de la longitud de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	40
Cuadro 2. <i>Frecuencia del diámetro de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	41
Cuadro 3. <i>Frecuencia del peso de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	42
Cuadro 4. <i>Frecuencia del número de semillas por cono de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	43
Cuadro 5 <i>Viabilidad de las semillas por árbol de Pinus Cembroides, del rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo, 2023.</i>	44
Cuadro 6. <i>Frecuencia de la longitud de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	46
Cuadro 7. <i>Frecuencia del diámetro de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	47
Cuadro 8 <i>Frecuencia del peso de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	48
Cuadro 9 <i>Análisis de varianza para la longitud de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	50
Cuadro 10 <i>Análisis de varianza para el diámetro de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	51
Cuadro 11 <i>Análisis de varianza para el peso de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	53

Cuadro 12 <i>Análisis de varianza del número de semillas por cono de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	54
Cuadro 13 <i>Análisis de varianza para la longitud de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	56
Cuadro 14 <i>Análisis de varianza para el diámetro de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	58
Cuadro 15 <i>Análisis de varianza para el peso de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Plano de ubicación del área de Estudio</i>	21
Figura 2 <i>Colecta manual de conos</i>	23
Figura 3 <i>Almacenamiento de conos en bolsas de papel Kraft</i>	24
Figura 4 <i>Conteo de conos</i>	25
Figura 5 <i>Pesado de conos en fresco</i>	26
Figura 6 <i>Pesado individual de cono</i>	27
Figura 7 <i>Conos pesados y etiquetados por árbol</i>	27
Figura 8 <i>Conos expuestos en invernadero</i>	28
Figura 9 <i>Semillas dentro del horno de sacado</i>	28
Figura 10 <i>Medición de longitud de conos</i>	29
Figura 11 <i>Medición del diámetro promedio de los conos</i>	30
Figura 12 <i>Extracción de semillas</i>	31
Figura 13 <i>Colocación de semillas dentro de la solución</i>	32
Figura 14 <i>Semillas viables en el fondo y semillas vanas en la superficie del recipiente</i> .	32
Figura 15 <i>Selección de semillas viables por densidad hundimiento en agua</i>	33
Figura 16 <i>Peso de semilla</i>	34
Figura 17 <i>Medición de longitud de semilla</i>	35
Figura 18 <i>Diámetro 1</i>	36
Figura 19 <i>Diámetro 2</i>	36
Figura 20 <i>Colores de semillas</i>	37

Figura 21 <i>Histograma de la longitud de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	40
Figura 22. <i>Histograma del diámetro de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	41
Figura 23. <i>Histograma del peso de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	42
Figura 24. <i>Histograma del número de semillas por cono de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	43
Figura 25 <i>Gráfica de viabilidad de semillas de los conos de Pinus cembroides, del rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo, 2023.</i>	45
Figura 26. <i>Histograma de la longitud de semillas producidas por los árboles de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	46
Figura 27. <i>Histograma del diámetro de semillas producidas por los árboles de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	47
Figura 28 <i>Histograma del peso de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	48
Figura 29 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para la longitud de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023</i>	50
Figura 30 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para el diámetro de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	52
Figura 31 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para el peso de los conos de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	53
Figura 32 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para el número de semillas por cono de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	55

Figura 33 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para la longitud de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	57
Figura 34 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para el diámetro de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	59
Figura 35 <i>Gráfica de comparación de medias de Tukey para el peso de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.</i>	61

RESUMEN

El presente estudio se planteó como objetivo principal evaluar la producción y las características morfológicas de los estróbilos femeninos, así como los atributos físicos de las semillas, en árboles de *Pinus cembroides* establecidos en una plantación de 19 años. La investigación se llevó a cabo en una plantación ubicada en el Rancho La Cueva, municipio de Acatlán, en el estado de Hidalgo. Para la consecución de este objetivo, se realizó la recolección manual de la totalidad de los conos producidos por 188 árboles seleccionados de la plantación.

Posteriormente, se procedió al conteo y pesaje de los conos recolectados de cada árbol. Adicionalmente, de cada árbol se seleccionó una muestra aleatoria de 30 conos, a los cuales se les determinó el peso fresco mediante una báscula digital. Asimismo, se midieron la longitud y el diámetro de cada cono utilizando un vernier digital, y finalmente, se cuantificó el número de semillas contenidas en cada uno.

En lo concerniente a las variables evaluadas en las semillas, se obtuvo una muestra de 50 semillas por árbol. De manera individual, se determinó el peso de cada semilla con una balanza digital, así como su diámetro y longitud utilizando un vernier digital. Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis descriptivos, análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de medias, con la finalidad de identificar diferencias estadísticas significativas entre las variables cuantificadas en los diferentes árboles.

Los resultados obtenidos revelaron que 103 de los 188 árboles evaluados presentaron producción de estróbilos femeninos durante el año de estudio (2023). En relación con la producción de conos, el árbol número 22 destacó por presentar la mayor cantidad, con un total de 1306 conos. El mismo árbol (número 22) exhibió el mayor peso fresco promedio de los conos, con 31.8 gramos. En cuanto al diámetro promedio de los conos, el árbol número 152 registró el valor más alto, con 58.1 milímetros. Respecto a la longitud promedio de los conos, los árboles

número 14 y 22 presentaron un valor promedio de 41.3 milímetros. Finalmente, el árbol número 22 también mostró el mayor promedio de semillas por cono, con 28.5 semillas.

En lo referente a las características de las semillas, el mayor peso promedio se observó en las semillas del árbol número 149, con 0.60 gramos. El diámetro promedio más alto de las semillas correspondió al árbol número 149, con un valor de 14 milímetros. La mayor longitud promedio de las semillas se registró en el árbol número 63, con una media de 14.9 milímetros. El árbol número 24 produjo semillas con un porcentaje de llenado del 79.24%. Finalmente, el color de semilla más abundante en la muestra general fue el negro, representando el 50.8% de la producción total.

I. INTRODUCCIÓN

El *Pinus cembroides* es un árbol emblemático de México, presente en vastas extensiones del territorio nacional, principalmente en la Sierra Madre Occidental y Oriental. Las mayores poblaciones están en los estados de Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León e Hidalgo (Eguiluz, 1982). Esta especie emblemática, con su porte majestuoso y follaje verde intenso, no solo embellece los paisajes, sino que desempeña un papel crucial en la preservación del equilibrio ecológico y el desarrollo económico de las comunidades locales mediante la venta y comercialización de la semilla para la preparación de dulces, postres, pasteles y ensaladas (Ozuna y otros, 2016).

Los bosques de pino piñonero son oasis de biodiversidad, hogar de una gran variedad de flora y fauna. Entre sus ramas se esconden aves que entonan melodías silvestres, mamíferos que recorren senderos secretos y una gran diversidad de insectos y plantas que tejen la red de la vida (Flores López y otros, 2021). En este refugio, especies en peligro de extinción encuentran protección, y la riqueza natural de México se preserva para las generaciones venideras. Entre las especies que dependen de estos ecosistemas se encuentran aves, mamíferos, reptiles, anfibios e insectos. El pino piñonero proporciona alimento y refugio a estas especies, contribuyendo al equilibrio ecológico de las regiones donde se encuentra (Fonseca Juárez, 2003).

Las raíces profundas del pino piñero se aferran a la tierra como anclas gigantes, previniendo la erosión y protegiendo las laderas de las montañas. Como un guardián del suelo, este árbol asegura la estabilidad de los ecosistemas y la fertilidad de la tierra. Además, sus bosques actúan como reguladores del ciclo hidrológico, capturando y almacenando agua que se libera lentamente, previniendo inundaciones y sequías, asegurando un flujo vital para la vida (Constante García y otros, 2009; Romero López y otros, 2017).

Los bosques de pino piñonero son como pulmones verdes que purifican el aire. Sus hojas absorben dióxido de carbono, el gas que calienta nuestro planeta, y lo convierten en oxígeno, el aire que necesitamos para respirar. Al liberar este gas vital, los pinos combaten el cambio climático y contribuyen a un ambiente más limpio y saludable para todos (Reyes Carrera y otros, 2013; Tellez Girón y otros, 2014). El pino piñonero no solo es un tesoro ecológico, sino también un regalo económico para las comunidades locales. Sus frutos, los piñones, son semillas comestibles de alto valor nutricional y económico. La recolección y venta de piñones generan ingresos importantes para las familias, especialmente en zonas rurales, impulsando el desarrollo económico y mejorando la calidad de vida (Návar Chávez y otros, 2012), (Vargas Hernández y otros, 2012). La madera del pino piñonero es un recurso forestal de gran valor económico. Se utiliza en la construcción, la fabricación de muebles, la elaboración de papel y otros productos. La industria forestal del pino piñonero genera empleos y contribuye al desarrollo económico de las comunidades rurales en las regiones donde se encuentra este árbol (Moctezuma López y Flores, 2020). Además de la madera, el pino piñonero proporciona una variedad de productos no maderables de importancia económica. Entre estos productos se encuentran los piñones, las semillas comestibles del árbol, que son apreciadas en la gastronomía mexicana e internacional. También se obtienen resinas, corteza y otros productos forestales que se utilizan en diversas aplicaciones (Moctezuma López y Flores, 2020).

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

El objetivo central de la presente investigación fue evaluar la producción de estructuras reproductivas femeninas (conos) y semillas en una plantación establecida de la especie *Pinus cembroides*.

2.2. Objetivos específicos

- Cuantificar la producción de estróbilos producidos por cada árbol individual dentro de la plantación bajo estudio.
- Medir y registrar el número de semillas por cono, el peso fresco, el peso seco, así como la longitud y el diámetro de cada cono.
- Estimar la distribución de colores de la testa seminal, determinar el porcentaje de viabilidad, cuantificar el peso individual, y medir la longitud y el diámetro de las semillas obtenidas de los conos.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Descripción botánica de *Pinus cembroides*.

Nombres comunes: piñón, piñonero, piñón prieto.

Crecimiento: Árbol de porte pequeño con tronco corto, ya sea recto o torcido, con ramificación desde la base. Alcanza alturas de 5 a 15 metros y un diámetro a la altura del pecho de 60 a 80 centímetros (Farjon y otros, 1997; Vallejo Maldonado, 1997).

Corteza: La corteza del tronco es gruesa y presenta escamas que se desprenden en pequeñas placas, así como fisuras longitudinales. La parte interna de la corteza muestra un color anaranjado amarillento, mientras que la parte externa es de color gris oscuro, con textura agrietada (Farjon y otros, 1997; Vallejo Maldonado, 1997).

Ramas: Las ramillas de naturaleza son delgadas, con una coloración que varía entre café anaranjado y glauco, tendiendo a tornarse grisácea con el transcurso del tiempo. Los fascículos se disponen de forma extendida o erecta, manteniendo su persistencia durante un período de 3 a 4 años (Farjon y otros, 1997).

Acículas: Se organizan en fascículos de 2 o 3, presentando una forma que varía de curvada a casi recta, con dimensiones de 2 a 5 (-6.5) cm de longitud y 0.7 a 1 mm de ancho. En cuanto a su coloración, la cara abaxial se distingue por un tono verde, mientras que las caras adaxiales muestran un color grisáceo (Farjon y otros, 1997).

Follaje: Las acículas se presentan agrupadas en fascículos de tres, aunque ocasionalmente pueden observarse fascículos con dos, cuatro o cinco acículas. Estas tienen una longitud de 2.5 a 7 cm, son rígidas y generalmente curvadas, con sección triangular y estomas en las tres caras. Su coloración varía de verde oscuro, a un verde azulado pálido y, en ocasiones, amarillento (Vallejo Maldonado, 1997).

Conos: La especie presenta conos masculinos y femeninos diferenciados. Los conos masculinos son de forma globosa, de color marrón rojizo y están compuestos por escamas membranosas. Los conos femeninos son subglobosos, alcanzan un diámetro de 5 a 6 centímetros y se presentan solitarios o en grupos de hasta 5. Son caducifolios, casi sésiles y de color marrón anaranjado o rojizo. Están formados por pocas escamas, gruesas en el ápice y delgadas hacia los bordes, con umbo dorsal aquillado transversalmente. La apófisis es gruesa y piramidal, con una pequeña punta caduca. Generalmente, solo las escamas de la parte media son fértiles y contienen una semilla desarrollada junto con una abortiva (Vallejo Maldonado, 1997).

Semillas: Las semillas son de color café negruzco, con una testa dura y forma subcilíndrica triangular. Presentan una morfología característica, con una base delgada que se ensancha hacia el ápice, alcanzando una longitud de 10 milímetros. La almendra, de color rosado, se distingue por su sabor agradable y su elevado valor nutricional (Vallejo Maldonado, 1997).

3.2. Distribución geográfica

Pinus cembroides se distribuye en el noreste de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Nuevo León, oeste de Tamaulipas, San Luis Potosí, Aguascalientes, noreste de Jalisco, norte de Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, México, D.F., Tlaxcala, Veracruz y Puebla; también en el suroeste de los EE. UU (Fonseca Juárez, 2003).

3.3. Características ecológicas

Pinus cembroides está adaptada a climas templados a fríos y semiáridos, prospera en altitudes que oscilan entre los 1500 y 3000 metros sobre el nivel del mar, en donde las temperaturas medias anuales se sitúan entre los 12 y 18 °C, y la precipitación anual varía considerablemente, desde los 300 hasta los 800 mm (Rzedowski, 2006). *Pinus cembroides*

exhibe preferencia por suelos bien drenados, de texturas variables, pero con frecuencia de origen calizo o volcánico, y con un pH neutro a ligeramente alcalino (Farjon y otros, 1997). Su capacidad para tolerar condiciones de sequía y suelos pobres en nutrientes le confiere una ventaja competitiva en ambientes marginales. La exposición a plena luz solar es crucial para su crecimiento y desarrollo, siendo una especie heliófila que requiere alta irradiancia para una fotosíntesis eficiente, la absorción de nutrientes y agua, contribuyen a su establecimiento y supervivencia (Rzedowski, 2006).

A continuación, se detallan las características analizadas, con la correspondiente mención de estudios previos que han abordado aspectos similares.

3.3.1. Clima

Rzedowski (2006), menciona que para los bosques de pino el clima corresponde al tipo Cw; en los municipios de Santiago de Anaya y El Cardonal, ubicados en el estado de Hidalgo, el clima donde se distribuye *Pinus cembroides* corresponde al tipo templado subhúmedo con lluvias en verano, clasificado como C(w1)(w) de acuerdo con la clasificación climática de Köppen (García & CONABIO, 1998).

3.3.2. Temperatura

La temperatura de los bosques de *Pinus cembroides* se localiza en los límites de entre 10 y 20°C (Rzedowski, 2006). En el estado de Hidalgo, las temperaturas medias anuales varían según la localidad, en el municipio de El Cardonal en las localidades La Mesa, San Miguel y El Porvenir registran un promedio de 14 °C, mientras que en El Arenalito la temperatura media anual es de 18 °C y en Pontadhó de 16 °C. Por su parte, el ejido El Encino, ubicado en el municipio de Santiago de Anaya, presenta una temperatura promedio de 16 °C (García & CONABIO, 1998).

3.3.3. Precipitación

Rzedowski (2006) reporta una precipitación que va desde los 600 a los 1000 mm de lluvia al año. De acuerdo con datos de Garcia & CONABIO (1998), las precipitaciones anuales registradas en diversas localidades del estado de Hidalgo son: en el Municipio de El Cardonal, La Mesa y El Arenalito presentan un promedio de 700 mm, San Miguel y El Porvenir alcanzan los 800 mm, mientras que Pontadhó registra 600 mm; a su vez en el municipio de Santiago de Anaya, en el ejido El Encino la precipitación anual es de aproximadamente 550 mm.

3.3.4. Altitud

Farjon y otros,. (1997) mencionan que su rango altitudinal comprende desde los 800 hasta los 2800 metros sobre el nivel del mar. Por su parte, Romero González (2005) reporta una altitud para el estado de Hidalgo en las localidades de La Mesa de 2163 msnm, San Miguel 2264 msnm, El Arenalito 1975 msnm, Pontadhó 2220 msnm y El Porvenir 1995 msnm. A su vez Meza Álvarez (2006) hace alusión que el bosque de piñonero del ejido El Encino, ubicado en el municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, se encuentra a una altitud de 2040 metros sobre el nivel del mar. Para el estado de Nuevo León, Vallejo Maldonado (1997) reporta un rango altitudinal de 2100 a 2300 msnm en el ejido la primavera y el ejido Pablillo entre 2300 y los 2500 msnm.

3.3.5. Suelo y topografía

Se establece en las estribaciones y mesetas semiáridas, ocupando una zona de transición ecológica entre la vegetación semidesértica y los pinares mesófilos. Esta ubicación estratégica le permite tolerar las condiciones de aridez, a la vez que aprovecha la humedad y las temperaturas más moderadas influenciadas por la cercanía a formaciones boscosas más densas. Adicionalmente, la especie presenta una preferencia por suelos delgados y rocosos, lo cual se relaciona con su capacidad para prosperar en terrenos con limitada retención de agua y menor disponibilidad de nutrientes. La naturaleza rocosa del sustrato también proporciona

anclaje a las raíces en terrenos inclinados y contribuye al microclima local mediante la retención y liberación gradual de calor (Farjon y otros, 1997).

En un estudio realizado en el municipio de Galeana, Nuevo León, se seleccionaron dos localidades representativas de la región: Pablillo y La Primavera. Ambas zonas presentan una topografía accidentada, caracterizada por la presencia de numerosas elevaciones y algunas áreas planas destinadas a la agricultura. Los análisis de suelo revelaron la predominancia de Rendzinas con textura media y fases petrocálcicas en Pablillo, así como la coexistencia de Litosoles, Regosoles eútricos y Castañozems cálcicos con diversas características texturales y fases físicas. En La Primavera, se identificaron principalmente Castañozems cálcicos de textura gruesa, Feozems cálcicos y Rendzinas, con la presencia de fases físicas gravosa y lítica en algunos casos (Vallejo Maldonado, 1997).

Meza Álvarez (2006) determinó que en el ejido El Encino, municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo, el suelo predominante es de tipo Rendzina, seguido por el tipo Vertisol como suelo secundario y finalmente el tipo Regosol calcárico. La textura del suelo fue clasificada como fina y se identificó una fase física petrocálcica, caracterizada por un horizonte petrocálcico ubicado a menos de 50 cm de profundidad.

3.3.6. Vegetación asociada

Flores Olvera (1985) reporta para el estado de Nuevo León una asociación de especies para *Pinus cembroides* para el estrato arbóreo: *Juniperus monosperma*, *Juniperus flaccida* var. *flaccida*, *Quercus* spp, *Quercus canbyi*, *Yucca carnerosana*, *Pinus arizonica stomiae*, *Pinus nelsonii* y las menos frecuentes *Quercus fusiformis*, *Quercus graciliramis*, *Quercus clivicola*. En el estrato arbustivo: *Quercus intricata*, *Cowania plicata*, *Arbutus xalapensis*, *Berberis trifoliolata*, *Pithecellobium elasticophyllum*, *Berberis muelleri*, *Dasyllirion* spp., *Rhus virens*, *Quercus microphylla*, *Sophora secundiflora*, *Salvia greggii*, *Agave* sp, *Condalia ericoides*, *Dalea formosa* y las menos frecuentes *Amelanchier denticulata*, *Arbustus arizonica*, *Larrea tridentata* y *Krameria*

cytisoides. y en el estrato herbáceo: *Stipa leucotricha*, *Tridens grandiflorus*, *Bouteloua curtipendula*, *Festuca rubra*, *Tagetes lucida*, *Hedéoma nanum*, *Verbena ambrosifolia*, *Cassia bauhinioides*, *Stipa tenuissima*, *Aristida curvifoli*, *Dyssodia setifolia*, *Nama biflorum*, *Dyssodia pinnata*, *Verbena neomexicana*, *Acalypha hederácea*, *Cheilanthes tomentosa*.

Según Aragón Piña y otros, (2010) *Pinus cembroides* presenta asociaciones ecológicas específicas en el estado de Durango con. *Pinus chihuahuana* y *Q. striatula*; *P. cembroides* y *Arbutus arizonica*; *P. cooperi* y *Q. striatula*.

Granados Victorino y otros, (2015) reporta la asociación de *Pinus cembroides* en cinco localidades distintas. Específicamente, para Santa María las Cuevas, Tlaxcala, se identificó la presencia de *Agave obscura*, *Juniperus deppeana*, *Nolina parviflora*, *Opuntia streptacantha*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, y *Yucca periculosa*, junto con una diversidad de epifitas, incluyendo *Tillandsia usneoides*, *T. recurvata*, y *T. macdougalli*. En Tepeyahualco, Puebla (TP), los elementos vegetales dominantes comprenden *Nolina parviflora*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, *Yucca periculosa*, *Agave gilbeyi*, *A. obscura*, *Mimosa biuncifera*, *Opuntia robusta*, *O. spinulifera*, así como algunas especies epifitas. Para El Progreso, Puebla, se registró la presencia de *Agave gilbeyi*, *Muhlenbergia macroura*, *Nolina parviflora*, *Notholaena aurea*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, y *Quercus microphylla*, además de epifitas del género *Tillandsia*. En la localidad de Frijol Colorado, Veracruz, la estructura del bosque se caracteriza principalmente por *Juniperus flaccida*, *Nolina parviflora*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, y *Yucca periculosa*. Adicionalmente, destacan *Agave obscura*, *Pinus pseudostrobus*, y algunas especies de bromelias epifitas. Finalmente, en San Sebastián Villanueva, Puebla, las especies dominantes identificadas fueron *Juniperus deppeana*, *Nolina parviflora*, *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*, *P. pseudostrobus*, *Quercus microphylla*, *Quercus crassifolia*, y *Agave obscura*.

Una investigación llevada a cabo por Granados Sánchez y Sánchez González, (2003) se orientó a profundizar en el conocimiento de la fisonomía de la vegetación presente en la Sierra

de Catorce, localizada en el estado de San Luis Potosí, México. Los resultados obtenidos en este estudio revelaron las siguientes asociaciones vegetales vinculadas a *Pinus cembroides*: Piñonar–Encinar Arbustivo: Esta comunidad se distingue por la presencia de especies tales como *Quercus pringlei*, *Pinus cembroides*, *Rhus andreuxi*, *Quercus eduardii*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Ceanothus coeruleus*, *Gutierrezia microcephala*, *Zinnia juniperifolia*, *Carex polystachya*, *Chrysactinia mexicana*, *Salvia regla*, *Lindleyella mespiloides* y *Linum aristatum*, además de *Mandevilla karwinskii.*, y para Piñonar–Encinar Arbustivo–Chaparral: Las especies vegetales características de esta comunidad comprenden *Ceanothus greggii*, *Quercus hypoxantha*, *Pinus cembroides*, *Quercus pringlei*, *Juniperus* sp., *Ephedra aspera*, *Rhus andrieuxii*, *Agave striata*, *Dasyllirion cedrosanum*, *Yucca carnerosana*, *Rhamnus serrata*, *Chrysactinia mexicana*, *Rhus virens*, *Bouvardia ternifolia* y *Calibanus hookeri*, entre otras con menor representatividad.

3.4. Manejo para la producción de conos y semillas

3.4.1. Genética

Las semillas forestales constituyen la fuente primordial de germoplasma primario y, hasta la fecha, representan el material más ampliamente utilizado para la producción numerosa de plantas. Por consiguiente, resulta fundamental que estas semillas posean las características esenciales de calidad, abarcando los ámbitos fisiológico, genético, físico y sanitario, con el propósito de asegurar el éxito en el establecimiento de nuevas poblaciones (Antonio Bautista, 2012).

En otras palabras, cada semilla representa un individuo en potencia, el cual porta una fracción de la variabilidad genética que define a la población en su totalidad. No obstante, la suma de las semillas producidas en un ciclo anual abarca la vasta mayoría, e incluso la integridad, de la diversidad genética que constituye la población original. Por lo tanto, las colecciones de semillas de alta calidad se establecen como depósitos de la diversidad genética

de una población de plantas desde sus lugares de origen, proporcionando así materiales valiosos para su conservación. Además, es importante tener en cuenta que la diversidad genética es fundamental para la adaptación y supervivencia de las poblaciones de plantas a largo plazo. Por consiguiente, la conservación de esta diversidad a través de colecciones de semillas es crucial para garantizar la disponibilidad de recursos genéticos para futuras generaciones (Oliva y otros, 2014).

Es importante señalar que la propagación de la mayoría de las especies forestales y de conservación se lleva a cabo, preferentemente, a partir de semillas. Esto se debe a que este método permite preservar una amplia diversidad genética, factor crítico para asegurar el éxito del establecimiento de las plantas y su crecimiento óptimo en el ambiente natural (Landis y otros, 1998).

Es esencial destacar que los valores de los parámetros de producción de semillas se encuentran intrínsecamente vinculados al estatus taxonómico que ostenta cada especie en particular. Sin embargo, resulta crucial reconocer que tanto las condiciones genéticas como aquellas de índole ambiental pueden ser causa de variaciones en dichos parámetros. Estas variaciones, a su vez, se erigen como indicadores de las transformaciones que una población o especie puede llegar a experimentar a lo largo del tiempo. En el caso específico de *Pinus cembroides*, y considerando las condiciones climáticas y edáficas particulares en las que se desarrolla, se torna imprescindible integrar estos resultados con el propósito de enriquecer y fortalecer el concepto de conservación y uso sostenible de esta valiosa especie (García Fernández y otros, 2014).

3.4.2. Fertilización

Las ventajas de una fertilización adecuada son diversas. En primer lugar, al suministrar los nutrientes esenciales que escasean en el suelo, se impulsa el desarrollo vigoroso del sistema radicular de las plantas. Esto, a su vez, permite que las raíces exploren un mayor volumen de

suelo, optimizando la absorción de agua y de los nutrientes disponibles. No obstante, es fundamental recalcar que la fertilización, por sí sola, no garantiza el éxito en el rendimiento de los cultivos. Esta práctica requiere, de manera indispensable, una adecuada preparación del suelo y un eficiente manejo de malezas. De esta forma, se asegura que las plantas puedan absorber los nutrientes de manera óptima, en caso de omitir alguna de estas actividades preliminares, es muy probable que la fertilización no surta el efecto deseado. Adicionalmente, es crucial destacar que, a través de un análisis químico del suelo, se puede determinar con precisión los elementos químicos que este necesita, los elementos esenciales que destacan en una mezcla de fertilizante, son el fósforo, el boro, el nitrógeno y el potasio (García R. y otros, 2000).

3.4.3. Riego

El propósito fundamental de esta estrategia se centra en el suministro de agua a las plantas, especialmente ante la posibilidad de enfrentar períodos de sequía, esta práctica se llevará a cabo cuando la temporada de escasez hídrica se extienda por un lapso alrededor de 7 u 8 meses. Cabe resaltar que tanto la cantidad de agua a proporcionar como la frecuencia del riego estarán condicionadas de acuerdo a las características particulares del sitio, la especie y el grado de deficiencia hídrica que presente (García R. y otros, 2000).

3.4.4. Podas

La poda es una práctica esencial en el manejo de especies vegetales, particularmente cuando se persiguen efectos productivos, esta técnica, en efecto, permite balancear el desarrollo del tallo, las ramas y las hojas. Por consiguiente, si se ejecuta una poda de forma apropiada, puede generar efectos beneficiosos en el crecimiento y vigor de las plantas. Es por ello que, si se desea obtener plantas de porte bajo con una abundante producción de ramas y hojas, la poda deberá realizarse en aquellas ramas que presenten un crecimiento más vertical. Por el contrario, si el propósito es favorecer un crecimiento vertical y la formación de fustes rectos, la poda se centrará en las ramas laterales. Particularmente se recomienda llevar a cabo la poda durante la

etapa de reposo de la planta, no obstante, la poda debe realizarse con moderación, evitando excesos que puedan comprometer la salud y el vigor de la planta. En este sentido, se debe tener la precaución de dejar siempre un número suficiente de ramas que garanticen una buena actividad fotosintética durante el crecimiento de la planta. Finalmente, es importante señalar que la poda debe posponerse hasta que la planta haya alcanzado una altura mínima de 2 metros y presente una constitución leñosa, de esta manera, se asegura que la planta tenga la capacidad de recuperarse y responder favorablemente a la (Arriaga M. y otros, 1994).

3.4.5. Aplicación de hormonas

La aplicación exógena de reguladores de crecimiento, principalmente hormonas vegetales, se ha investigado como una estrategia para modular los procesos reproductivos en diversas especies forestales, con la finalidad de incrementar la producción de conos y semillas. La manipulación hormonal tiene el potencial de estimular la iniciación floral, aumentar la cantidad de estructuras reproductivas femeninas y masculinas, e incluso, en ciertos casos, optimizar la calidad y la viabilidad de las semillas obtenidas. No obstante, la respuesta a la aplicación hormonal presenta una variabilidad significativa en función de la especie en cuestión, las concentraciones aplicadas, la fenología del tratamiento y las condiciones ambientales prevalecientes. En consecuencia, se requiere la realización de investigaciones específicas para establecer los protocolos óptimos que permitan alcanzar los resultados deseados en la producción de material genético forestal, dado que las hormonas se distribuyen y actúan en los diferentes tejidos vegetales (Porta y Jiménez Nopala, 2019).

Debido a la baja producción natural de yemas cónicas de semillas, se realizaron cuatro estudios comparativos en pinos del sur de Mississippi (*Pinus taeda*, *P. elliottii elliottii*, *P. palustris*) para estimular la producción de yemas cónicas de polen. Se compararon tratamientos con surfactante, GA4/7 foliar y tratamientos tópicos. Los resultados mostraron que las aplicaciones foliares de GA4/7 fueron más efectivas, pero su alto costo podría limitar su uso generalizado. Por

lo tanto, se recomienda aplicar tres pulverizaciones foliares quincenales de una solución de GA4/7 y Aromox C/12W en árboles fertilizados con nitrógeno, asegurando una cobertura completa de la copa. En pino loblolly, la adición de NAA al GA4/7 puede aumentar su eficacia (Hare, 1983).

La aplicación de giberelina A 4/7 (mediante rociado e inoculación) en pinos blancos orientales jóvenes incrementó la producción de conos de polen cuando se realizó en mayo y junio, siendo el rociado más eficaz en la cantidad de racimos. La inoculación en esos meses también estimuló la producción de conos de semillas. En contraste, las aplicaciones en agosto y septiembre no fueron beneficiosas e incluso la inoculación inhibió la producción de semillas. El estudio concluye que las aplicaciones de giberelina en mayo y junio son las más recomendables para aumentar la producción tanto de polen como de semillas en estos pinos (Ho y Eng, 1995).

La aplicación foliar repetida de N-bencilaminopurina (BAP) en septiembre a un clon de pino rojo japonés indujo significativamente la formación de estróbilos femeninos laterales y bisexuales en los brotes nuevos, incluso sin la administración de giberelina (GA). La aplicación de BAP en julio o la administración de GA por aspersión o inyección no produjeron estróbilos femeninos apicales. La mayor producción de estróbilos femeninos y bisexuales se observó con la aplicación de BAP en septiembre sin GA, alcanzando un promedio de 106 estróbilos por brote nuevo (Wakushima y otros, 1996).

Un estudio en invernadero controlado evaluó el efecto de aplicaciones semanales de giberelina A4/7 (en concentraciones de 0, 250 y 500 mg/l durante cuatro periodos de seis semanas entre mayo y septiembre) en injertos de pino blanco oriental (*Pinus strobus* L.). Los resultados indicaron que las concentraciones de 250 y 500 mg/l estimularon la producción de polen y conos de semillas, pero la eficacia dependió del momento de aplicación. La aplicación en mayo-junio incrementó la producción de conos de polen, mientras que la aplicación en agosto-septiembre promovió la producción de conos de semillas. En conclusión, la giberelina A4/7 afecta

la reproducción de *Pinus strobus* L. de forma distinta según la concentración y el tiempo de aplicación. (Ho y Schnekenburger, 1992).

3.5. Control de plagas y enfermedades de conos y semillas

En el territorio mexicano, se ha documentado la ocurrencia de más de 200 especies de insectos y patógenos con la capacidad de inducir alteraciones significativas en la dinámica y estructura de los ecosistemas forestales. Estas afectaciones pueden generar pérdidas económicas sustanciales, derivadas directamente de la disminución en la productividad de los recursos forestales maderables y no maderables. Adicionalmente, conllevan importantes repercusiones ambientales, manifestándose en la reducción de la cobertura arbórea y el consecuente impacto negativo sobre la integridad y funcionalidad de los diversos hábitats naturales (Comisión Nacional Forestal, 2007).

3.5.1. *Conophthorus cembroides* Wood

El barrenador de conos del pino piñonero es un pequeño escarabajo marrón oscuro cuyas larvas ocreas sin patas se desarrollan dentro de los conos de varias especies de *Pinus*, incluyendo *P. cembroides*. Los adultos perforan conos y conillos, construyendo túneles, mientras que las larvas crean galerías irregulares alimentándose de las estructuras internas del cono. Los nuevos adultos emergen en verano, aunque algunos hibernan en los conos o brotes. Los adultos que emergen tardíamente atacan los conillos para pasar el invierno. Esta plaga es la principal amenaza para los conos de pino piñonero, causando hasta un 62% de pérdida en la cosecha debido a los dos periodos de ataque de los adultos (invernación y reproducción) (Cibrián Tovar y otros, 1986).

3.5.2. *Contarinia* sp.

Las larvas amarillas de 4-5 mm de este insecto se agrupan (2-25 individuos) en conos, causando hipertrofia de las escamas adyacentes que forman una cámara donde se alimentan de

las camas del cono. Infestaciones severas pueden matar el cono e incluso afectar la fase de cono. El insecto tiene una generación anual, con larvas visibles en conos de agosto a diciembre y pupas protegidas en capullos entre las escamas hipertrofiadas; se presume que los adultos emergen en primavera. La infestación en árboles individuales causa una mortalidad del 2-27% de los conos, y a nivel de grupo de árboles, se estima una mortalidad del 5%, clasificando a la especie como una plaga de importancia moderada (Cibrián Tovar y otros, 1986).

3.5.3. *Leptoglossus occidentalis* Heidemann, 1910

Este insecto plaga ataca diversas especies de pinos en México, alimentándose de los conos en desarrollo y pudiendo causar su muerte o dañar las semillas, reduciendo su viabilidad (endospermo colapsado). En *Pinus cembroides* y *Pinus ayacahuite* var. *brachyptera*, los adultos también consumen las semillas expuestas en conos abiertos. Con hasta tres generaciones anuales, todos los estados de desarrollo del insecto coexisten durante el año. Las hembras ovipositan en grupos de hasta 28 huevos. Esta plaga es una amenaza principal para la producción de piñón de *Pinus cembroides*, causando pérdidas de hasta el 30% de la cosecha, con importantes implicaciones económicas para los productores. (Cibrián Tovar y otros, 1986).

3.6. Trabajos Afines

En un estudio de productividad de *Pinus cembroides* en una plantación de 15 años (La Moraleja, Huimilpa, Querétaro), se cosecharon conos en 2000 y 2001. Una muestra aleatoria de 200 conos fue analizada detalladamente (peso fresco, número total de semillas, peso y dimensiones de las semillas). Se encontró una diferencia significativa ($P < 0.01$) entre años, con un aumento de más del 500% en la producción de conos al segundo año. A los 17 años, la plantación mostró un incremento adicional de aproximadamente el 3% respecto al año previo. (González Ávalos y otros, 2006).

El presente estudio evaluó la variabilidad morfológica de conos, semillas y plántulas de *Pinus cembroides* Zucc. de cinco procedencias de Hidalgo (La Mesa, San Miguel, El Arenalito, Pontadhó y El Porvenir). Se analizaron 15 conos por árbol y procedencia, evaluando longitud, diámetro, peso, número de escamas y semillas llenas. En semillas, se midió longitud, diámetro, peso, grosor de la testa, peso del megagametofito y embrión. Los resultados mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre procedencias y árboles en la mayoría de las variables. La Mesa destacó con los valores más altos en longitud (32.73 mm) y diámetro de conos (33.33 mm), así como en longitud (14.44 mm), diámetro (8.21 mm) y peso de semillas (0.44 gramos) (Romero González, 2005).

Con el objetivo de determinar la variabilidad en el potencial de producción de semillas, se recolectaron conos de *Pinus greggii* en Carrizal Chico, Veracruz, durante los años 2002, 2003 y 2004. El análisis de los datos indicó un promedio anual de 152.50 semillas por cono en 2002, alcanzando un máximo de 170.93 semillas por cono en 2003 y disminuyendo a 151.98 semillas por cono en 2004 (Alba Landa y otros, 2005).

Se llevó a cabo una polinización controlada de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* en Cerro de León, municipio de Villa Aldama, Veracruz. Los resultados mostraron un éxito de polinización del 26.66%, con conos de 2.20 cm de longitud promedio y un potencial de producción de 25 semillas por cono (Landa Rodríguez y otros, 2019).

Para la ejecución del proyecto, se seleccionaron inicialmente 10 árboles en una plantación de Perote, Veracruz. Seguidamente, se cosecharon 20 conos por árbol. Posteriormente, se analizó la base de datos obtenida mediante la prueba de Tukey, la cual indicó un potencial de producción promedio de 26.8 semillas. El promedio de semillas desarrolladas fue de 11.8 unidades, representando un 44.6% de desarrollo total. Finalmente, el análisis de varianza reveló diferencias significativas entre los árboles en los parámetros estudiados, evidenciando variación en la producción y desarrollo de semillas (García Fernández y otros, 2014).

El presente estudio evaluó las características morfométricas de estróbilos (longitud y diámetro) y semillas (dimensiones y peso) en 15 árboles de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* de Las Cuevas, Altzayanca, Tlaxcala, con el objetivo de determinar la variabilidad entre árboles. Se recolectaron 10 estróbilos por árbol para mediciones y extracción de semillas. Los estróbilos presentaron una longitud promedio de 3.796 cm y un diámetro de 3.514 cm. Las semillas mostraron una longitud promedio de 1.274 cm, una anchura de 0.717 cm y un peso de 0.375 mg. Los análisis de varianza indicaron diferencias significativas entre los individuos evaluados. (Sánchez Tamayo y otros, 2002).

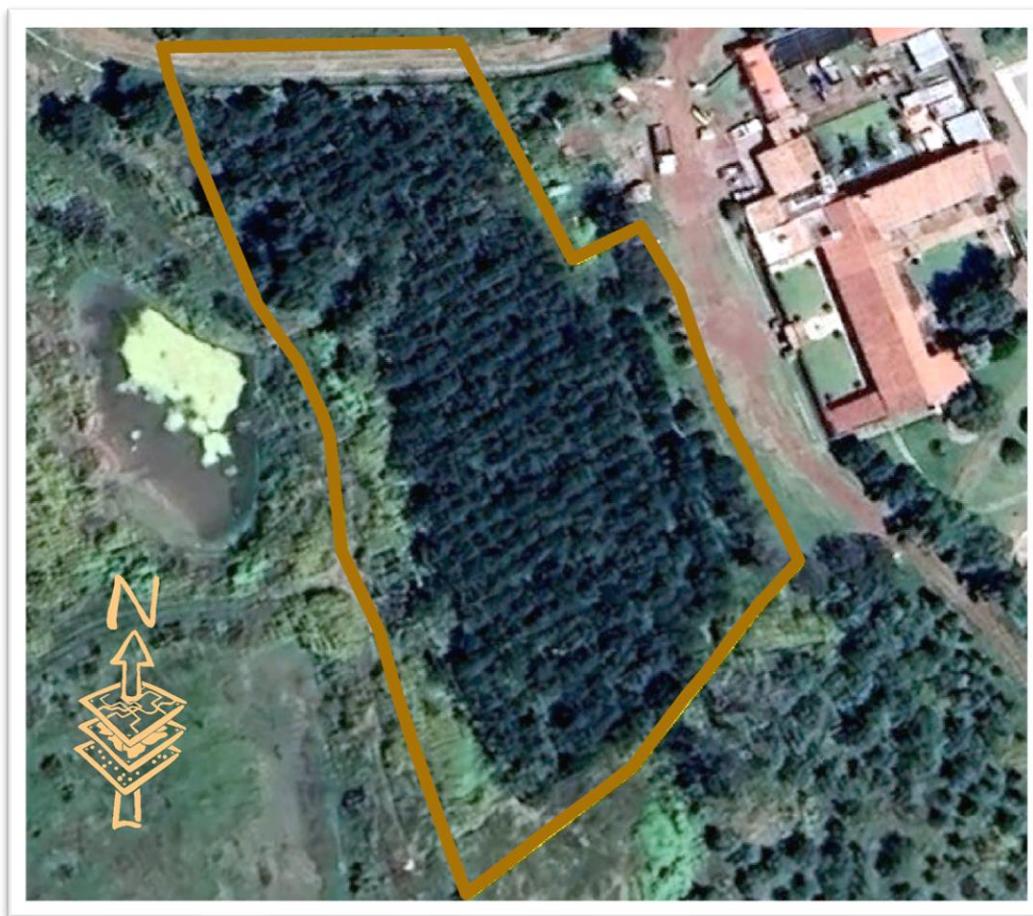
En el trabajo previo de Romero Lucio (2024) en la misma plantación de *Pinus cembroides* en Acatlán, Hidalgo en el año 2022, evaluó 40 conos y 40 semillas por cada uno de 75 árboles productores. Se midieron peso, dimensiones y número de semillas por cono, así como peso y dimensiones de las semillas. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre árboles. El árbol 22 fue el más productivo en conos con 165. Los árboles 20, 22, 30, 36 y 264 tuvieron los conos más pesados (25.7 g promedio), los árboles 264 y 30 los más largos (40.3 mm promedio), y los árboles 20, 22, 30 y 264 los de mayor diámetro (34.0 mm promedio). El árbol 264 tuvo más semillas por cono (21.8 promedio). En semillas, los árboles 20, 23, 149 y 152 tuvieron las más pesadas (0.71 g promedio), el árbol 23 las más largas (16.7 mm promedio) y el árbol 149 las de mayor diámetro (9.5 mm promedio). Los árboles 43 y 193 presentaron un 100% de semillas llenas.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la plantación de *Pinus cembroides* Zucc. que se encuentra situada en el Rancho La Cueva, ubicado en el municipio de Acatlán, Hidalgo. La plantación contaba con una edad de 19 años, y se tomaron 103 árboles para realizar el análisis.

Figura 1
Plano de ubicación del área de Estudio



Nota. La figura representa la ubicación geográfica del Rancho La Cueva, ubicado en el Municipio de Acatlán, Hidalgo, México.

4.2. Características ambientales del área de estudio.

4.2.1. Clima

El área de estudio se caracteriza por un clima templado subhúmedo, clasificado como C(wo). En este contexto, la temperatura media anual oscila entre los 12°C y 18°C. Asimismo, la temperatura del mes más frío se encuentra en un rango de -3°C a 18°C, mientras que la temperatura del mes más cálido se mantiene por debajo de los 22°C. En lo que respecta a la precipitación, el mes más seco presenta una cantidad inferior a 40 milímetros. Adicionalmente, se observa una concentración de lluvias durante el verano, con un índice P/T menor a 43.2. Finalmente, el porcentaje de precipitación invernal representa entre el 5% y el 10.2% del total anual (García y CONABIO, 1998).

4.2.2. Hidrología

Se localiza dentro de la región hidrológica número 26, conocida como Pánuco. Específicamente, se encuentra comprendida por la cuenca "D" del río Moctezuma y, de manera más precisa, por la subcuenca "V" del río Metztlán (INEGI, 2010).

4.2.3. Edafología

En el estudio de la plantación, se identifica un suelo clasificado como Feozem Háplico, el cual se caracteriza por su textura fina (INIFAP-CONABIO, 1995).

4.2.4. Vegetación

De acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el área de estudio se caracteriza por la presencia de agricultura tanto de riego anual como semipermanente (INEGI, 2021), pero por cuestiones de la plantación se convirtió en un área temporalmente forestal.

4.3. Cuantificación de la producción de conos femeninos

4.3.1. Colecta de cono

Para la recolección de los conos, se implementó un método manual cuando estos se encontraban a baja altura. No obstante, cuando los conos se ubicaban en la parte superior de los árboles, se recurrió al uso de escaleras y ganchos, ya que esta era la única forma de asegurar la extracción completa de todos los conos presentes en el árbol, como se muestra en la figura 2.

Figura 2
Colecta manual de conos



Se observó que a finales del mes de septiembre los conos presentaban cambios de color y algunos mostraban signos de apertura, por lo cual se inició la cosecha de todos los árboles de la plantación. Antes de cosechar cada árbol, se rotuló una bolsa de papel Kraft con el número correspondiente al árbol. Acto seguido, se recolectaron los conos y se depositaron en la bolsa previamente identificada, como se muestra en la figura 3. Finalmente, al término de cada jornada,

todas las bolsas de los árboles cosechados fueron trasladadas al laboratorio de Semillas y Germoplasma del Instituto de Ciencias Agropecuarias.

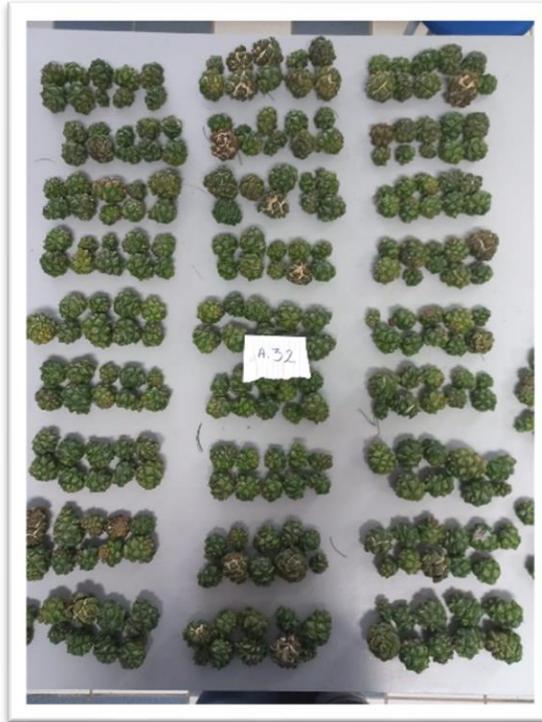
Figura 3
Almacenamiento de conos en bolsas de papel Kraft



4.3.2. Conteo de los conos

En el marco de la presente actividad, se llevó a cabo una clasificación exhaustiva de los conos, atendiendo a criterios de calidad predefinidos (figura 4). Para tal fin, se establecieron tres categorías diferenciadas: conos sanos, conos muertos y conos plagados. Se procedió al recuento individualizado de los conos pertenecientes a cada categoría, registrando los resultados obtenidos en la libreta de trabajo. Este procedimiento de conteo se aplicó a cada árbol cosechado que ingresó al laboratorio, con el objetivo de cuantificar la producción total de conos.

Figura 4
Conteo de conos

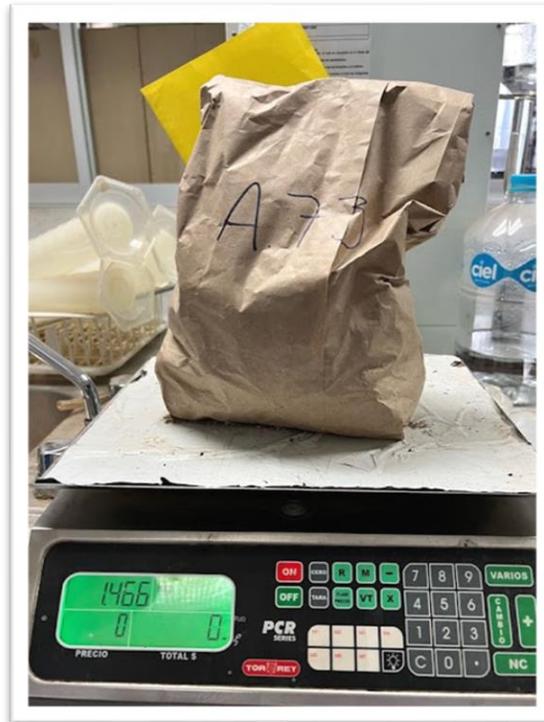


4.4. Evaluación de los conos

4.4.1. *Peso total*

Para determinar el peso fresco de los conos, se utilizó una báscula digital con precisión de lectura de milésimas de gramo (marca TORREY), como se muestra en la figura 5. Cada una de las bolsas se colocó sobre la balanza hasta la estabilización del número y se registró en una libreta de trabajo, asegurando un control detallado de los datos.

Figura 5
Pesado de conos en fresco



Posteriormente se separaron, las bolsas de los árboles con más de 30 conos producidos. De cada árbol se eligieron 30 conos al azar, los cuales fueron pesados individualmente en una báscula ADAM con precisión a las decimas de gramo (Figura 6). Se registró el peso de cada cono y se les asignó un número de identificación (Figura 7).

Figura 6
Pesado individual de cono



Figura 7
Conos pesados y etiquetados por árbol



A cada uno de los conos pesados se les extrajo la semilla, los conos cerrados se colocaron en charolas de unicel, rotuladas con el número de árbol y se expusieron a la radiación solar en el invernadero, tal como se evidencia en la figura 8. Este proceso permitió la deshidratación y la apertura de las escamas, posibilitando la extracción manual de las semillas. Las semillas se colocaron en bolsas de papel Kraft y se metieron dentro de un horno de secado (marca GRIEVE, modelo LW-201C) a 40 °C durante 48 horas para quitar el exceso de humedad tal como se muestra en la figura 9.

Figura 8
Conos expuestos en invernadero



Figura 9
Semillas dentro del horno de sacado



4.4.2. Longitud

Para la medición de las dimensiones de los conos, se empleó un calibrador digital de alta precisión (MITUTOYO 500-196 DC-6"CS ABSOLUTE DIGIMATIC), con una resolución de centésimas de milímetro. La metodología consistió en sujetar el cono con una mano y utilizar el calibrador con la otra, para determinar la longitud desde el pedúnculo hasta el ápice (véase la figura 10). Los datos obtenidos fueron registrados en una libreta de trabajo para su posterior análisis.

Figura 10
Medición de longitud de conos



4.4.3. Diámetro

La medición del diámetro de los conos se realizó empleando un calibrador digital de alta precisión (MITUTOYO 500-196 DC-6"CS ABSOLUTE DIGIMATIC), con una resolución de centésimas de milímetro. El procedimiento consistió en la sujeción del cono con una mano y la utilización del calibrador con la otra. En esta etapa, se obtuvieron dos mediciones de diámetro en la sección central del cono (figura 11). A partir de estas dos mediciones, se calculó el diámetro promedio, el cual fue registrado en la libreta de trabajo.

Figura 11
Medición del diámetro promedio de los conos



4.4.4. Conteo de las semillas por cono

La presente actividad consistió en la extracción de semillas de los 30 conos numerados, realizando un conteo detallado de las semillas, clasificándolas según su viabilidad en viables y abortivas. Este proceso individualizado, realizado cono por cono, permitió la recolección de semillas viables (figura 12), las cuales fueron depositadas en bolsas de papel Kraft, debidamente identificadas con el número de árbol correspondiente.

Figura 12
Extracción de semillas



4.5. Medición de las semillas

4.5.1. Viabilidad

Con el fin de llevar a cabo el método de flotación, se preparó en una jarra de plástico una solución compuesta por un 80% de agua y un 20% de alcohol, se vertieron las semillas de cada árbol en la solución y se dejó reposar un minuto (figura 13), después se procedió a separar las semillas flotantes, identificándolas como semillas vanas (figura 14), y las semillas hundidas, reconociéndolas como semillas viables. Finalmente, cada grupo de semillas se dispuso en una charola de unicel, la cual fue debidamente etiquetada con el número correspondiente al árbol de origen (figura 15). Este etiquetado se realizó con el propósito de mantener un registro preciso y un control adecuado durante el proceso de selección y clasificación de las semillas.

Figura 13
Colocación de semillas dentro de la solución

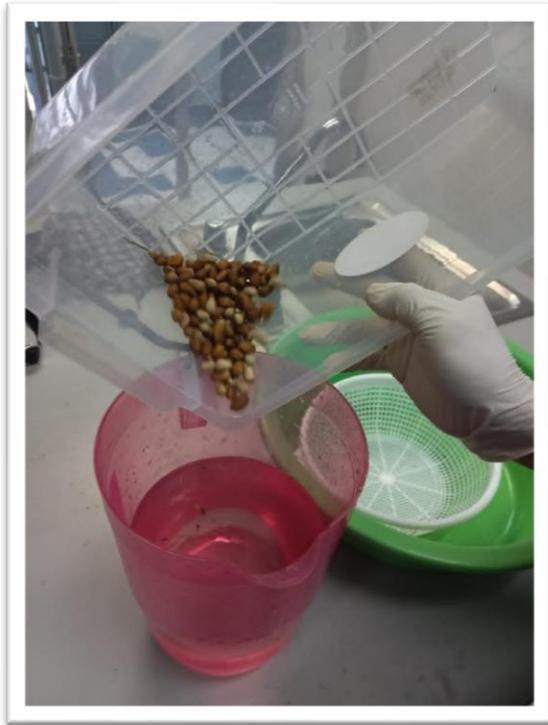


Figura 14
Semillas viables en el fondo y semillas vanas en la superficie del recipiente



Figura 15
Selección de semillas viables por densidad hundimiento en agua



4.5.2. Peso

De las semillas llenas separadas en el método de flotación, se procedió a la selección aleatoria de treinta semillas por árbol, en el caso de que algunos árboles no contaban con 30 no se consideraron para esta medición. A continuación, cada semilla fue etiquetada individualmente, señalando el número de árbol correspondiente y el número de semilla. Posteriormente, se realizó el pesaje individual de cada semilla mediante una balanza analítica con precisión a milésimas de gramo (marca ADAM modelo PW124) (figura 16).

Figura 16
Peso de semilla



4.5.3. Longitud

Con el propósito de determinar la dimensión longitudinal de las semillas, se procedió a medir su extensión desde la base hasta el ápice, para ello, se utilizó un calibrador vernier digital (MITUTOYO 500-196 DC-6"CS ABSOLUTE DIGIMATIC), herramienta con precisión a centésimas de milímetro que permitió obtener mediciones exactas (figura17).

Figura 17
Medición de longitud de semilla



4.5.4. Diámetro

Para el cálculo del diámetro se realizaron dos mediciones en la región central de cada semilla, empleando un calibrador vernier digital, con el propósito de obtener una alta precisión (figura 18 y 19). Posteriormente, para determinar el diámetro final de las semillas, se calculó el promedio aritmético de las dos mediciones obtenidas. Este procedimiento garantiza la obtención de un valor representativo y fiable del diámetro de las semillas.

Figura 18
Diámetro 1



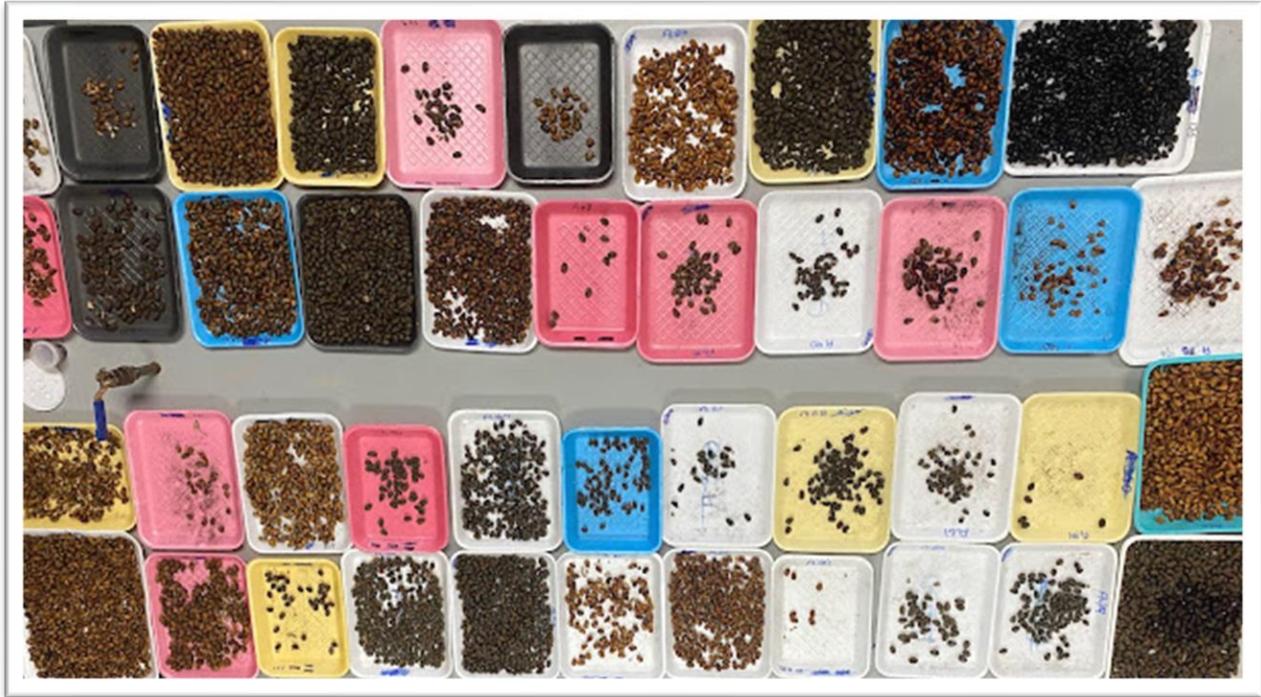
Figura 19
Diámetro 2



4.5.5. Color

En la presente actividad, se empleó la observación visual como método principal para la caracterización de las semillas (figura 20). Se estableció un sistema de clasificación basado en tres tonalidades de coloración: amarillo, negro y pinto. Esta categorización permitió la identificación y registro del color de las semillas de todos los árboles estudiados.

Figura 20
Colores de semillas



4.6. Análisis de datos

Todas las variables fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) bajo un diseño completamente al azar. Posteriormente, aquellas variables que mostraron diferencia estadística significativa fueron objeto de una prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia establecido en 0.05. Para la realización de estos análisis, se empleó el software estadístico Minitab® versión 18.1.

El modelo estadístico utilizado fue.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = el valor de la característica morfológica observada.

μ = es el promedio general si no se hubiese aplicado ningún tratamiento.

τ_i = es el efecto del tratamiento i .

ε_{ij} = es el error experimental cometido en la repetición j del tratamiento i .

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos para cada una de las variables estudiadas. Este apartado describe de manera exhaustiva los hallazgos derivados del análisis de los datos, proporcionando una visión clara y precisa de las tendencias y patrones observados.

5.1. Árboles

Durante el año 2023, se evaluaron 188 árboles, de los cuales sólo 103 fueron cosechados con una producción total de 9,043 conos. Se destaca que el árbol número 22 fue el de mayor rendimiento, con una producción individual de 1,213 conos. La distribución de la producción por árbol muestra que el 62% de los árboles presentaron una producción que osciló entre 2 y 57 conos, el 33% produjo entre 57 y 229 conos, y el 5% restante alcanzó producciones de 229 hasta 1,213 conos. En el caso de un estudio realizado en dos poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon en San Cristóbal y El Arenalito, municipio El Cardonal, Hidalgo, se encontró una producción mayor que la reportada en este estudio (48 conos por árbol), sólo para el año 2001 (87 conos por árbol), mientras que para el año 2002 (29 conos por árbol) y 2003 (27 conos por árbol) la producción por árbol fue menor; en dicho estudio se seleccionaron 25 árboles por población, los resultados revelaron una producción total de 2,188 conos en 2001, 747 conos en 2002 y 695 conos en 2003 (Quiroz Vázquez y otros, 2017).

5.2. Conos

En el siguiente apartado, se presentan las variables cuantificadas obtenidas de los conos recolectados. Se exponen los resultados numéricos derivados del análisis de los conos, proporcionando una visión detallada de las mediciones realizadas

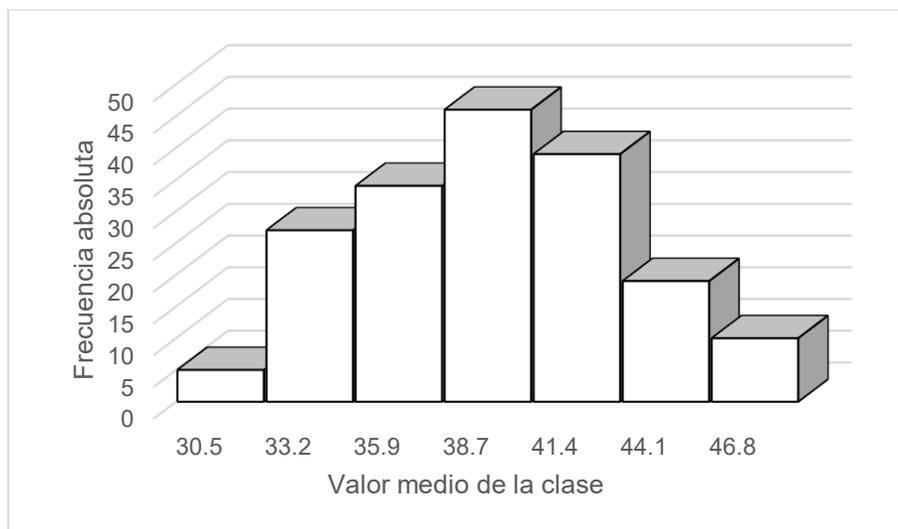
5.2.1. Longitud

De acuerdo con el análisis estadístico, en el cuadro 1 y figura 21 revela una variabilidad significativa en la longitud de los conos. El 47.3% de los conos tiene una longitud entre los 37.2 y 42.7 mm; existe una diferencia considerable entre el cono más grande y el más pequeño, con un 65.1% de variación. Además, es notable que solo un 5.6% de los conos alcancen longitudes superiores a los 45.4 milímetros.

Cuadro 1
Frecuencia de la longitud de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
29.160	31.873	30.516	5	0.028
31.873	34.586	33.229	27	0.150
34.586	37.299	35.942	34	0.189
37.299	40.011	38.655	46	0.256
40.011	42.724	41.368	39	0.217
42.724	45.437	44.081	19	0.106
45.437	48.150	46.794	10	0.056

Figura 21
Histograma de la longitud de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023



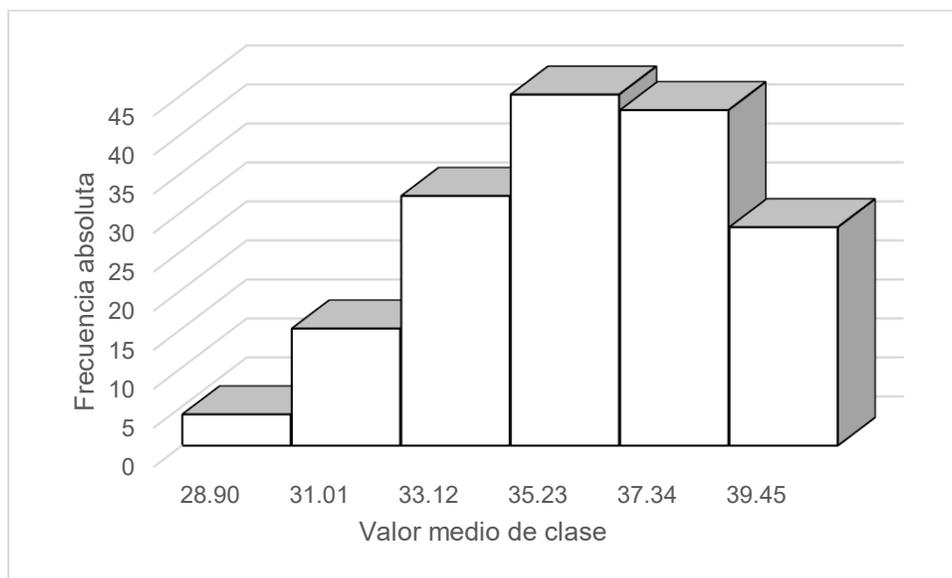
5.2.2. Diámetro

El análisis estadístico revela que el cono más grande es un 53% más ancho que el más pequeño (cuadro 2, figura 22). El 48.9% de los conos tienen un diámetro entre 34.18 y 38.40 milímetros. Sin embargo, solo un pequeño porcentaje que es el 7.2% supera los 40.51 mm de diámetro.

Cuadro 2.
Frecuencia del diámetro de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
27.85	29.96	28.90	4	0.022
29.96	32.07	31.01	15	0.083
32.07	34.18	33.12	32	0.178
34.18	36.29	35.23	45	0.250
36.29	38.40	37.34	43	0.239
38.40	40.51	39.45	28	0.156
40.51	42.62	41.56	13	0.072

Figura 22.
Histograma del diámetro de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



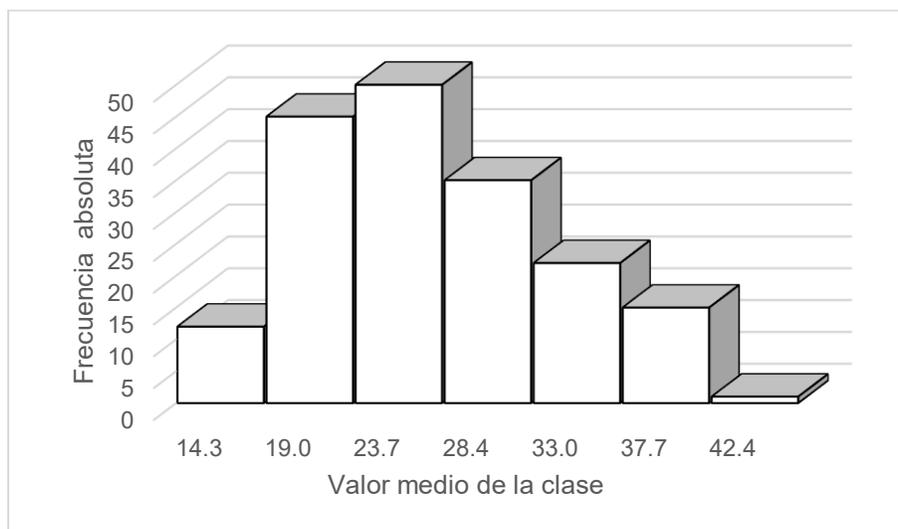
5.2.3. Peso

Los resultados del análisis estadístico presentados en el cuadro 3 y figura 23 indican una significativa disparidad en el peso de los conos, con una variación del 272% entre el cono más pesado y el más ligero. El intervalo de 16.6 a 26 gramos engloba al 52.8% de la muestra, mientras que solo el 0.5% de los conos exceden los 40 gramos.

Cuadro 3.
Frecuencia del peso de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
12.000	16.671	14.336	12	0.067
16.671	21.343	19.007	45	0.250
21.343	26.014	23.679	50	0.278
26.014	30.686	28.350	35	0.194
30.686	35.357	33.021	22	0.122
35.357	40.029	37.693	15	0.083
40.029	44.700	42.364	1	0.006

Figura 23.
Histograma del peso de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



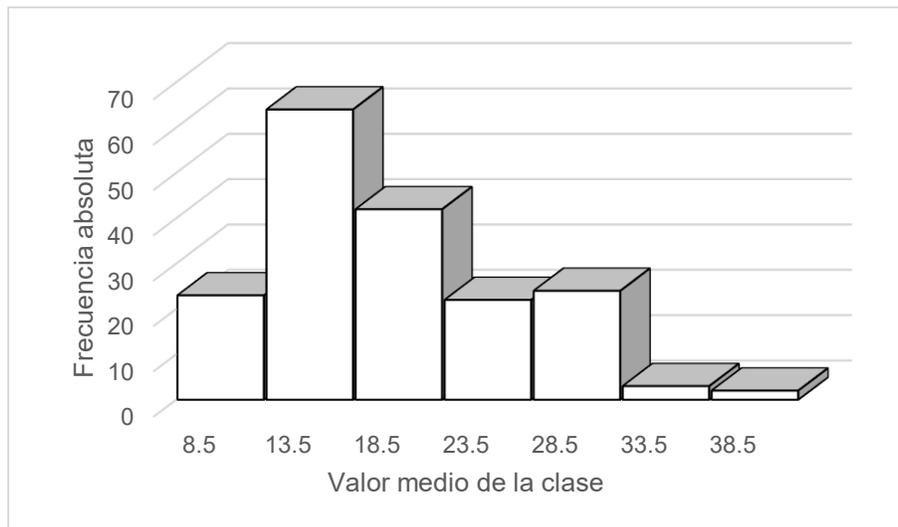
5.2.4. Número de semillas por cono

El análisis estadístico revela una diferencia del 583.3% en el número de semillas por cono en comparación con el valor mínimo (cuadro 4, figura 24). La mayoría de los conos 58.9% producen entre 11 y 21 semillas, mientras que solo un pequeño porcentaje 1.1% supera las 36 semillas.

Cuadro 4.
Frecuencia del número de semillas por cono de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
6	11	8.5	23	0.128
11	16	13.5	64	0.356
16	21	18.5	42	0.233
21	26	23.5	22	0.122
26	31	28.5	24	0.133
31	36	33.5	3	0.017
36	41	38.5	2	0.011

Figura 24.
Histograma del número de semillas por cono de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



5.3. Semillas

Los resultados derivados de la medición de las semillas se presentan de manera detallada en los siguientes cuadros y gráficos. Estos recursos visuales proporcionan una representación clara y concisa de los datos obtenidos, facilitando la interpretación y el análisis de los hallazgos.

5.3.1. Color de las semillas

El análisis de coloración de semillas reveló una distribución porcentual específica: el 21.35% de las semillas se caracterizó por una tonalidad amarilla, mientras que la proporción más significativa, alcanzando el 50.48%, correspondió a semillas de color negro. Finalmente, un 28.15% de las semillas presentaron una coloración pinta, evidenciando una variabilidad en la pigmentación dentro de la muestra analizada.

5.3.2. Viabilidad

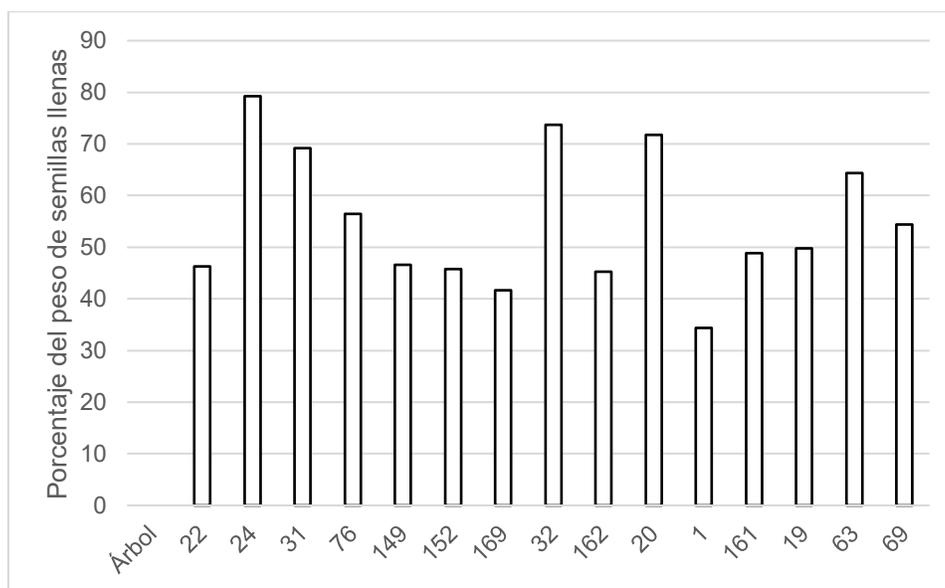
El análisis de los datos reveló una variación en la producción de semillas obtenidas en cada árbol. Se produjo un total de 33.11 kg de semilla, de las cuales el 17.80 kg son de las semillas viables, y el individuo más productivo alcanzó un valor de 2.05 kg de semilla llenas y corresponde al árbol 22. Es importante destacar que el árbol número 24 exhibió un porcentaje de semillas llenas del 79.24% del total, como se detalla en el cuadro 5 y figura 25.

Cuadro 5
Viabilidad de las semillas por árbol de *Pinus Cembroides*, del rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo, 2023.

Árbol	Peso total (Kg)	Peso Semillas Viables (Kg)	(%) Peso semillas llenas
22	4.44	2.05	46.31
24	1.42	1.12	79.24
31	1.31	0.90	69.22
76	1.33	0.75	56.41
149	1.09	0.51	46.59
152	1.40	0.64	45.73
169	1.27	0.53	41.67

32	1.00	0.74	73.75
162	0.98	0.44	45.21
20	0.92	0.66	71.74
1	0.87	0.30	34.41
161	0.76	0.37	48.81
19	0.74	0.37	49.73
63	0.73	0.47	64.31
69	0.69	0.37	54.36

Figura 25
Gráfica de viabilidad de semillas de los conos de *Pinus cembroides*, del rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo, 2023.



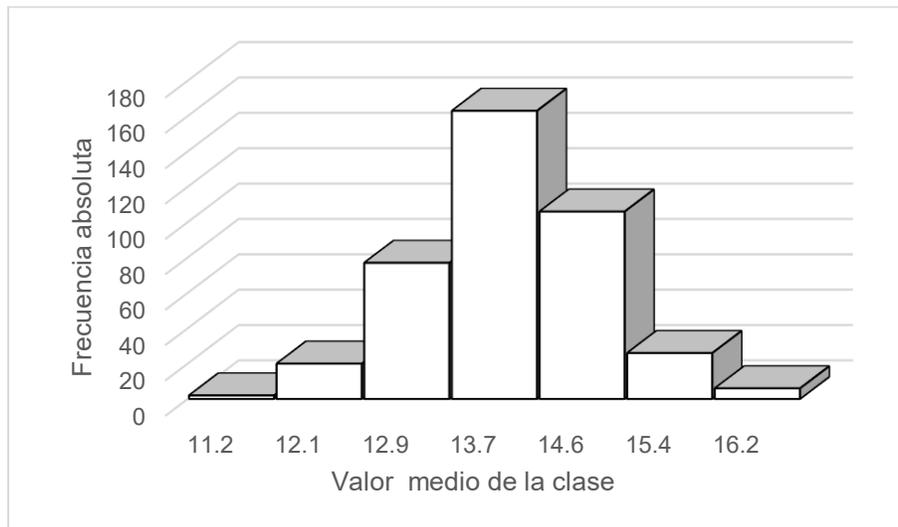
5.3.3. Longitud

El análisis de los datos de longitud de semilla revela una distribución con una concentración en el rango de 13.3 a 14.9 mm, donde se encuentra el 67.3% de las semillas (cuadro 6, figura 26). A pesar de esta tendencia, se observa una variabilidad considerable, con una diferencia máxima del 53.8% entre los tamaños extremos. Es relevante señalar que las semillas de mayor tamaño, superiores a 15.8 mm, representan solo el 1.5% de la población.

Cuadro 6.
Frecuencia de la longitud de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
10.83	11.66	11.246	2	0.005
11.66	12.50	12.079	20	0.050
12.50	13.33	12.912	77	0.193
13.33	14.16	13.745	163	0.408
14.16	14.99	14.578	106	0.265
14.99	15.83	15.411	26	0.065
15.83	16.66	16.244	6	0.015

Figura 26.
Histograma de la longitud de semillas producidas por los árboles de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023



5.3.4. Diámetro

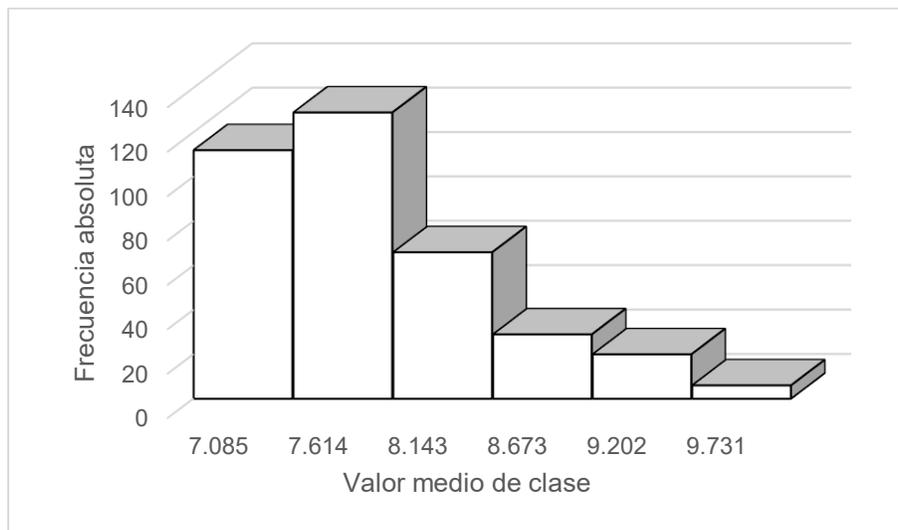
El análisis estadístico presentado en el (cuadro 7, figura 27) revela que existe diferencia en el diámetro de las semillas, la semilla más grande presenta un valor un 54.3% superior a la más pequeña. En cuanto a la distribución de tamaños, el 76 % de las semillas se encuentran en

el rango de 7.34 a 8.93 milímetros. Es importante destacar que solo el 1.5 % de las semillas excede los 9.9 mm de diámetro.

Cuadro 7.
Frecuencia del diámetro de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
6.820	7.349	7.085	38	0.095
7.349	7.879	7.614	112	0.280
7.879	8.408	8.143	129	0.323
8.408	8.937	8.673	66	0.165
8.937	9.466	9.202	29	0.073
9.466	9.996	9.731	20	0.050
9.996	10.525	10.260	6	0.015

Figura 27.
Histograma del diámetro de semillas producidas por los árboles de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023



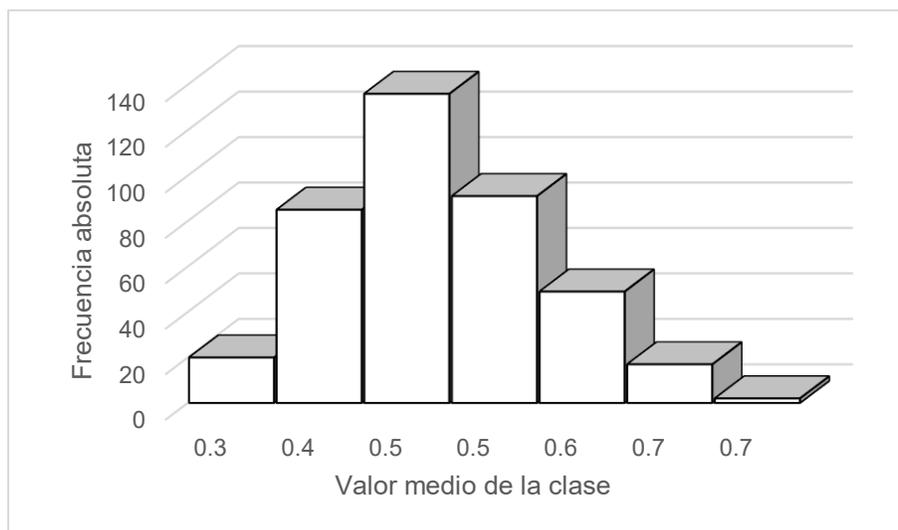
5.3.5. Peso

De acuerdo con el análisis estadístico presentado en el (cuadro 8, figura 28) se observa una heterogeneidad considerable en el peso de las semillas, la variación del peso es elevado, con un valor máximo que supera en un 188.8% al mínimo. La distribución de frecuencias muestra una concentración de valores entre 0.41 y 0.56 gramos con 56.8%, se tiene un porcentaje menor al 0.5% de semillas que sobrepasan los 0.71 gramos.

Cuadro 8
Frecuencia del peso de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Límite inferior	Límite superior	Valor Medio	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
0.270	0.344	0.307	20	0.050
0.344	0.417	0.380	85	0.213
0.417	0.491	0.454	136	0.340
0.491	0.564	0.528	91	0.228
0.564	0.638	0.601	49	0.123
0.638	0.711	0.675	17	0.043
0.711	0.785	0.748	2	0.005

Figura 28
Histograma del peso de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



5.4. Análisis de varianza de los conos

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos analizados, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Esta herramienta estadística resulta fundamental en estudios comparativos, ya que permite evaluar el efecto de una o más variables independientes sobre una variable dependiente, identificando posibles patrones, relaciones o discrepancias entre las medias de los grupos. De este modo, el ANOVA contribuye a una interpretación más rigurosa y objetiva de los datos obtenidos.

Para el presente estudio se seleccionaron los seis árboles con mayor producción, con el objetivo de analizar su rendimiento y características específicas. Esta elección se fundamentó en la necesidad de centrar el análisis en los ejemplares más representativos en términos de productividad, lo cual permite obtener información más precisa y relevante para la evaluación de los factores que influyen en el desempeño del cultivo.

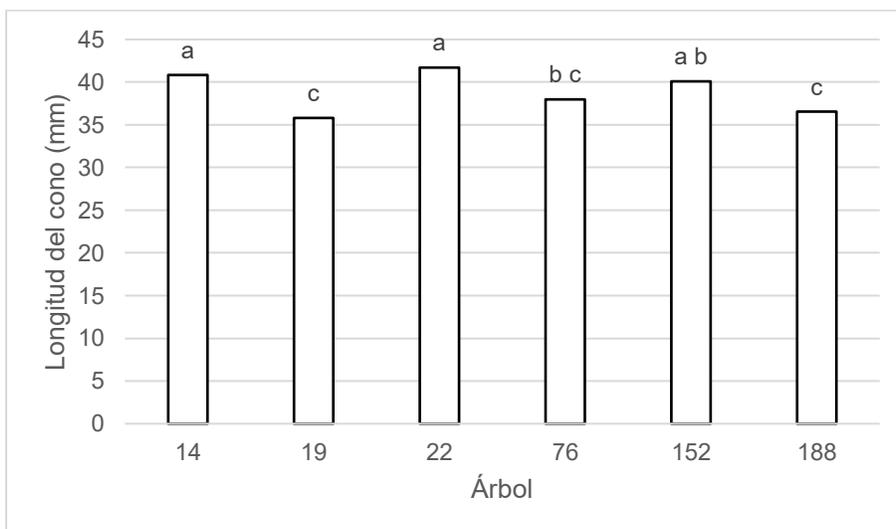
5.4.1. Longitud

Al realizar un análisis de varianza, encontramos diferencia significativa ($p \leq 0.05$) que sugieren que la longitud de los conos varía significativamente entre los distintos árboles estudiados (cuadro 9). Para determinar con mayor precisión estas diferencias, se aplicó la prueba de Tukey, la cual clasificó a los árboles en cuatro grupos (figura 29), el primer grupo con un valor promedio de 41.3 mm, el segundo con un valor promedio de 40.1 mm, el tercero con un valor promedio de 38 mm y el cuarto con un valor promedio de 36.2 milímetros.

Cuadro 9
Análisis de varianza para la longitud de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	5	289.5	57.896	13.06	0.000
Error	54	239.3	4.432		
Total	59	528.8			

Figura 29
Gráfica de comparación de medias de Tukey para la longitud de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023



Datos inferiores a este estudio los presenta González Ávalos y otros (2006), en la evaluación de una plantación de *Pinus cembroides* de 15 años en Querétaro encontraron una longitud promedio de entre 20.8 y 27 mm. Por otra parte González Ávalos y otros (2021) en un estudio realizado sobre *Pinus cembroides* Zucc en el estado de Hidalgo, obtuvieron los siguientes promedios de longitud de conos: La Mesa con 32.73 mm, San Miguel Tlazintla con 31.37 mm, Pontadhó y El Porvenir con 29.72 mm, mientras que El Arenalito presentó 25.50 mm, al igual que en el caso anterior estos valores son inferiores a los de este estudio. Mismo caso presentó el estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* en Cerro de León, municipio de Villa Aldama, Veracruz, en donde se reportó una longitud promedio de 22 mm en

los conos obtenidos (Landa Rodríguez y otros, 2019). Un valor similar a los aquí encontrados se consigna en una investigación llevada a cabo en ejemplares de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* localizados en Santa María las Cuevas, Altzayanca, estado de Tlaxcala, en donde se reportó una longitud promedio de 37.96 mm (Sánchez Tamayo y otros, 2002). En el estudio llevado a cabo en la misma plantación de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, en el año 2022 Romero Lucio y otros (2025), reportaron que los árboles identificados con los números 264 y 30 presentaron una longitud promedio de 40.3 milímetros, valores muy similares a los de este estudio en donde los árboles 14, 22 y 152 con una media entre 40.1 y 41.3 mm.

5.4.2. Diámetro

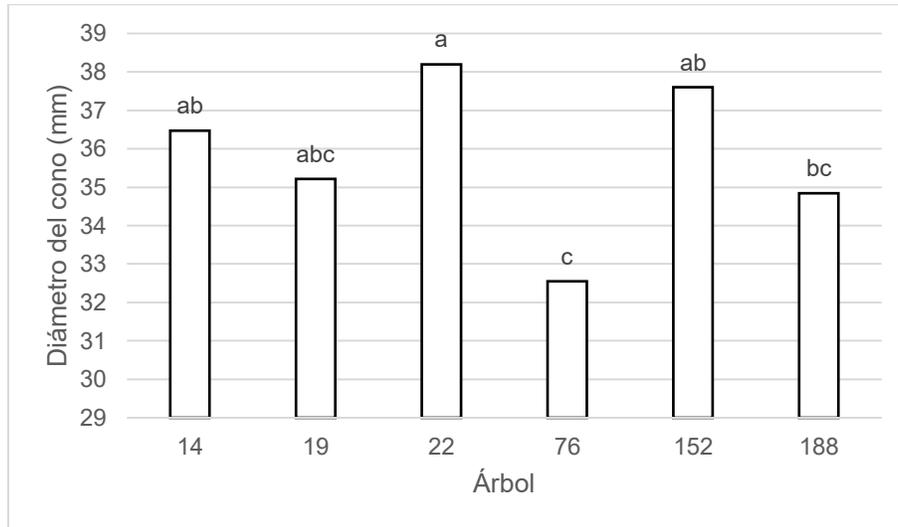
El análisis de varianza indicó diferencia significativa entre los árboles evaluados ($p \leq 0.05$) (cuadro 10), y la prueba de Tukey permitió clasificarlos en cinco grupos distintos, (figura 30) el primero lo integra el árbol 22 con un valor promedio de 38.2 mm, el segundo conformado por el árbol 14 y 154 con una media 37.5 mm, el tercero incluye al árbol 19 con un valor medio de 35.2 mm, el cuarto con el árbol 188 y un promedio de 34.8 mm y el quinto con el árbol 76 con una media de 32.5 milímetros.

Cuadro 10
Análisis de varianza para el diámetro de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	5	106.03	21.20	8.67	0.000
Error	24	58.72	2.44		
Total	29	164.75			

Figura 30

Gráfica de comparación de medias de Tukey para el diámetro de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



González Ávalos y otros (2006) consignan valores inferiores a los aquí encontrados respecto al diámetro de los conos en el estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides* Zucc. de 15 años en el estado de Querétaro, cuyo promedio fluctuó de 23.6 a 23.8 mm. Por otra parte, González Ávalos y otros (2021) también reportan diámetros inferiores respecto de los árboles que muestran los mayores promedios en este estudio, con un promedio para La Mesa y San Miguel Tlazintla de 33.0 mm, para El Porvenir y Pontadhó de 30.64 mm y 27.66 mm para El Arenalito; valores similares a los aquí encontrados se reportan en la investigación llevada a cabo en ejemplares de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* localizados en Santa María las Cuevas, Alzayanca, estado de Tlaxcala, en donde se reportó un diámetro promedio de 35.14 mm (Sánchez Tamayo y otros, 2002). En este estudio se identificaron a los árboles 22, 14 y 154 con valores superiores (de 37.5 a 38.2 mm) a los encontrados en el año 2022 en esta misma plantación, en donde los árboles identificados con los números 20, 22, 30 y 264 exhibieron un diámetro promedio de 34.0 milímetros (Romero Lucio y otros, 2025).

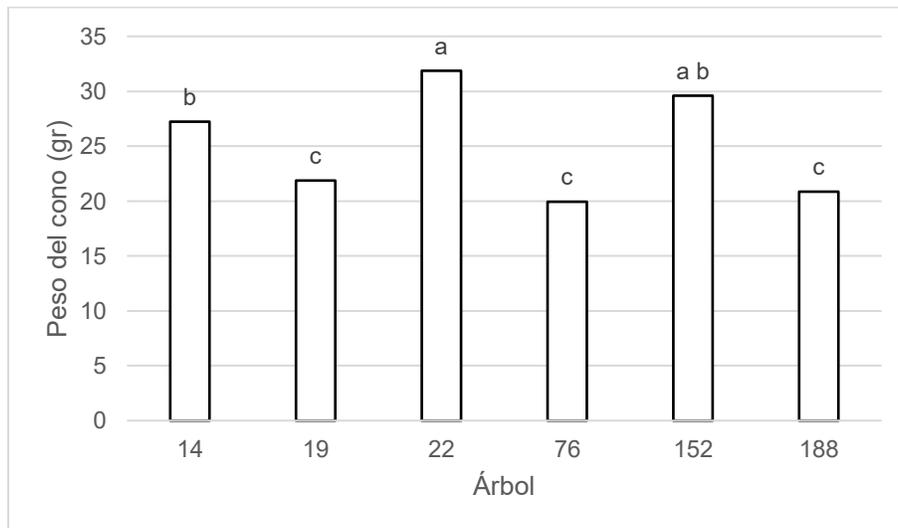
5.4.3. Peso

Los resultados del análisis de varianza muestran diferencia significativa en el peso de los conos ($p \leq 0.05$) (cuadro 11). La prueba de Tukey mostró que existen cuatro grupos claramente diferenciados (figura 31), el primero con 31.8 g, el segundo con 29.6 g, el tercero de 27.2 g y el cuarto con un valor medio de 20.9 gramos.

Cuadro 11
Análisis de varianza para el peso de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	5	1252.2	250.43	25.77	0.000
Error	54	524.7	9.717		
Total	59	1776.9			

Figura 31
Gráfica de comparación de medias de Tukey para el peso de los conos de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



Resultados inferiores a los aquí consignados respecto del peso en verde de los conos, los presentan González Ávalos y otros (2006) en el estudio llevado a cabo en una plantación de *Pinus cembroides* de 15 años en Querétaro con un peso promedio de 8.08 gramos; también

González Ávalos y otros (2021) en el estudio realizado en poblaciones de *Pinus cembroides* en Hidalgo refieren para la procedencia de La Mesa un peso promedio de 20.10 gramos, San Miguel Tlazintla con 18.88 gramos y Pontadhó con 14.13 gramos; mismo caso lo refiere Romero Lucio y otros (2025) en el trabajo realizado durante el año 2022 en la misma plantación de este estudio, en donde los árboles identificados con los números 20, 22, 30 y 264 exhibieron un peso promedio de 25.7 gramos para la variable analizada, mientras que en nuestro caso el árbol 22 presento un promedio de 31.8 gramos y el árbol 152 de 29.6 gramos.

5.4.4. Número de semillas por cono

El análisis de varianza muestra diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el número de semillas por cono entre los árboles estudiados (cuadro 12). La prueba de Tukey, utilizada para comparar las medias de estos grupos reveló seis categorías (figura 32), el primer grupo está integrado por el árbol 22 que presenta el mayor promedio con 28.5 semillas por cono.

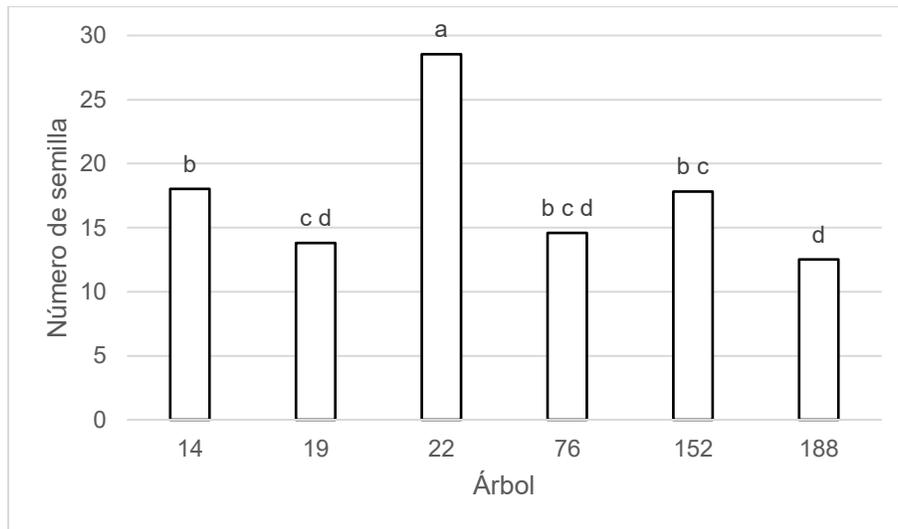
Cuadro 12

Análisis de varianza del número de semillas por cono de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	5	1692.2	338.430	35.66	0.000
Error	54	512.5	9.490		
Total	59	2204.6			

Figura 32

Gráfica de comparación de medias de Tukey para el número de semillas por cono de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



Respecto del número de semillas por cono estudios similares reportan valores promedio inferiores a los aquí encontrados tal es el caso de González Ávalos y otros (2006) que en su estudio llevado a cabo en una plantación de 15-16 años de *Pinus cembroides* Zucc en el estado de Querétaro encontraron un promedio de 2.09 semillas por cono. Por su parte González Ávalos y otros (2021) refieren en su estudio realizado en *Pinus cembroides* de diversas procedencias del estado de Hidalgo valores promedio de 15.01 semillas para El Porvenir, 12.25 para El Arenalito, San Miguel Tlazintla y La Mesa y 8.96 semillas en Pontadhó. Por otro lado, valores similares a los aquí encontrados los refiere Landa Rodríguez y otros (2019) en el estudio realizado en una plantación de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* ubicada en Cerro de León, municipio de Villa Aldama, Veracruz, en donde encontró una de producción promedio de 25 semillas por cono; mismo caso García Fernández y otros (2014) que en una plantación de *Pinus cembroides subsp. orizabensis* D.K. Bailey ubicada en la región de Perote, Veracruz, registra un valor medio de 26.8 semillas por cono.

Romero Lucio y otros (2025) en el estudio realizado durante el año 2022 en la misma plantación de *Pinus cembroides*, se determinó que el árbol identificado con el número 264 mostró

un promedio de 21.8 semillas por cono, mientras que en este estudio el árbol 22 promedió 28.5 semillas por cono.

5.5. Análisis de varianza de semillas

5.5.1. Longitud

El análisis de varianza demostró que existe una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) (cuadro 13) en la longitud de las semillas. La prueba de medias de Tukey, utilizada para realizar comparaciones múltiples, agrupó los datos en seis categorías (figura 33), el primero grupo representa el árbol 63 con el mayor valor promedio de 14.9 mm.

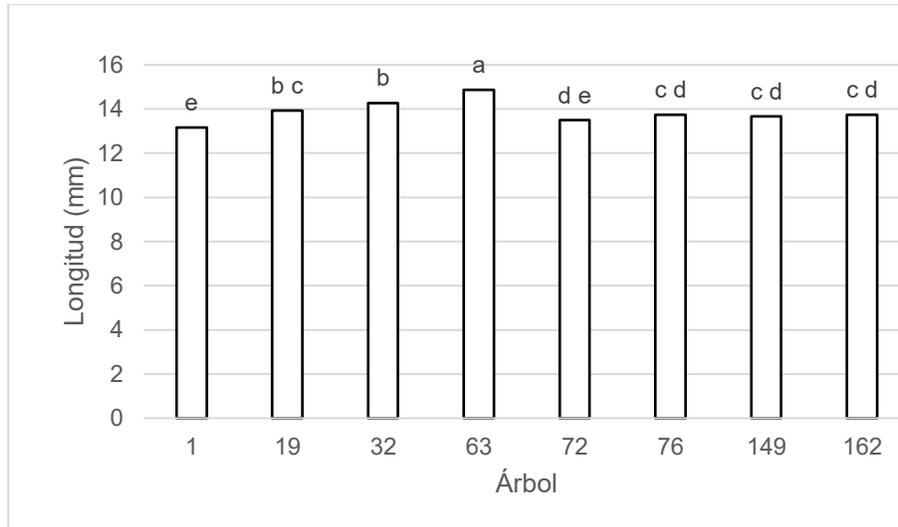
Cuadro 13

Análisis de varianza para la longitud de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	7	18.895	2.69927	30.29	0.000
Error	72	6.416	0.08911		
Total	79	25.311			

Figura 33

Gráfica de comparación de medias de Tukey para la longitud de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



Respecto de la longitud de las semillas se tienen resultados similares a los de este estudio como es el caso de González Ávalos y otros (2006) que en una plantación de *Pinus cembroides* de 15 años, en el estado de Querétaro, reporta un promedio de 14.21 mm y 13.85 mm a los 16 años; por su parte Romero González (2005) al analizar las semillas de *Pinus cembroides del estado de Hidalgo* encontró que La Mesa promedió 14.44 mm, San Miguel Tlazintla y Pontadhó una media de 13.49 mm, El Porvenir contaban con 12.63 mm y El Arenalito fueron las más pequeñas ya que obtuvieron solamente 12.11 milímetros. En el estudio realizado por Martí Llurba y otros (2022) se reportó un promedio de 14.02 mm, dicha variable no reportó diferencia significativa entre los distintos colores de testa (amarilla, negra y roja). Valores inferiores a los aquí consignados los refiere Sánchez Tamayo y otros (2002) en su investigación llevada a cabo en *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* ubicados en la localidad de Santa María Las Cuevas, Alzayanca, en el estado de Tlaxcala, donde se registró una longitud promedio de semillas de 12.74 mm. Romero Lucio y otros (2025) en su estudio realizado en el año 2022 en la plantación de *Pinus cembroides* localizada en el rancho La Cueva, identificaron al árbol número 22 con el

mayor promedio de la longitud de semillas con un valor de 16.7 mm, dato muy superior al máximo aquí encontrado que fue el árbol 63 con 14.86 mm.

5.5.2. Diámetro

Al realizar un análisis de varianza, se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en el diámetro de las semillas entre los árboles estudiados (cuadro 14). La prueba de medias de Tukey, aplicada posteriormente, permitió clasificar a los árboles en seis grupos (figura 34), el árbol con mayor valor promedio fue el 149 con 9.43 mm, seguido del árbol 63 con 8.29 mm, en el tercer grupo quedó el árbol 19 y una media de 8.06 mm, el árbol 1 y 32 integran el cuarto grupo con un promedio de 8.01 mm, en el quinto grupo están los árboles 76 y 162 con una media de 7.89 mm y en el sexto grupo estuvo el árbol 72 con 7.69 mm.

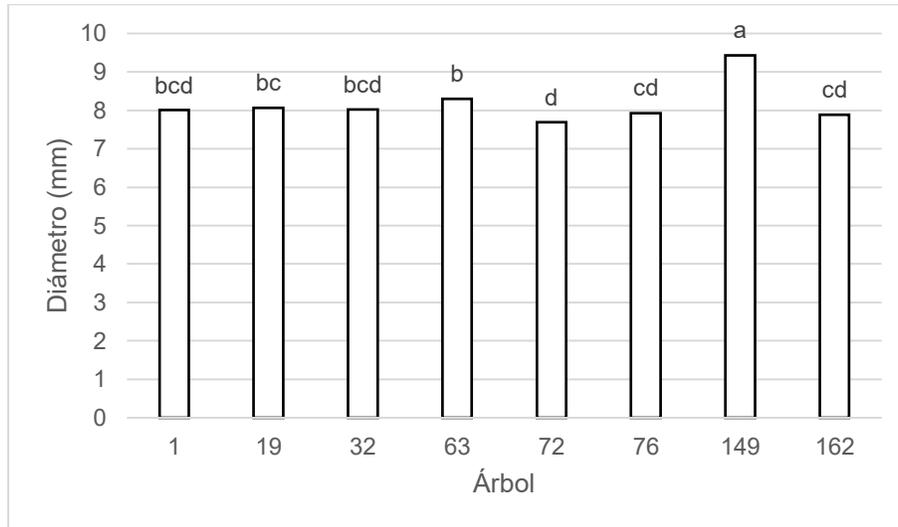
Cuadro 14

Análisis de varianza para el diámetro de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	7	20.412	2.915	48.84	0.000
Error	72	4.299	0.059		
Total	79	24.711			

Figura 34

Gráfica de comparación de medias de Tukey para el diámetro de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



González Ávalos y otros (2006) reportan valores similares a los de este estudio respecto del diámetro de las semillas, en su estudio llevado a cabo en una plantación de *Pinus cembroides* en Querétaro reportan un promedio de 8.88 milímetros en diámetro a los 15 años de edad y de 8.82 milímetros a los 16 años. Por otra parte, Romero González (2005) consigna promedios inferiores a los de esta investigación para el diámetro de las semillas de *Pinus cembroides* provenientes de distintas localidades del estado de Hidalgo, en La Mesa el diámetro promedio fue de 8.21 mm, en San Miguel Tlazintla y Pontadhó de 7.98 mm, en las procedencias El Arenalito y El Porvenir el diámetro medio fue de 7.17 milímetros. Mismo caso lo reporta Sánchez Tamayo y otros (2002) en su investigación llevada a cabo en especímenes de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* ubicados en la localidad de Santa María Las Cuevas, Altzayanca, en el estado de Tlaxcala, se documentó un diámetro promedio de semillas de 7.17 mm. Martí Llurba y otros (2022) también refieren valores inferiores a los aquí encontrados en el estudio que realizaron con semillas de *Pinus cembroides* de Pontadhó en Metztlán, Hidalgo en donde reportan un promedio de 8.27 mm. Valores similares en el diámetro de la semilla fueron reportados en el estudio realizado en el año 2022 en la misma plantación de *Pinus cembroides* localizada en Acatlán,

Hidalgo, se reportó que el árbol 149 mostro el mayor diámetro de semillas con un promedio de 9.5 mm (Romero Lucio y otros, 2025), y para este estudio se reporta al árbol 149 con un valor medio de 9.4 mm.

5.5.3. *Peso*

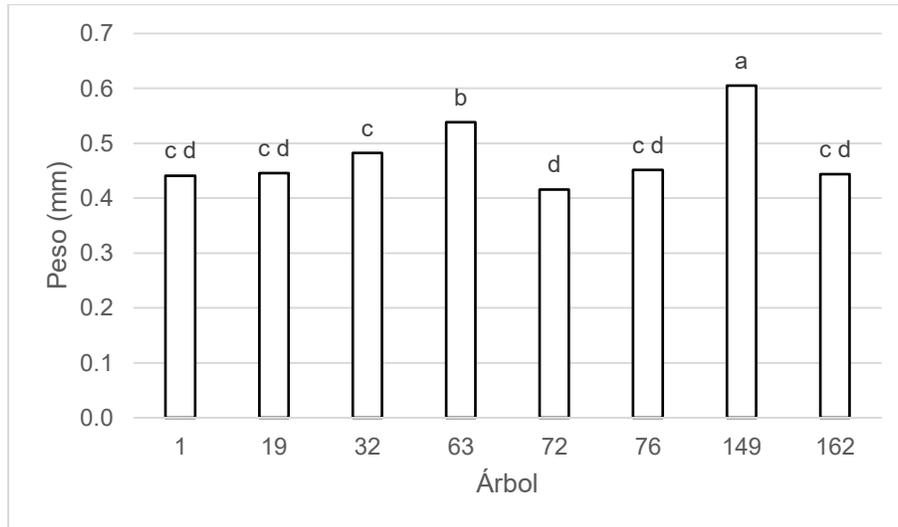
Al aplicar el análisis de varianza al peso de las semillas, se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los árboles estudiados (cuadro 21). La prueba de medias reportó cinco grupos, el primero lo integra el árbol 149 con un valor promedio de 0.60 gramos, seguido del árbol 63 con una media de 0.54 gramos, el tercer grupo incluye al árbol 32 con un promedio de 0.48 gramos, el cuarto grupo lo integran los árboles 1, 19, 76 y 162 con una media de 0.44 gramos y el quinto grupo lo representa el árbol 72 con un promedio de 0.42 gramos (figura 35).

Cuadro 15
Análisis de varianza para el peso de las semillas de Pinus cembroides del rancho La Cueva, 2023.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Árbol	7	0.27854	0.039792	41.25	0.000
Error	72	0.06945	0.000965		
Total	79	0.34800			

Figura 35

Gráfica de comparación de medias de Tukey para el peso de las semillas de *Pinus cembroides* del rancho La Cueva, 2023.



Valores similares respecto del peso de la semilla encontrado en este estudio lo reportan González Ávalos y otros (2006), en su estudio llevado a cabo en una plantación de *Pinus cembroides* de 15 años en Querétaro, registraron un peso promedio de semillas de 0.54 y 0.55 gramos. Por otra parte Romero González (2005) reporta valores inferiores a los de este estudio en una investigación del peso de las semillas de *Pinus cembroides* provenientes de distintas localidades en Hidalgo, La Mesa mostró un peso promedio de 0.44 g, San Miguel Tlazintla y Pontadhó con 0.37 g, El Porvenir con 0.34 g y El Arenalito con 0.30 gramos. También se reportan valores inferiores en la investigación llevada a cabo en árboles de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* ubicados en la localidad de Santa María Las Cuevas, Alzayanca, en el estado de Tlaxcala, se documentó un peso promedio de semillas de 0.375 mg (Sánchez Tamayo y otros, 2002). Martí Llurba y otros (2022) también reportan valores inferiores a los de este estudio, en el estudio realizado a las semillas de *Pinus cembroides* de Pontadhó de Metztitlán, Hidalgo encontró un peso promedio para la semilla de testa roja de 0.450 gramos y para la semilla de testa amarilla y negra una media de 0.421 gramos. Hernández Anguiano (2016). en su estudio de semillas de *Pinus cembroides* y *Pinus orizabensis* reporta un peso promedio de 0.502 gramos

y 0.373 gramos, que al igual que los casos anteriores también son datos inferiores a los aquí consignados. Romero Lucio y otros (2025) En el estudio realizado durante el año 2022 en la plantación de *Pinus cembroides* localizada en el rancho La Cueva, municipio de Acatlán, Hidalgo, encontraron valores superiores a los aquí reportados en donde el árbol 149 y 63 promediaron 0.60 y 0.54 respectivamente, mientras que sus árboles 20, 23, 149 y 152 mostraron un peso promedio de 0.71 gramos.

VI. CONCLUSIONES

Existe una diferencia estadística significativa entre árboles para todas las variables medidas en conos y semillas, lo cual permite realizar una selección de aquellos individuos que tengan las características deseables de producción de conos y de características morfológicas de las semillas, tales como el color, longitud y peso, con fines de reproducción y establecimiento de plantaciones comerciales.

VII. REFERENCIAS

- Alba Landa, J., & Márquez Ramírez, J. (2006). Potencial y eficiencia de producción de semillas de Pinus oaxacana Mirov de Los Molinos, Perote, Veracruz. *Foresta Veracruzana*, 8(1), 31-36. Xalapa, México: Recursos Genéticos Forestales.
- Alba Landa, J., Márquez Ramírez, J., & 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. *Foresta Veracruzana*, 7(2), 37-40.
- Alba Landa, J., Ramírez García, E. O., & Rojas Pérez, G. (2006). Variación en semillas de Pinus greggii Engelm. En el municipio de Naolinco, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 8(2), 7-12. Xalapa, Veracruz: Recursos Genéticos Forestales.
- Antonio Bautista, A. (2012). *Manual de Ensayos de Semillas Forestales*. Secretaria de Medio Ambiente.
- Aragón Peralta, R., Rodríguez Ortiz, G., Vargas Hernández, J. J., Enríquez del Valle, J. R., Hernández Hernández, A., & Campos Ángeles, G. V. (Mayo-Junio de 2020). Selección fenotípica y características reproductivas de Pinus pseudostrobus var. oaxacana (Mirov) S.G.Harrison. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(59). <https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.700>
- Aragón Piña , E., Garza Herrera , A., Gonzál Elizondo, M., & Luna Vega, I. (2010). Composición y estructura de las comunidades vegetales del rancho El Duranguense, en la Sierra Madre Occidental, Durango, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81(3), 771- 787. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=42518439018>
- Arriaga M., V., Cervantes G., V., & Vargas Mena, A. (1994). *Manual de reforestación con especies nativas*. (Sedesol, Ed.) D.F, México: Instituto Nacional de Ecología .
- Asociación Nacional de la Industria de los Fertilizantes. (1992). *Los fertilizantes y su uso*. París: FAO. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d81ae4cf-54e9-421d-8bac-d36719b2eaf0/content>
- Barrio Anta, M., Castedo Dorado, F., Hevia Cabal, A., & Majada Guijo, J. (2009). *Manual básico de la poda y formación de los árboles forestales*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Cibrián Tovar, D., Méndez Montiel, J., H. Ebel , B., & Yates III, H. (1986). *Insectos de conos y semillas de las coníferas de México*. Asheville, Carolina del Norte, USA: Estación Experimental Forestal del Sureste.
- Comisión Nacional Forestal. (2007). *Manual de Sanidad Forestal*.
- Constante García , V., Villanueva Díaz , J., Cerrano Paredes , J., Cornejo Oviedo , E., & Valencia Manzano , S. (2009). Dendrocronología de Pinus cembroides Zucc. y reconstrucción de

- precipitación estacional para el sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal en México*, 34(106), 17-39.
- Dominguez Calleros, P. A., Navar Chaidez, J., Pompa García, M., & Treviño Garza, E. (2016). Producción de conos y semillas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. en Nuevo León, México. *Foresta Veracruzana*, 18(2), 29-36. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49748829004>
- Eguiluz, T. (1982). Clima y distribución del género pinus en México. 38, 7, 40-44. *Revista Ciencia Forestal*.
- Eguiluz, T. (1982). Clima y distribución del género Pinus en México. *Revista Ciencia Forestal*, 38(7), 40-44.
- Espinosa Uranga, M. (2006). Evaluación de crecimiento de tres especies de árboles de navidad y análisis de sus costos de producción. *Tesis de Licenciatura*, 130. Tulancingo de Bravo, Hidalgo, México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Farjon, A., Perez de la Rosa, J., & Styles, B. (1997). *Guía de campo de los Pinos de México y América Central*. (S. Dickerson, Ed.) The Board of Trustees of the The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Flores López, C., Návar Chávez, A., Parra Ortiz, J., & Vargas Hernández, M. (2021). Diversidad genética en poblaciones naturales de *Pinus cembroides* Zucc. en el norte de México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 44(2), 229-240.
- Flores Olvera, R. (1985). Estudio florístico-ecológico de *Pinus cembroides* Zucc. en Nuevo León. *Memorias del 1er Simposio Nacional sobre Pinos Piñoneros*. Linares, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Fonseca Juárez, R. (2003). De piñas y piñones. *Ciencias* 69, 64- 65.
- García Fernández, E., Ramírez-García, E. O., Mendizábal-Hernández, L. d., Alba Landa, J., & Márquez Ramírez, J. (2014). Parámetros de producción de semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey de una plantación en la región de Perote Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 16, 37-42.
- García R., E., Sotomayor G., A., Silva P., S., & Valdebenito R., G. (2000). *Establecimiento de Plantaciones Forestales. Eucalyptus sp.* LOM Ediciones.
- García, E., & CONABIO. (1998). *Climas*.
- González Ávalos, J., Romero González, O., Hernández Lazcano, A., González Ávalos, R., Peña Revuelta, B., & Salgado Mora, M. (2021). Variación morfológica de conos de *Pinus cembroides* Zucc. del estado de Hidalgo. En J. González Ávalos, A. Hernández Lazcano, & B. Ávila Castillo, *La investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH* (págs. 16-29). Académica española.
- González Avalos, J., García Moya, E., Cetina Alcalá, V. M., Vargas Hernández, J., Trinidad Santos, A., & Romero Manzanares, A. (2005). Variación morfológica e índice de calidad en plantas de *Pinus cembroides* var. *cembroides* Zucc. *Ciencia Forestal en México*, 30(97), 29-44.

- González Ávalos, J., García Moya, E., Vargas Hernández, J., Trinidad Santos, A., Romero Manzanares, A., & Cetina Alcalá, V. (2006). Evaluación de la Producción y Análisis de Conos y Semillas de *Pinus cembroides* Zucc. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12, 133-138.
- González Ávalos, J., Romero González, O. G., Hernández Lazcano, A., González Ávalos, R., Peña Revuelta, B., & Salgado Mora, M. G. (2021). Variación morfológica de conos de *Pinus cembroides* Zucc. del estado de Hidalgo. En J. González Ávalos, A. Hernández Lazcano, & B. R. Avila Castillo, *La investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH. Resultados y avances 2021* (pág. 80). Editorial Académica Española.
- Granados Sánchez, D., & Sánchez González, A. (2003). Clasificación fisonómica de la vegetación de la Sierra de Catorce, San Luis Potosí, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Terra Latinoamericana*, 21(3), 321-332. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57321303>
- Granados Victorino, R., Granados Sánchez, D., & Sánchez González, A. (2015). Caracterización y ordenación de los bosques de pino piñonero (*Pinus cembroides* subsp. *orizabensis*) de la cuenca oriental (Puebla, Tlaxcala y Veracruz). *Madera y Bosques*, 21(2), 23-42.
- Harcharik, D. A. (1981). The timing and economics of irrigation in loblolly pine seed orchards. *P h. D. thesis*. Raleigh: North Carolina State University .
- Hare, R. (1983). Application method and timing of gibberellin A4/7 treatments for increasing pollen cone production in southern pines. (U. S. Service, Ed.) *Can. J. For. Res*, 14.
- Hernández Anguiano, L. (2016). Variación en indicadores reproductivos, semillas y plantulas de *Pinus cembroides* Zucc. y *P. orizabensis* D.K. Bailey & Hawksw. *Tesis de maestría*. Texcoco, Estado de México: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Hernández Hernández, A., Reyes Reyes, M. A., Rodríguez Ortiz, G., Gómez Cárdenas, M., Velasco Velasco, V. A., & Enríquez del Valle, J. R. (2019). Conos y semillas de fenotipos selectos de *Pinus patula* var. *longipedunculata* de procedencias de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 6(2), 157.167.
- Ho, R., & Eng, K. (1995). Promotion of cone production on field-grown eastern white pine grafts by gibberellin A4,7 application. *Forest Ecology and Manageme*, 75, 11- 16.
- Ho, R., & Schneckeburger, F. (22 de Noviembre de 1992). Gibberellin Ad/7 promotes cone production on potted grafts of eastern white pine. *Tree Physiology*, 197-203.
- Ibarra Ibáñez, N., & Martín Bernal, E. (1910). *Plagas y enfermedades de las masas forestales españolas n.º 45 Leptoglossus occidentales Heideman, 1910; Chinche americano*.
- INEGI. (2010). *Compendio de información geografía municipal 2010 Acatlán*. Hidalgo .
- INEGI. (2021). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250000, serie VII (continuo nacional)*.
- INIFAP-CONABIO. (1995). *Edafología*.

- Ipinza C., R., Molina B., M., Emhart, V., & Ortiz N., O. (2014). *Manejo de huerto semillero clonal de Eucalyptus nitens con bajas tensiones de crecimiento rucamanqui*. Chile: Infor.
- Landa Rodríguez, E., Mendizábal Hernández, L., Alba Landa, J., & Rodríguez Juárez, M. (2019). Producción temprana de semillas de pinus cembroides subsp. orizabensis D.K. Bailey a partir de polonización controlada. *Recursos Genéticos Forestales, México Foresta Veracruzana*, 21(2).
- Landis, T., Tinus, R., & Barnett, J. (1998). *Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor. Volumen 6. Propagación de Plantas*. (Vol. 6). Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-FS).
- López Hernández, H. (2013). Evaluación del efecto de hormonas reguladoras de crecimiento y tres tipos de podas en Pinus cembroides Zucc. *Tesis de Licenciatura*. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Lozano García, M., Vargas Hernández, M., Parra Ortiz, J., & Nívar Chávez, A. (2016). Daño causado por barrenadores de corteza (Coleoptera: Scolytidae) en Pinus cembroides Zucc. en Zacatecas, México. *Agrociencia*, 51(6), 857-866.
- Martí Llurba, N., González Ávalos, J., Hernández Lazcano, A., González Ávalos, R., Salgado Mora, M. G., & Hernández León, S. (2022). Análisis morfológico de las semillas de Pinus cembroides Zucc. de Pontadhó, Metztlán, Hidalgo. En J. González Ávalos, A. Hernández Lazcano, & P. J. Parra Gil, *La investigación en el Instituto de Ciencias Agropecuarias de la UAEH* (pág. 110). Académica Española.
- Maya Barajas, B. (Junio de 2023). Indicadores reproductivos de conos y semillas de Pinus remota (little) D.K. Bailey et Hawksw en Santa Catarina, Nuevo León. *Tesis de licenciatura*. Saltillo, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Meza Álvarez, H. (2006). Estudio ecológico del bosque de piñonero (Pinus cembroides Zucc.) del municipio de Santiago de Anaya, Hidalgo. *Tesis de Licenciatura*. Tulancingo, Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Moctezuma López, G., & Flores, A. (9 de Diciembre de 2020). Importancia económica del pino (Pinus spp.) como recurso natural en México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(60), 161-185.
- Monárrez G., J. (2000). *Guía para el establecimiento, manejo y comercialización de plantaciones especializadas de árboles de navidad*. México: Chapingo.
- Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, J., Gómez Cárdenas, M., Hernández Ramos, J., & Barrera Ramírez, R. (2023). Variación morfológica en semillas de Pinus pseudostrobus Lindl. altamente productores de resina. *Acta Universitaria*, 33(e3549). <https://doi.org/https://doi.org/10.15174/au.2023.3549>
- Nívar Chávez, A., Vargas Hernández, M., Parra Ortiz, J., & Hernández Estrada, E. (2012). Producción de piñón en Pinus cembroides Zucc. en Zacatecas, México. *Agrociencia*, 47(6), 877-886.

- Nunes, A., Pereira, H., Tomé, M., Silva, J., & Fontes, L. (2016). Tomography as a method to study umbrella pine (*Pinus pinea*) cones and nuts. (I. N. (INIA), Ed.) *Forest Systems*, 25(2), 1-5. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5424/fs/2016252-08930>
- Núñez Rodríguez, D. (6 de Marzo de 2024). Germinación y Supervivencia de plantulas de *Pinus pinceana* Gordon. *Tesis de Licenciatura*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Oliva, M., Vacalla, F., Pérez, D., & Tucto, A. (2014). *Manual recolección de semillas de especies forestales nativas: Experiencia en Molinopampa, Amazonas- Perú*. Chachapoyas, Perú: Organización Internacional de las Maderas Tropicales (ITO).
- Ozuna, C., Cerón García, A., Gómez Salazar, J., Salazar solís, E., Sosa Morales, M., & Abraham Juárez, M. (2016). Potencial de productos alimenticios originarios de la zona noreste de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 26(NE-2), 83-92. <https://doi.org/10.15174/au.2016.1529>
- Parra Álvarez, J., Granados Sánchez, D., Granados Victorino, R. L., & Villanueva Morales, A. (30 de Diciembre de 2022). Caracterización estructural y clasificación de los bosques piñoneros de San Luis Potosí, México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1), 61-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.03.021>
- Porta, H., & Jiménez Nopala, G. (2019). Papel de las hormonas vegetales en la regulación de la autofagia en plantas. *Revista Especializada en Ciencias Químico- Biológicas*, 22, 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2019.0.160>
- Quiroz Vázquez, R. I. (2015). Características reproductivas y estructura de poblaciones de *Pinus pinceana* gordon en el estado de Hidalgo. *Tesis de doctorado*, 36-55. Texcoco, Edo. de México: Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas.
- Quiroz Vázquez, R., López Upton, J., Cetina Alcalá, V., & Ángeles Pérez, G. (enero-febrero de 2017). Capacidad reproductiva de distribución de *pinus pinceana* gordon en el limite sur de su distribución natural. *Agrociencia*, 51(1), 91-104. <https://doi.org/http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30249773008>
- Ramírez García, E. O., Márquez Ramírez, J., Alba Landa, J., Mendizábal Hernández, L., & Cruz Jiménez, H. (2022). Estudio de conos de *pinus oaxacana* mirov. en una prueba de procedencias/progenie en los molinos, Veracruz, México. *Foresta Veracruzana*, 23(2). <https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49770445012>
- Reyes Carrera, S., Méndez González, J., Nájera Luna, J., & Cerano Paredes, J. (2013). Producción de hojarasca en un rodal de *Pinus cembroides* Zucc. en arteaga Coahuila, México y su relación con las variables climáticas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(1), 147-155. <https://doi.org/https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.01.006>
- Romero González, O. G. (2005). Variación Morfológica de conos y semillas de cinco procedencias de *Pinus cembroides* Zucc en Hidalgo. *Tesis de Licenciatura*. Tulancingo, Hidalgo, México.

- Romero López, C., Návar Chávez, A., Vargas Hernández, M., & Parra Ortiz, J. (2017). Dinámica de la erosión hídrica y su efecto en la fertilidad del suelo en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. en Zacatecas, México. *Agrociencia*, 55(2), 221-232.
- Romero Lucio, E. Y., González Ávalos, J., Hernández Lazcano, A., González Ávalos, R., Escobedo Luna, T., & Hernández Vargas, J. A. (2025). Análisis estructural y producción de conos femeninos y semillas en un huerto de *Pinus cembroides* Zucc. en el estado de Hidalgo. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 19(3), 1-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-133>
- Romero Lucio, E., González Ávalos, J., Hernández Lazcano, A., González Ávalos, R., Escobedo Luna, T., & Hernández Vargas, J. A. (2025). Análisis Estructural Y Producción De Conos Femeninos Y Semillas De Un Huerto De *Pinus Cembroides* Zucc. En El Estado De Hidalgo. *Revista de Gestão Social e Ambiental e-*, 19(3), 1-12. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.24857/rgsa.v19n3-133>
- Ruíz Galvan, C. (1994). Crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. bajo dos niveles de humedad del suelo. *Tesis de Licenciatura*, 102. México: UACH, Chapingo.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1a. Edición digital ed.). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Sánchez Tamayo, V., Mendizábal Hernández, L. d., & Rebolledo Camacho, V. (2002). Variación en conos y semillas de *Pinus cembroides* subsp. *orizabensis* D.K. Bailey de las cuevas, Altzayanca, Tlaxcala. *Foresta Veracruzana*, 4(1), 25-30.
- Tellez Girón, V., Návar Chávez, A., Vargas Hernández, M., & Parra Ortiz, J. (2014). Captura de carbono y secuestro en plantaciones de *Pinus cembroides* Zucc. en Zacatecas, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 39(1), 7-18.
- Trujillo, E. (1995). *Manejo de semillas forestales Guia tecnica para el extencionista forestal*. Turrialba , Costa Rica : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Vallejo Maldonado, 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*. Linares, Nuevo León, México: Universidad Autónoma de Nuevo León Facultad de Ciencias Forestales Subdirección de postgrado.
- Vargas Hernández, M., Návar Chávez, A., Parra Ortiz, J., & Hernández Estrada, E. (2012). Comercialización del piñón (*Pinus cembroides* Zucc.) en Zacatecas, México. *Agrociencia*, 46(5), 721-730.
- Vázquez Cuecuecha, O. G., Ramírez-García, E. O., & Alba Landa, J. (2004). Variación de conos y potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov en una población del Estado de Tlaxcala, México. *Foresta Veracruzana*, 6(2), 31-36. Xalapa, México: Recursos Genéticos Forestales.

Wakushima, S., Yoshioka , H., & Sakurai, N. (1996). Lateral female strobili production in a japanese red pine (*pinus densiflora sieb. et zucc.*) clone by exogenous cytokinin application. *J. For. Res*, 1, 143-148.

Zobel, B., & Talbert, J. (1988). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México: Limusa-Noriega eds.

VIII. ANEXOS

Anexo 1 Plano de ubicación de la plantación de *Pinus Cembroides*, del rancho La Cueva, Acatlán, Hidalgo, 2023.

