

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Producción de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en
Juchipila, Zacatecas.

POR:

ANGELINA CRUZ HERNÁNDEZ

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NÁRRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

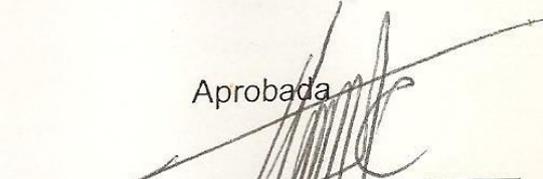
Producción de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en
Juchipila, Zacatecas.

Por:
ANGELINA CRUZ HERNÁNDEZ

TESIS:
Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Aprobada

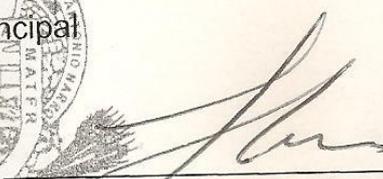

M.C. Celestino Flores López

Asesor Principal

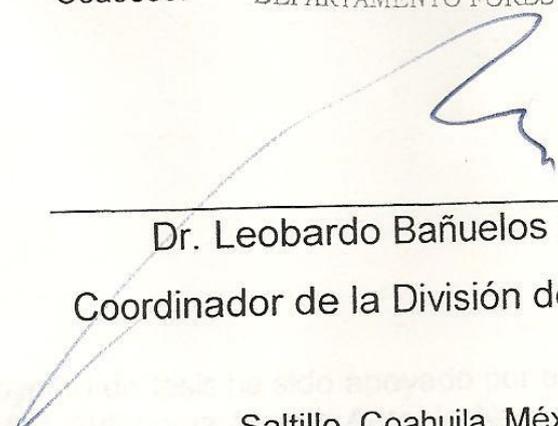

Ing. Jorge David Flores Flores

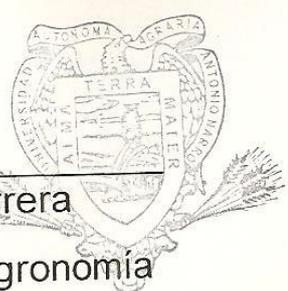
Coasesor

DEPARTAMENTO FORESTAL


Ing. José Antonio Ramírez Díaz

coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía


Coordinación
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2012

Este proyecto de tesis ha sido apoyado por el Proyecto de Investigación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con clave 02-030207-2412, a cargo del profesor investigador M.C. Celestino Flores López.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por permitirme terminar mi carrera, estar conmigo siempre, por darme fe y poder confiar en mí misma en los momentos más difíciles durante esta etapa y por el hecho de existir.

A mi *Alma Mater* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por abrirme sus puertas y sentirme parte de esta gran familia universitaria. Gracias por darme la oportunidad desarrollarme en tus instalaciones para llegar a ser un profesionalista.

Al M.C. Celestino Flores López, por brindarme su apoyo y compartir conmigo sus conocimientos para la realización de la tesis, pero sobre todo por brindarme su amistad y su confianza que es el regalo más valioso que una persona puede ofrecer.

Al Ing. Joel Rivera Espinoza, al Ing. Jorge David Flores Flores y al Ing. José Antonio Ramírez Díaz, por su aportación al presente trabajo.

A todos los profesores del Departamento Forestal, M.C. Celestino Flores López, Dr. Alejandro Zarate Lupercio, M.C. José A. Nájera Castro, M.C. José Aniceto Díaz Balderas, Dr. Jorge Méndez Gonzales, Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, Ing. Sergio Braham Sabag, M. C. Jorge D. Flores Flores, M. C. Andrés Nájera Díaz, Dr. Gabriela Ramírez Fuentes; que con sus sabios conocimientos me ayudaron a terminar uno de los proyectos más importantes de mi vida.

A las personas que me apoyaron y realizaron el trabajo de campo, y a los compañeros que me apoyaron en la realización de las mediciones en el trabajo de laboratorio, mis más sinceros agradecimientos, sin su ayuda hubiera sido más difícil la culminación de este trabajo.

A mis padres, a Palemón Cruz Hernández y a Gregoria Hernández Pérez, porque más que padres fueron mis amigos y me apoyaron en las buenas y en las malas, así como en las diferentes etapas de mi vida, mis más sinceros agradecimientos.

A todos los compañeros que en esta etapa de mi vida en la universidad llegaron a ser como mis hermanos y hermanas, Edvino Santiago, Juan Manuel Sánchez, Alejandra y Alicia Tolentino, Clarivel Cárdenas, Rosibel Ramírez, Lucina Gómez, Rosa Gloria Rocha, Verónica de Jesús García, Angel Alfredo Colazo, Marco Antonio Morales y a Jesús Aristeo Jacobo, porque han llegado a ser una parte muy importante en mi vida, gracias por brindarme su amistad sus consejos, su amor y por abrirme las puertas de su hogar.

A mis amigos, Jonás, Clarivel, Alejandra, Sandra, Leticia, Kenia, Rosibel, Angelina Díaz, Beatriz, Rosario, Daysi, Yessica, Teresa, Marco Antonio, Aristeo, Ángel Alfredo, Lucina, Rosa Gloria, Inocencia, Flor, Adrián, Horacio, Edvino, Juan Manuel, Rufino, Lino, Martha, Guillermo, Antonia y su esposo Román y a todas las demás compañeras del internado femenino Hidalgo, los

cuales siempre estuvieron ayudándome y brindándome su amistad y apoyo incondicional durante mi estancia dentro de la Universidad.

A mis compañeros de generación y a todos los compañeros amigos de otras carreras que me brindaron su ayuda siempre, dentro y fuera de las clases.

Al despacho Servicios Forestales Profesionales de Sayula Jalisco, por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo durante las prácticas profesionales, mis más sinceros agradecimientos porque gracias a ello pude concluir satisfactoriamente esta etapa de mis estudios universitarios.

A Gerardo Herrera Maldonado, porque más que una guía, es un gran amigo, gracias por su apoyo incondicional en mi estancia en las prácticas profesionales.

Y por todos aquellos que omití, sin tener el deseo de hacerlo, gracias por todo el apoyo brindado para poder concluir mi estancia en la Universidad, y a todas aquellas personas que en algún momento me ofrecieron incondicionalmente su apoyo y su amistad y que por el momento no vienen a mi mente pero que de alguna manera fueron parte de mi formación académica, ética, y moral.

DEDICATORIA

A mis padres:

Gregoria Hernández Pérez y Palemón Cruz Hernández por darme la oportunidad de ser parte de este mundo, porque gracias a ellos que me enseñaron a valorar la vida, por ser mis mejores amigos y por hacerme sentir que una de las cosas más importante de la vida es la confianza.

A mis hermanos y familia:

A Salomón, Odilia, Cristóbal, y a todos mis abuelos, gracias por compartir sus consejos y su amor conmigo, porque a través de ellos he aprendido mucho de la vida.

Al M.C. Celestino Flores López

Porque más que un asesor y profesor del Departamento Forestal ha sido un gran amigo, el cual me ha transmitido muchos valores y conocimientos profesionales, gracias por compartírnos y brindarnos su apoyo incondicional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Descripción del <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski.....	5
2.1.1 Descripción taxonómica.....	5
2.1.2 Distribución.....	8
2.1.3 Ciclos reproductivos.....	9
2.2 Indicadores reproductivos.....	11
2.2.1 Análisis de conos y semillas.....	11
2.2.2. Indicadores de reproducción.....	13
3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1 Descripción del área de estudio.....	17
3.2 Selección de árboles para la colecta de los conos.....	18
3.3 Análisis de las variables de conos y semillas.....	18
3.4. Análisis estadístico.....	24
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1 Potencial, eficiencia y pérdida de semilla.....	25
4.1.1 potencial de semilla.....	25
4.1.2 Eficiencia de semilla.....	29
4.1.3 Pérdida de semilla.....	30
4.2 Indicadores reproductivos.....	31
4.3 Relación de la morfología del cono con la producción de semilla.....	34
4.4 Estimación de la producción de semillas.....	36
5 CONCLUSIONES.....	38
6 RECOMENDACIONES.....	39
7 LITERATURA CITADA.....	40
APÉNDICE.....	46

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Potencial y eficiencia de semillas en diferentes especies de coníferas y diferentes localidades.....	27
Cuadro 2. Indicadores reproductivos de conos y semillas en diferentes especies de coníferas y diferentes localidades.....	33
Cuadro 3. Correlación de Pearson entre las características de la producción de semilla de los árboles de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski..	35
Cuadro 4. Regresión lineal con las variables de mayor correlación para la mejor ecuación de estimación de la producción de semilla de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación y distribución de los árboles muestreados en la poblaciones de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski en el sur del estado de Zacatecas.....	17
Figura 2. Estróbilos o conos de las dos últimas fases de maduración del cono de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski y la colecta de cono de la etapa madura.....	19
Figura 3. Variables de las dos últimas fases de maduración del estróbilo o cono de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski.....	21
Figura 4. Escamas fértiles e infértiles de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.....	23
Figura 5. Producción y pérdida de semillas en la población natural de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski, colectados en el 2009.....	26
Figura 6. Gráfica descriptiva de diagrama de cajas para potencial de semillas por cono en dos poblaciones; 1= población ubicada dentro de la UMA y 2= población ubicada fuera de la UMA en el Estado de Zacatecas de <i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski.....	28

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue contribuir al conocimiento de la condición reproductiva y estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Cerro Piñones, Juchipila, Zacatecas.

Se colectaron de dos a cuatro conos maduros de 31 árboles de manera selectiva dentro de la UMA y nueve conos abiertos colectados fuera de la UMA. Con el análisis de conos y semillas se determinó el potencial y la eficiencia. Se realizó con el procedimiento Proc Means de SAS® para obtener estadísticos descriptivos y con el SPSS se obtuvo la correlación de las variables relacionadas con la producción de semilla, y con el Regression Essential utilizando el procedimiento Forward, se obtuvo la mejor ecuación lineal de estimación.

Pinus maximartinezii presentó valores altos de potencial de semillas con 91 semillas por cono y una eficiencia de semilla del 61.7%. En la pérdida de semillas se presentaron los óvulos abortados en un 19.34% y de óvulos rudimentarios con el 7.44%, por lo que no fueron valores altos. También presentó un coeficiente de endogamia bajo que fue del 0.18, lo que refleja que la población no tiene problemas de endogamia.

Las variables morfológicas que presentan mayor correlación con la producción de semilla son la longitud y diámetro de cono, el peso seco y la longitud de apófisis. Estas variables indican que entre mayor diámetro y longitud de cono, mayor tamaño de apófisis se tendrá, y por lo tanto mayor será la producción de semillas; para la colecta de conos debe darse preferencia a los conos de mayor longitud, diámetro y los de mayor longitud de apófisis.

Palabras clave: *Pinus maximartinezii*, Potencial y Eficiencia de Semilla, Indicadores Reproductivos.

ABSTRACT

The objective of this study was to contribute to the knowledge of the reproductive condition and estimate the production of seeds and reproductive indicators of *Pinus maximartinezii* Rzedowski Cerro Piñones, Juchipila, Zacatecas.

Two to four mature cones were collected from 31 selected trees within the UMA and nine open cones were collected outside the UMA. The cone and seed analysis was used to determine the potential and seed efficiency. The Proc Means procedure of SAS ® was used to obtain descriptive statistics and SPSS was used to obtain correlations of the variables related to seed production, and the Essential Regression program using the Forward procedure, were obtained the best linear estimation equation.

Pinus maximartinezii showed high values of potential seeds with 91 seeds per cone and seed efficiency of 61.7%. The loss of seeds presented aborted ovules on average of 19.34% and 7.44% of the rudimentary ovule, so that were not high values. Low inbreeding indicator was of 0.18, this indicates of the population has no problems of inbreeding.

The morphological variables that are most correlated with seed production were the length and cone diameter, dry weight and length of apophysis. These variables indicate that the greater diameter and length of the cone, the size apophysis will be larger, and therefore of seed production will be greater, the collection cone must be preferred the cones of greater length and diameter, with greatest length of apophysis.

Keywords: *Pinus maximartinezii*, Efficiency Potential and Seed, Reproductive Indicators

1 INTRODUCCIÓN

Pinus maximartinezii Rzedowski es una de las quince especies de pinos piñoneros existentes en México, los cuales están distribuidos principalmente en los Estados del norte del país, desde Baja California Norte y Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas y San Luis Potosí hasta Aguascalientes, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Veracruz (Fonseca, 2003).

Entre ellos *P. johannis* M-F Robert, *P. lagunae* M-F. Robert-Passini, *P. monophylla* Torrey et Frémont, *P. quadrifolia* Parlatore ex Sudworth y *P. remota* Bailey et Hawksworth se encuentran catalogadas como especies sujetas a protección especial (Pr), por otra parte *P. culminicola* Andresen et Beaman, *P. nelsonii* Shaw, *P. pinceana* Gordon y *Pinus maximartinezii* Rzedowski, se encuentran catalogadas en peligro de extinción (P), (Perry, 1991; Fonseca, 2003; Semarnat, 2010).

Pinus maximartinezii es una especie con un alto grado de endemismo en México, de las dos únicas poblaciones conocidas una se encuentra al W de Pueblo Viejo, municipio de Juchipila, en una pequeña meseta en el Cerro de Piñones en la Sierra de Morones, al sur del Estado de Zacatecas en las coordenadas (21 ° 22'N, 103 ° 14'W), entre los 1500 a 2550 m.s.n.m. la mayoría de la población se produce en una banda de 1700 a 2300 m de altitud (Rzedowski, 1964; Donahue y Mar, 1995; Perry, 1991; Arteaga, 2000; Fonseca, 2003).

La existencia de una segunda población silvestre de *Pinus maximartinezii* fue corroborada en 2010, la cual se encuentra al sur del Estado de Durango, cerca del poblado La Muralla, perteneciente a la comunidad indígena de Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio de El Mezquital, se desarrolla entre los 1750 y 2260 m.s.n.m. sobre laderas escarpadas con pendientes de 25 a 80%, con un desnivel de casi 1000 m entre el fondo y las partes altas (de 1373 a 2355 m.s.n.m.) (González-Elizondo, 2011).

De la superficie ocupada para esta especie, aún no se tiene una estimación precisa, puesto que existe una serie de trabajos que reportan cifras completamente diferentes desde aproximadamente 400 hasta las 150000 hectáreas (Arteaga *et al.*, 2000). La especie crece de este, sur y suroeste del Cerro de Piñones y principalmente en las exposiciones este, norte, y sur en una cañada rematada por mesetas angostas al sur del Estado de Durango. De acuerdo a los datos que se tiene, el número total de árboles maduros es de aproximadamente 2000 a 2500 (Donahue y Mar, 1995; Dvorak *et al.*, 2000; González-Elizondo, 2011).

La regeneración natural es escasa probablemente por la destrucción frecuente de los incendios forestales, debido a su delgada corteza es susceptible al fuego, el sobrepastoreo de cabras y el ganado limitan aún más el proceso de regeneración natural; así como la venta ilegal de las semillas grandes y comestibles en los mercados locales, las colecciones del cono anualmente realizadas de manera destructiva, por la poda de las ramas con machete reduce el número de yemas. Estas actividades causan la eliminación de prácticamente toda la cosecha de semillas, lo cual causa preocupación, debido al impacto potencial en la capacidad de la especie para sostenerse a sí misma (Donahue y Mar, 1995; Ledig *et al.*, 1999).

Actualmente parte del área de distribución de esta especie en el Estado de Zacatecas está declarada como una UMA (Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre) con clave de registro DGVS-CR-EX3446-ZAC, la cual está integrada por doce propietarios. Esto ha permitido que los propietarios locales estén tratando de proteger a los árboles maduros, y se puedan aprovechar los piñones conservando la maduración y la fructificación de los árboles.

El propósito del análisis del cono y la evaluación de la producción de semillas es estimar el potencial, la eficiencia y la pérdida de semilla en la especie estudiada. El potencial de semillas define el límite biológico para el número de semillas producidas por cada cono. Por lo tanto, cada especie de

árbol tiene un potencial promedio de semillas y un rango de valores observados en función del número de escamas fértiles por cono (Bramlett *et al.*, 1977).

Las características reproductivas tales como el número de semilla llena por cono, eficiencia reproductiva, proporción de óvulos abortados, semillas vanas y llenas, la tasa de germinación de semillas, la supervivencia temprana de plántulas, y el vigor de las plántulas son medidas para evaluar la situación reproductiva de los árboles en las poblaciones en riesgo debido al tamaño pequeño de la población, baja densidad dentro de la población, y los niveles de fragmentación en la población pueden dificultar el flujo de dispersión y de genes entre poblaciones. Las medidas de reproducción también se pueden utilizar para conocer el estado genético de las poblaciones ya que los niveles de fecundidad reflejan niveles de consanguinidad y la tolerancia a la depresión endogámica, con ello conocer la diversidad genética (Mosseler *et al.*, 2000).

1.1 Objetivos

Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la condición reproductiva y estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en Cerro piñones, Juchipila, Zacatecas.

Objetivos particulares

Determinar el potencial y la eficiencia de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski para estimar la producción en la colecta del año 2009.

Analizar la pérdida de semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski para la producción en el año 2009.

Determinar los indicadores reproductivos de conos y semillas como longitud, peso seco y número de escamas fértiles del cono, proporción de óvulos abortados, proporción de óvulos rudimentarios, proporción de semillas

vanas, proporción de semillas llenas, el indicador de endogamia y eficiencia reproductiva para *Pinus maximartinezii* Rzedowski para la producción del año 2009.

Estimar la producción de semillas utilizando las variables morfológicas del cono.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Descripción del *Pinus maximartinezii* Rzedowski

2.1.1 Descripción taxonómica

Pinus maximartinezii Rzedowski pertenece al grupo de los pinos blandos, que en su conjunto forman la sección Haploxyton, las brácteas de la vaina no son decurrentes, así como otras características permiten fácilmente establecer sus afinidades y ubicar ahí la especie mencionada (Rzedowski, 1964).

Es un árbol de 5 a 15 m de altura con un diámetro normal de 15 a 50 cm, frecuentemente más ancho que alto; ramas grandes, caídas, copa más abierta y redondeada en forma irregular, color verde-azuloso a distancia. Las ramas del primer orden a menudo son numerosas, largas, y rígidas, las ramas del orden superior son largas y flexibles, la corteza en los árboles maduros, es gruesa y de color gris marrón rojo, en placas geométricas por fisuras longitudinales y transversales. En árboles jóvenes la corteza es delgada y lisa; ramificada desde abajo y formando un tronco simpódico, corto, retorcido o curvado (Rzedowski, 1964; Perry, 1991; Farjon y Brian, 1997).

Hojas en fascículos de 5, rara vez de 3 ó 4; aglomeradas, delgadas y flexibles; de 7 a 13 cm de largo, las acículas del primer año fluctúan desde los 5.8 cm a 14.7 cm y los del segundo año van desde 4.3 cm a 14.0 cm y de 0.3 a 0.7 mm de ancho y triangulares en corte transversal, flexibles, de color verde intenso y brillantes en la cara exterior, sostenidas por grupos en las extremidades, frecuentemente glaucas en las caras interiores; ápice obtuso; márgenes enteros, aunque a mayores aumentos pueden observarse algunos denticillos irregulares, estomas restringidos a las caras interiores y dispuestos en dos o tres hileras longitudinales (Rzedowski, 1964; Perry, 1991; García 1986; Farjon y Brian, 1997).

Respecto a la anatomía de las acículas tiene una hipodermis amorfa, formada por una hilera continua de células, una segunda hilera se presenta en

los ángulos y a veces en forma discontinua en otros sitios; generalmente 2 canales resiníferos externos, situados sobre la cara exterior; cilindro central circular, endodermis con células de paredes delgadas; con un haz vascular, pero frecuentemente dividido en dos partes mediante una hilera vertical media de células de refuerzo; vainas caedizas de color castaño claro y brillante, de 7 a 8 mm de largo en hojas muy jóvenes, constituidas por escamas imbricadas con bases no decurrentes. Las yemas vegetativas son pequeñas, ovoide-cónicas, las yemas terminales miden de 5 a 8 mm de largo y las laterales más pequeñas y resinosas (Rzedowski, 1964; Perry, 1991; Farjon y Brian, 1997).

Los estróbilos femeninos maduran en el segundo año; cuando maduros son orbicular-ovalados a angostamente ovalados, colgantes por su gran peso. Los conos maduros son de la misma forma y tamaño a las de *P. coulteri* D. Don, *P. gerardiana* Wallich, y *P. pinea* L. pueden alcanzar un peso verde de 1 ½ a 2 kg; de 15 a 23 cm de longitud, por 10 a 15 cm de diámetro, de color castaño claro, que torna a castaño-grisáceo con el tiempo (Rzedowski, 1964; Perry, 1991; Farjon y Brian, 1997; Fady *et al.*, 2008).

Las escamas del cono son grandes, gruesas y muy duras, con un color castaño claro y castaño-grisáceo con la edad, muy resinosas, generalmente más anchas debajo de la mitad. Apófisis inusualmente gruesa y protuberante (2 cm o más), rómbica piramidal a mediados del cono, transversalmente con quilla, el margen superior angular a menudo curvado, sin brillo de color marrón claro o castaño algo brillante. Cúspide protuberante y gruesa, de color castaño oscuro, escamas centrales hasta de 18 mm de ancho, 8 mm de alto y 12 mm de largo, redondeada en el ápice (Rzedowski, 1964; García, 1986; Perry, 1991; Donahue y Mar, 1995; Farjon y Brian, 1997).

El cono tiene entre 60 a 100 escamas duras y rígidas, cóncavas en la cara superior, de color castaño-rojizo en ambas caras hasta el nivel del umbo, sensiblemente reducidas en tamaño hacia los dos extremos. Umbo dorsal, más o menos irregularmente tetra a hexagonal, hasta de 5 cm de ancho, por 2.5 cm de alto en las escamas centrales; apófisis piramidal, muy desarrollada, hasta

de 3 cm de largo, color castaño, algo brillante, transversalmente aquillada. Cúspide algo protuberante y gruesa, de color castaño más angosta y a menudo encorvada hacia arriba; redondeada en el ápice con espina diminuta o nula (Rzedowski, 1964; Donahue y Mar, 1995).

Cada escama tiene de 2 ó a veces 1 semilla desarrollada desprovistas de ala, oblongas u ovado-oblongas, generalmente de 20 a 26 mm de largo, por 10 a 12 mm de ancho y 7 a 15 mm de grueso, color castaño las llenas o negruzcas cuando vanas, sin brillo en la cara inferior y brillantes en la superior gracias al espermodermo adherido, una parte del cual queda frecuentemente unida a la escama después de haberse desprendido de la semilla. Cubierta seminal externa muy dura, de unos 2 mm de grosor; cubierta seminal interna algo arrugada, de color castaño, delgada y fácilmente desprendible, dejando al descubierto la almendra blanca o ligeramente castaña, angostamente oblonga, de 18 a 24 cotiledones (Rzedowski, 1964; Perry, 1991).

Entre la forma y el tamaño de los conos y de las semillas, *Pinus maximartinezii* y *Pinus gerardiana* Wallich, de Asia Central, son semejantes. De acuerdo con las descripciones disponibles éste difiere de *P. maximartinezii* por sus fascículos, los estróbilos pedunculados, la presencia de estomas en la cara dorsal de la hoja, el mayor número de canales resiníferos, la testa delgada de la semilla y además presenta un ala rudimentaria (Rzedowski, 1964; Donahue y Mar, 1995).

Mediante estudios más profundos podrá conocerse su relación, o de un desarrollo evolutivo convergente. A este último fenómeno puede atribuirse la semejanza entre los conos de *P. maximartinezii* de *P. coulteri* D. Don, del extremo boreal de Baja California, y del Sur y Centro de California, así como *P. Gerardiana* Wallich de Asia Central y *Pinus pinea* L. de Europa. Fuera del tamaño, del peso y de la forma del cono, así como de las apófisis protuberantes, las especies tienen en realidad poco en común. Para terminar esta discusión sobre afinidades taxonómicas y filogenéticas cabe resaltar la presencia que se refiere al elevado número de cotiledones de (18 a 24) en

Pinus maximartinezii (Rzedowski, 1964; Donahue y Mar, 1995; Fady *et al.*, 2008).

2.1.2 Distribución

Pinus maximartinezii Rzedowski es una especie con un alto grado de endemismo en México, las dos únicas poblaciones conocidas una se encuentra cerca del ejido Pueblo Viejo municipio de Juchipila, en una pequeña meseta en el Cerro de Piñones en la Sierra de Morones, al sur del Estado de Zacatecas con coordenadas (21° 22'N, 103° 14'W), entre 1500 a 2550 m.s.n.m. la mayoría de la población se produce en una banda de 1650 a 2300 m de altitud (Rzedowski, 1964; Perry, 1991; Donahue y Mar, 1995; Arteaga, 2000; López, 2001).

La existencia de una segunda población silvestre de *Pinus maximartinezii* fue corroborada en 2010, se encuentra al sur del Estado de Durango, cerca del poblado La Muralla, perteneciente a la comunidad indígena de Santa María de Ocotán y Xoconoxtle, municipio de El Mezquital, a 190 km al NW de la localidad Santa María de Ocotán y Xoconoxtle es una comunidad O'dam (Tepehuanes del Sur). *Pinus maximartinezii* se desarrolla entre los 1750 y 2260 m.s.n.m. sobre laderas escarpadas con pendientes de 25 a 80% principalmente en las exposiciones al E, N, y S en una cañada rematada por mesetas angostas, con un desnivel de casi 1000 m entre el fondo y las partes altas (de 1373 a 2355 m.s.n.m.). Los suelos donde están distribuidos son litosoles y regosoles sobre roca ígnea. En esta cañada nace el río El Navío, afluente del Huazamota o Jesús María que a su vez es parte de la región hidrológica Lerma-Santiago, a la cual pertenece también el río Juchipila en la localidad tipo en Zacatecas (González-Elizondo, 2011).

Aun no se tiene una estimación precisa de la superficie ocupada por esta especie, puesto que existe una serie de trabajos que reportan cifras completamente diferentes desde las 400 hasta las 150,000 ha (Arteaga *et al.*, 2000), crece en el este, sur y suroeste del Cerro de Piñones, de acuerdo a los datos que se tiene, el número total de árboles maduros es de

aproximadamente 2000 a 2500 en el Estado de zacatecas, y en el Estado de Durango se desarrolla en una superficie de aproximadamente 110 ha, con más de 900 individuos maduros, esto debido a la destrucción frecuente de la regeneración natural por los incendios, el sobrepastoreo así como a la venta ilegal de la semilla (Donahue y Mar, 1995; Dvorak *et al.*, 200; González-Elizondo, 2011).

Esta especie de acuerdo con la NOM-059 está catalogada en estatus de especie en peligro de extinción (Semarnat, 2010), a pesar de esto, actualmente parte de la propiedad localizada en el Estado de Zacatecas está declarada como una UMA con clave de registro DGVS-CR-EX3446-ZAC, integrada por doce propietarios, con una superficie de 169-84-04 hectáreas, esto ha permitido que los propietarios locales estén tratando de proteger a los árboles maduros, y se puedan aprovechar los piñones conservando la maduración y la fructificación de los árboles, en (comunicación personal, Joel Espinoza Rivera, 2010).

2.1.3 Ciclos reproductivos

El inicio del brote reproductivo en *Pinus maximartinezii* Rzedowski probablemente ocurre entre agosto y septiembre. La polinización aparente es entre mayo y junio del segundo año. El tiempo exacto que transcurre entre la polinización y la fertilización es desconocido pero probablemente la fertilización ocurre en el segundo o tercer año, o hasta el cuarto. La maduración de los conos y dispersión de las semillas ocurre de septiembre a octubre. Un ciclo similar al de *P. leiophylla*, *P. torreyana*, *P. pinceana* (Donahue y Mar, 1995; Arteaga, 2000).

Los conos femeninos emergen solitarios en los extremos de las ramas, se tomó información en febrero, sobre el desarrollo de los estróbilos en 100 árboles, los conos pequeños midieron de 4 a 6 cm de largo y 3 a 5 cm de diámetro, algunos estróbilos masculinos muy esporádicos estaban comenzando a surgir, el cono mayor casi maduro midió alrededor de 15 a 20 cm de largo y 10 a 12 cm de diámetro, con exudaciones de resina empezando

a aparecer en las escamas del cono, el 15 de junio se encontraron nuevos conos femeninos de 1 a 2 cm de largo y 1 cm de diámetro, que aparentemente habían pasado la etapa receptiva (Donahue y Mar, 1995).

También se observaron en esta fecha los conos de la cosecha intermedia, que fueron ahora completamente cubiertos con exudaciones de resina, y las apófisis de las escamas del cono habían comenzado a dorarse. Se vieron tres cultivos distintos de cono en los árboles al mismo tiempo, lo que indica un ciclo reproductivo que abarca cuatro temporadas de crecimiento desde el inicio, botón de reproducción hasta el cono de madurez (Donahue y Mar, 1995).

Los conos casi maduros en febrero, ocho meses antes de la dispersión de semillas, con exudaciones de resina exterior, indicando que la fertilización se había producido en un año anterior. Esta especie sufre un período prolongado de desarrollo y maduración de cono. Es posible que *P. maximartinezii* necesite un período prolongado después de la fertilización para la reproducción, siendo que es el de mayor longitud en el tamaño de los conos y semillas de los pinos piñoneros (y entre los cuatro más grandes piñoneros), la fertilización puede ocurrir un par de semanas después de la polinización, en el segundo año, o doce meses más tarde, en el tercer año. Los conos se maduran y se dispersan las semillas en el cuarto año (Donahue y Mar, 1995; Arteaga, 2000).

En general, el ciclo reproductivo del género *Pinus* dura de 18 a 24 meses, desde que se detectan visualmente los estróbilos hasta la dispersión de la semilla, por ello, se hace mención de óvulos abortados durante el primero y segundo año. Sin embargo, en géneros como *Abies*, *Picea* y *Pseudotsuga* el ciclo reproductivo tarda sólo un año (Prieto, 1993).

Esta especie tiene una gran importancia económica, ya que es el pino piñonero que posee el cono y semilla de mayores dimensiones de los del grupo piñonero, proporciona ingresos adicionales a los ejidatarios durante la época de cosecha, (noviembre diciembre), extrayendo aproximadamente un kg de semilla de 4 conos de buen tamaño, se dice que en 1966 el kg de semilla fue vendido a \$100.00 para la gente de Zacatecas, en 1998 se vendió a \$250.00/kg

debido a que en este tiempo era escasa y para 1999 el precio estuvo alrededor de \$300.00/kg (García, 1986; Arteaga, 2000).

2.2 Indicadores reproductivos

2.2.1 Análisis de conos y semillas

Uno de los problemas que se tienen en la planeación de la colecta de semillas es conocer la cantidad de semillas llenas que puede producir un cono de acuerdo al diferente tipo de épocas; esto tiene implicaciones como el costo de producción de la semilla que se puede obtener por especie. Una de las metodologías que se utiliza para estimar la producción de semillas y conocer el aspecto reproductivo de las poblaciones es el análisis de conos y semillas por lo que es importante conocer el desarrollo de conos, semillas y la morfología de la semilla, esta metodología fue utilizada por primera vez para el pino rojo, *Pinus resinosa* Ait, por Lyons (1956), modificado y descrito por (Bramlett *et al.*, 1977).

El análisis de cono consiste en retirar sistemáticamente las escamas de los conos para extraer todos los óvulos sueltos, abortados y los restantes, por procedimientos manuales. Los óvulos o semillas extraídas y los conos disecados son clasificados por las características como son óvulos abortados del primero y el segundo año, el número de semillas llenas y vanas, así como el número de escamas fértiles e infértiles (Bramlett *et al.*, 1977).

En el análisis de conos proporciona la información necesaria para evaluar la producción de semillas, el rendimiento de semilla de los conos individuales, el cual se compara con el rendimiento potencial de semilla, esto puede expresar la productividad en términos de eficiencia de la semilla, la cual se expresa como la relación entre semillas llenas y el potencial de semilla. Por lo que se puede determinar en qué fases del desarrollo de la semilla se producen ciertas pérdidas, y los tipos de fallas en ellas, pueden ser identificados y evaluados. Muestra los valores que pueden indicar la necesidad de adoptar medidas correctoras (Bramlett *et al.*, 1977).

El potencial de semillas define la productividad de un cono en relación con su capacidad biológica para el número de semillas producidas por cada cono. Por lo tanto, cada especie de árbol tiene un potencial promedio de semilla y un rango de valores observados en función del número de escamas fértiles por cono (Bramlett *et al.*, 1977).

En el análisis de conos y semillas los rasgos morfológicos como la longitud del cono, el número de escamas, y el potencial de la semilla varía relativamente poco, sin embargo las características de rendimiento de semillas, en las poblaciones pequeñas aisladas donde la cantidad y la calidad de polen está limitada pueden experimentar niveles reducidos de polinización y niveles altos de endogamia, da como resultado pérdidas de diversidad genética (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000).

En el análisis de semillas forestales, de acuerdo a las reglas de ISTA (Asociación Internacional de Análisis de Semilla) las pruebas mínimas incluyen contenido de humedad, pureza, peso de semilla y porcentaje de germinación ya que esta información será requerida por el usuario. Un requisito para análisis confiables de semillas es un procedimiento de muestreo que resulta de una muestra representativa (Poulsen, 1994).

Para entender el análisis de conos y semillas se deben considerar los indicadores reproductivos como son el peso seco del cono, peso de la semilla llena, longitud del cono, escamas basales, escamas terminales, escamas fértiles, óvulos abortados de primer año, óvulos abortados de segundo año, semillas llenas, semillas vanas, semillas dañadas, semillas destruidas, semillas dañados por hongos, número de semillas en germinación y el indicador de endogamia. Se requiere hacer el análisis de conos y semillas para la evaluación de la eficiencia, la cantidad de conos a seleccionar está en función de la distribución del arbolado y de la población, pero se considera que una muestra de 25 a 100 conos de cualquier tamaño, es suficiente para obtener resultados confiables (Bramlett *et al.*, 1977; Mosseler *et al.*, 2000).

Los óvulos abortados de primer año son notablemente más grandes que los óvulos rudimentarios. Los que abortan durante la segunda temporada de crecimiento, son mayores que los que abortan durante el primer año. Se ve una cubierta seminal parcialmente desarrollada, estos óvulos son generalmente más pequeños que los óvulos desarrollados debido a que generalmente el aborto fue temprano en el segundo año de desarrollo (Bramlett *et al.*, 1977)

La eficiencia de semillas de cada cono es el número de semillas llenas como porcentaje del potencial biológico. Las estimaciones de la eficiencia en la producción de semilla se definen como la proporción de óvulos en la región productiva del cono que se convierten en semillas, y se determina por el grado de óvulos abortados. Las investigaciones de la producción de semillas en los pinos suelen limitarse a la cantidad y calidad de semillas producidas por los conos maduros. Esta información es valiosa para el cálculo de la cantidad disponible de semillas para la regeneración. Es evidente que los fenómenos asociados con la fertilización, influyen en una pequeña parte del total de óvulos abortados, por lo que la explicación del aborto, tanto en el cono como en el árbol, los factores nutricionales pueden estar involucrados (Lyons, 1956; Bramlett *et al.*, 1977).

2.2.2. Indicadores de reproducción

El potencial de semilla, el análisis de conos, el estatus reproductivo y genético en árboles basados en los rasgos de los conos y de la semilla, son criterios demográficos de viabilidad, así como los indicadores como son: el peso y el estatus reproductivo del cono, el número de semillas llenas por cono, el estatus genético, la eficiencia reproductiva de la semilla, la proporción de semillas llenas, vanas y abortadas por cono, la cantidad de semilla, el vigor de la plántula, el indicador de endogamia, y la estimación de endogamia son debidos al tamaño demográfico viable mínimo (Mosseler y Rajora, 1998; Mosseler *et al.*, 2000).

Las frecuencias del gen y el sentido genético, así como el tamaño demográfico del número de individuos adultos dentro de la densidad

poblacional y la distribución demográfica a nivel del paisaje son medidas que pueden servir de indicadores reproductivos y genéticos en el estatus para evaluar y monitorear la viabilidad de poblaciones en peligro, por el tamaño demográfico pequeño y aislamiento demográfico resultado la fragmentación del bosque (Mosseler y Rajora, 1998; Mosseler *et al.*, 2000).

Los indicadores reproductivos descritos aquí tiene validez general para evaluar y monitorear aspectos reproductivos y genéticos de la población y la viabilidad en coníferas, los más frecuentes a utilizar, son la eficiencia reproductiva obteniéndose del peso seco de las semillas llenas con respecto del peso seco del cono y el índice de endogamia el cual es la proporción de semillas vanas con respecto al total de las semillas desarrolladas (Mosseler *et al.*, 2000).

Los indicadores reproductivos como los rendimientos de la semilla llena por cono (éxito reproductivo), la eficiencia reproductiva, las proporciones de los óvulos abortados, las semillas vanas, las semillas llenas, la evaluación de la siembran y germinación, la supervivencia de la plántula, y el vigor de la plántula, se miden para evaluar el estatus reproductivo de los árboles en poblaciones en peligro. Las medidas de adaptabilidad reproductiva y el éxito reportado aquí también pueden usarse para hacer inferencias acerca del estatus genético de poblaciones en niveles de endogamia. Una cierta cantidad de los señalizadores potenciales de viabilidad demográfica pueden derivarse del análisis de la semilla. Estos señalizadores también pueden usarse para estimar el tamaño demográfico, y los niveles de fragmentación en relación a sus efectos en la adaptabilidad reproductiva (Mosseler *et al.*, 2000).

Un estudio realizado en la producción y viabilidad de semillas de *Pinus johannis* M. –F. Robert en dos poblaciones naturales en México, se encontró que la producción de semilla es variable en las dos poblaciones principalmente por los años semilleros. La población de Coahuilón presentó los valores más altos en el estimador de endogamia; así como una baja eficiencia en la producción de semilla en comparación con la población más grande, Concepción del Oro. La presencia de plántulas anormales es un indicador de

autopolinización y endogamia en las poblaciones, por lo que esta especie requiere de manejo para su conservación (López, 2005).

Otro trabajo es la producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon, en el cual el potencial de semillas promedio fue de 50 semillas por cono, con una eficiencia de 35% y la pérdida de semillas (65%) se deben principalmente a óvulos abortados, semillas vanas y solamente en la población Cañón de las Bocas por daños de insectos. La población San José Carbonerillas presentó el mayor estimador de endogamia (0.74) y las que resultaron con el mejor índice fueron; garambullo (0.30), Matehualilla (0.28) y San Cristóbal (0.25). Los contrastes pueden ser producto de factores como el aislamiento y la baja densidad del arbolado dentro de las poblaciones y el período de año semillero, lo cual conduce a una menor capacidad reproductiva y por lo tanto existe mayor riesgo de extinción a un futuro no muy lejano (Hernández, 2006).

Otro trabajo realizado en cuanto a piñoneros es la de maduración de conos, producción y viabilidad de la semilla en *Pinus catarinae* M.F. Robert Passini, en el cual se obtuvo un potencial de semilla de 11 por cono, eficiencia de 20.93%, 2 óvulos abortados por cono, 6 semillas vanas por cono, 2 semillas dañadas por hongos, bacterias o insectos y produce 2 semillas llenas viables por cono (Lemus, 1999).

Existen otras especies de gimnospermas como pinos, piceas, no piñoneros en los cuales presentan una amplia variación en sus indicadores reproductivos tanto entre árboles dentro de poblaciones como entre poblaciones, que con el propósito de determinar la viabilidad de las poblaciones a largo plazo y las necesidades de manejo para su conservación se evalúa la capacidad reproductiva. El éxito de regeneración natural es debido al mantenimiento de la viabilidad demográfica o aptitud reproductiva. El flujo genético, la dispersión y la endogamia determinan la viabilidad demográfica. Lo cual puede reducir la diversidad genética si los efectos combinados del aislamiento genético y la endogamia pueden afectar ya sea en el tamaño pequeño o reducción del flujo genético a través de las interrupciones en el movimiento de polinizadores y

dispersores de semilla (Mosseler y Rajora, 1998; Mosseler, 1998; Flores *et al.*, 2004).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La población estudiada de *Pinus maximartinezii* Rzedowski se localiza en Juchipila en el Cerro de Piñones en la Sierra de Morones, al Sur del estado de Zacatecas (Figura 1), propiedad privada declarada como una UMA (Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre) con clave de registro DGVS-CR-EX3446-ZAC, integrado por doce propietarios, con una superficie de 169-84-04 hectáreas, con un rango latitudinal de 2120 a 3327 msnm, una parte de las dos únicas poblaciones existentes en el mundo (Rzedowski, 1964; González-Elizondo *et al.*, 2011).

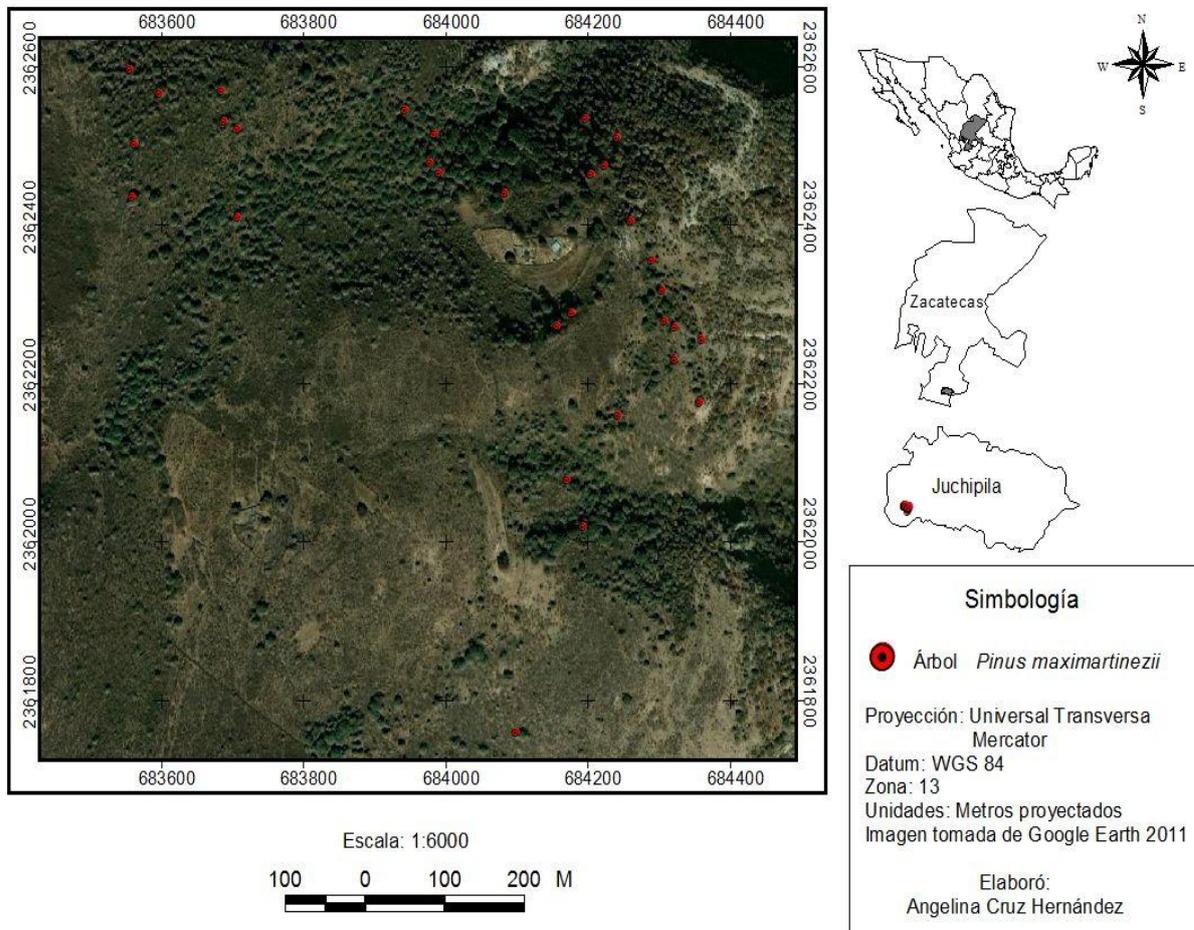


Figura 1. Ubicación y distribución de los árboles muestreados en la población de *Pinus maximartinezii* Rzedowski en el sur del Estado de Zacatecas.

El área presenta un clima BS1kw, semiárido, templado, temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual para los tres tipos de clima (García, 1998).

Se presentan dos tipos de suelo en el área que son: feosen aplico + lítica (lecho rocoso entre 10 y 50 cm de profundidad, se omite cuando el litosol domina) con textura gruesa y mediana; cambisol eutrico + lítica profunda (lecho rocoso entre 50 y 100 cm de profundidad con una textura media (Cetenal, 1974).

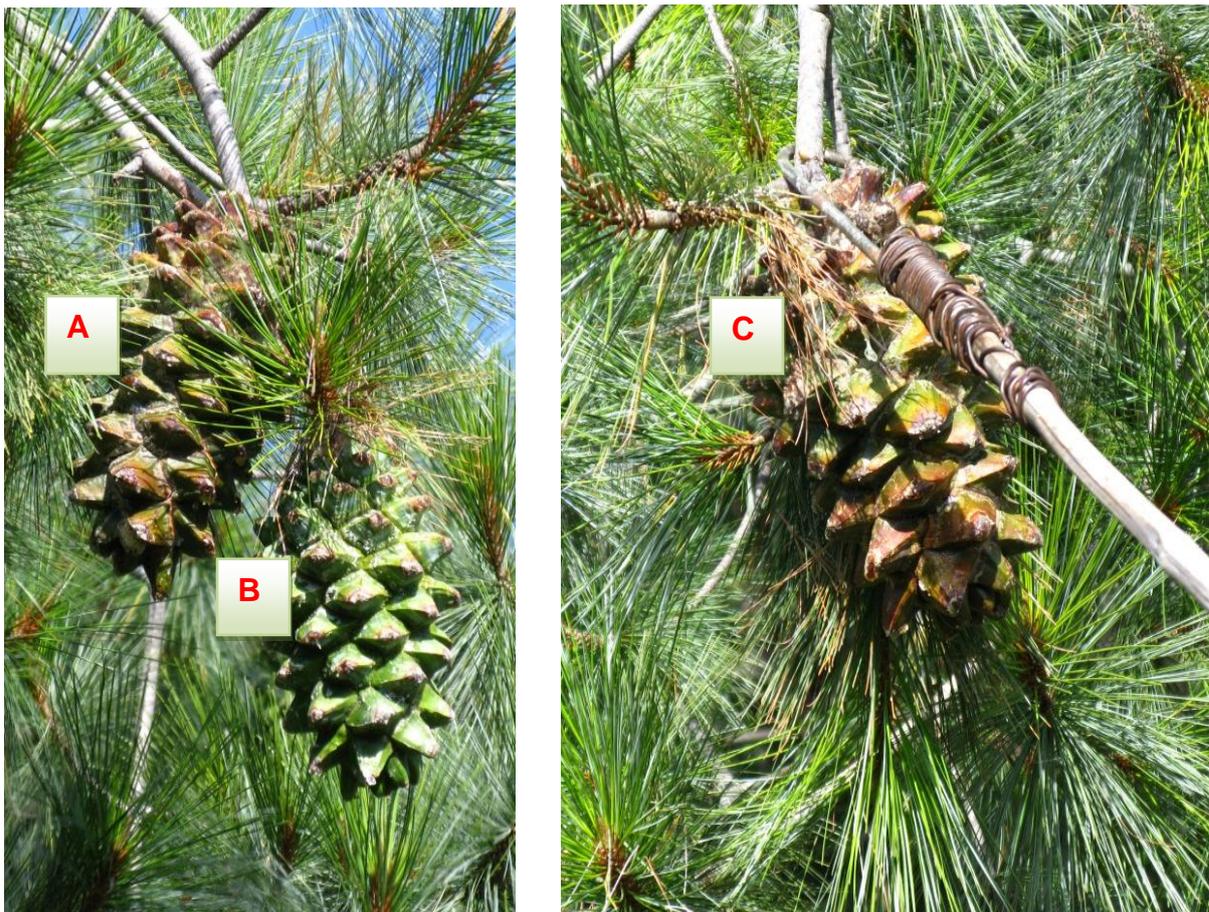
3.2 Selección de árboles para la colecta de los conos

El material botánico se colectó el 18 y 19 del mes de noviembre de 2009. Se seleccionaron 31 árboles de manera selectiva considerando una distancia mayor o igual a 50m y con características fenotípicas deseables como son: árboles más dominantes del área, mayor número de conos y el color del cono que indica la maduración del mismo. Se colectaron entre dos a cuatro conos por árbol, de acuerdo a la fase de maduración del cono (Figura 2). Cada árbol se registró con un geoposicionador o GPS (Garmin) para posteriormente registrarlo a la base de datos (Excel).

Los conos colectados se colocaron en bolsas de papel estraza, cada bolsa fue identificada con plumón de tinta permanente; se identificó con el nombre de la especie, localidad, número de árbol correspondiente, número de cono y la fecha de colecta. Se enumeraron los conos de acuerdo al tamaño (de mayor a menor).

3.3 Análisis de las variables de conos y semillas

Después de separar los conos por árbol y por cono en el laboratorio del Departamento Forestal, se tomó el peso verde de cada cono la cual se pesó con una báscula electrónica con precisión de 0.1 g.



A= Cono de la última fase de maduración, listo para coleccionar; B= Cono de un año antes de la fase de maduración para su coleccion; C= Cono coleccionado, de la última fase de maduración.

Figura 2. Estróbilos o conos de las dos últimas fases de maduración del cono de *Pinus maximartinezii* Rzedowski y la coleccion de cono de la etapa madura.

Posteriormente se tomaron las variables: longitud del cono (LC), diámetro del cono (DC) tomado la medida de la parte más ancha del cono, longitud de la apófisis de cuatro escamas (LA) las representativas en la parte más ancha del cono y tomando en cuenta las cuatro caras del cono (Figura 3). La medición de estas tres variables se realizó con un vernier digital con precisión de 0.01 mm. Otra característica que se evaluó fue el color representativo de cada cono con la ayuda de la tabla Munsell de vegetación.

Después de evaluar las primeras características de los conos se controló la identificación en bolsas de estraza, y posteriormente se dejaron secar de manera natural por dos meses (diciembre-enero). A principios del mes de febrero, se prosiguió con la extracción de la semilla, la cual se realizó con el apoyo de pinzas, desarmadores y una lámpara eléctrica.

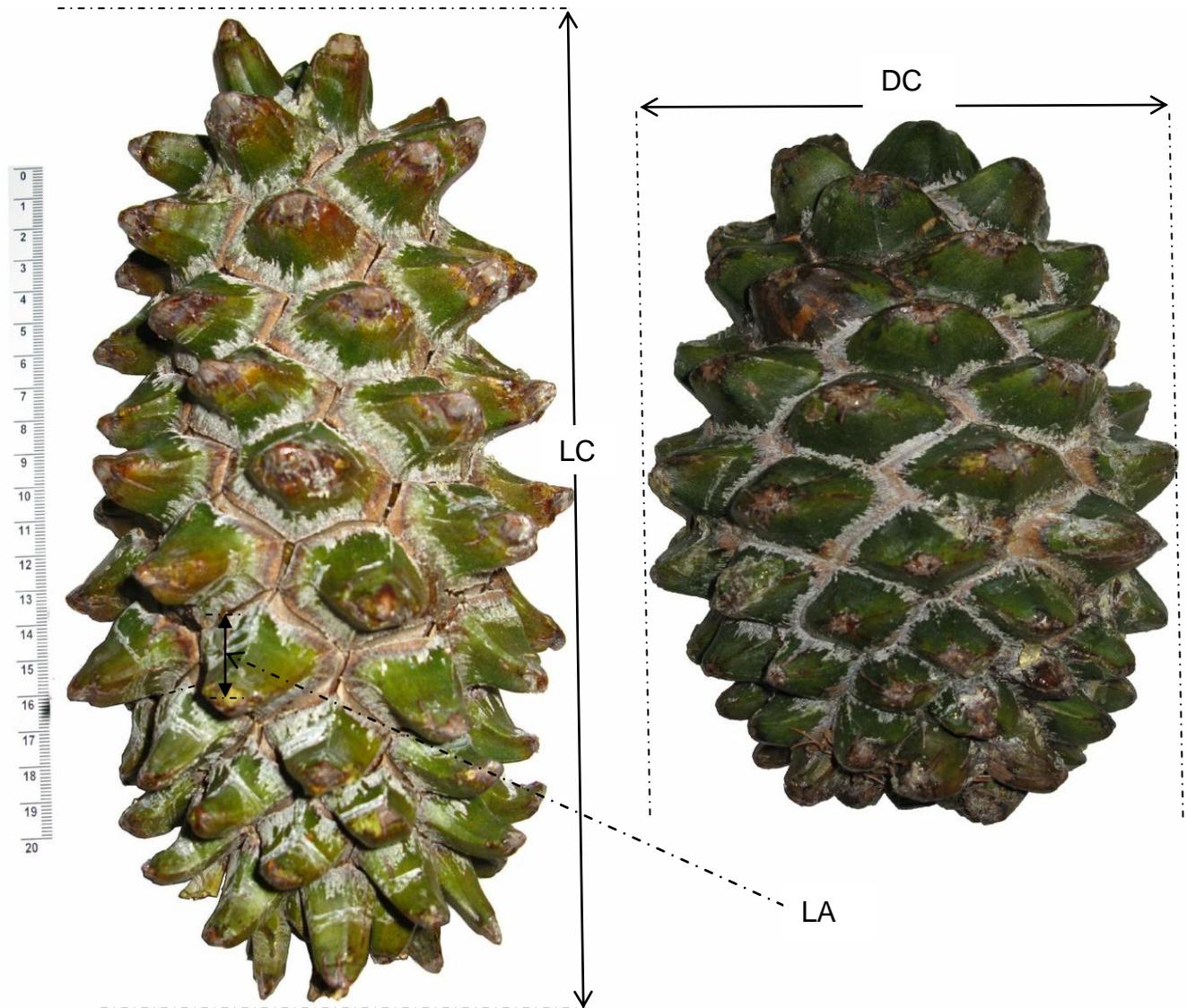
Conforme se extraía la semilla se fue colocando en bolsas de plástico por cono y por árbol, cada bolsa se etiquetó con plumón de tinta permanente, con los datos del número de árbol y cono. Todas las bolsas con semilla se almacenaron en una bolsa de plástico grande, para posteriormente llevarlas al refrigerador a una temperatura de $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Posteriormente a la extracción de semilla se destrozaron dos conos con un taladro eléctrico para poder tomar fotografías de las diferentes variables morfológicas presentes en las escamas y se determinó la cantidad de escamas con las que cuenta cada cono evaluando las características de las escamas infértiles como son escamas basales (EB) y escamas terminales (ET) y las escamas fértiles, como las escamas con dos semillas desarrolladas (E2S), con una semilla desarrollada y un ovulo abortado (E1S1OA), con una semilla desarrollada y un ovulo rudimentario (E1S1OR), escama con dos óvulos rudimentarios (E2OR), escama con dos óvulos abortados (E2OA) y escama con un ovulo abortado y un ovulo rudimentario (E1OA1OR) (Figura 4), al término de la evaluación en cada cono se regresa a su respectiva bolsa, método de Bramlet *et al.*, (1977).

Una vez terminada la extracción de las semillas se prosiguió a separar las semillas vanas de las semillas llenas, con alcohol etílico del 96°, utilizando una pequeña vasija, dos cedazos y papel periódico para poner a secar las semillas al sol aproximadamente una hora después de sumergirlas al alcohol en menos de un minuto (Lyons, 1956).

Con este procedimiento podemos ver que las semillas vanas flotan en el alcohol mientras que las llenas se hunden, posteriormente las semillas llenas se depositaron en bolsas pequeñas de plástico indicando cuales son las

semillas llenas se hunden, posteriormente las semillas llenas se depositaron en bolsas pequeñas de plástico indicando cuales son las semillas llenas y vanas, el número de árbol y el número de cono.



5Y 5/4

Estróbilo inmaduro árbol 5 Cono 1

Color 7.5GY3/4

LA= Longitud de apófisis; LC= Longitud de cono; DC= Diámetro de cono

Figura 3. Variables evaluadas de las dos últimas fases de maduración del cono de *Pinus maximartinezii* Rzedowski.

Se contó y se tomó el peso del número de semillas llenas de cada cono para seguir las conservándolas en el refrigerador (Mosseler *et al.*, 2000).

Otra variable evaluada fue el peso seco del cono, en una estufa de secado cada cono se acomodó en las bolsas a una temperatura de $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Mosseler *et al.*, 2000). Para determinar el tiempo de secado se monitorearon cuatro conos, los cuales se les tomó el peso en una balanza electrónica con precisión de 0.1 g, cada media hora hasta que se estabilizara el peso seco, en un periodo de 22 horas y posteriormente se pesó cada cono en la balanza, para después regresar el cono en su bolsa respectiva.

De la misma forma, se evaluaron nueve conos secos sin semillas, de los cuales se colectaron fuera de la UMA de los cuales se desconoce el área de colecta. Con esto poder comparar el potencial de semilla de la especie, por lo que se contaron las escamas terminales (ET), escamas basales (EB), escamas con 2 óvulos rudimentarios (E2OR), escamas con 2 semillas (E2SE), Escamas con 2 óvulos abortados (E2OA), escama con 1 semilla y un 1 óvulo abortado (E1S1OA).

Los indicadores reproductivos de la semilla se calcularon como se muestra en las siguientes fórmulas (Bramlett *et al.*, 1977):

Potencial de semilla (PS)= Escamas fértiles x 2

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

Escamas fértiles (EF)= PS/2

Semillas desarrolladas (SD)= Semillas vanas (SV) + Semillas llenas (SLL)

Semillas desarrolladas (%)= (SD / PS) x 100

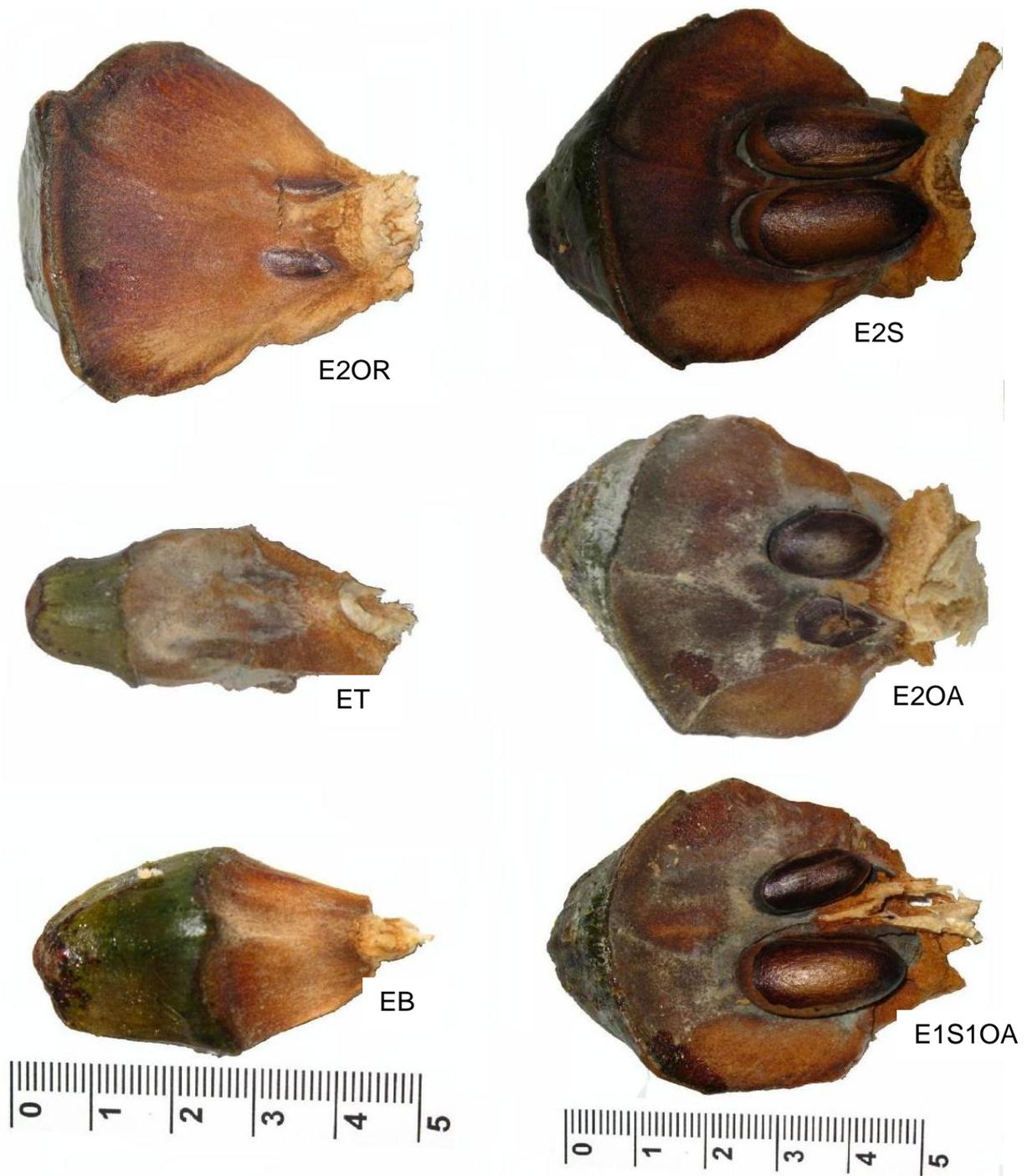
Semillas llenas (%)= (SLL/PS) x 100

Proporción de semillas vanas (PSV)= (SV / PS) x 100

Proporción de óvulos abortados (POA) = (OA / PS) x 100

Proporción de óvulos rudimentarios (POR) = (OR / PS) x 100

Indicador de endogamia (IE) = SV/SD



EB= Escama basal infértil; ET=Escama terminal infértil; E2OR= Escama fértil con 2 óvulos rudimentarios; E2S= Escama fértil con 2 semillas; E2OA= Escama fértil con 2 óvulos abortados; E1S1OA= Escama fértil con 1 semilla y un 1 óvulo abortado.

Figura 4. Escamas fértiles e infértiles de *Pinus maximartinezii* Rzedowski evaluadas para estimar la producción de semillas e indicadores reproductivos.

3.4. Análisis estadístico

Se usó el programa SAS® con el procedimiento Proc Means, Mean Stderr Std, Var, Cv, Min y el Max para obtener la media, la varianza, el coeficiente de variación, el mínimo y el máximo de las variables utilizadas en el análisis de conos y semillas de los conos muestreados por árbol (Cuadro 1) (SAS, 1998).

Se utilizó el programa Sigmaplot 2001 versión 10.0 para la elaboración de la gráfica de diagrama de cajas para la comparación del potencial de semillas por conos en de la población ubicada dentro y fuera de la UMA.

Para las correlaciones se utilizó el programa SPSS versión 8.0, para obtener las significancias de las variables morfológicas del cono y las variables de producción de semillas, evaluar cuáles son las variables relacionadas con la producción de semilla.

Con el programa Regression Essential versión 2.210 utilizando el procedimiento Forward, para poder obtener la mejor ecuación lineal a través de una regresión, combinando las mejores variables que sobresalen de la correlación realizada con el programa anterior.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Potencial, eficiencia y pérdida de semilla

4.1.1 potencial de semilla

El potencial de semillas obtenida de los 31 árboles colectados en el 2009, fue de 91 semillas por cono. La variación encontrada en estos 31 árboles se presenta en la Figura 5, con un rango mínimo de 68 y máximo de 128, con un coeficiente de variación de 15.50% (Apéndice 1). Este potencial de semillas comparado con otras especies de piñoneros es alta (Cuadro 1) ya que en estudios como en *Pinus catarinae* M. F. Robert-Passini presenta un potencial de semillas del 11 semillas por cono (Lemus, 1999), para *Pinus johannis* M.-F. Robert con 21 semillas por cono y un rango de (18 a 25) (Flores *et al.*, 1998), en la misma especie de *Pinus johannis* M.-F. Robert con 23 semillas por cono y un rango de (18 a 26) en diferentes fechas de colecta (López, 2005) en *Pinus pinceana* Gordon con 50 semillas por cono (Hernández, 2006).

Con esto podemos ver que el potencial de semillas varía entre poblaciones, entre años, y entre especies, se puede observar que el potencial de semilla en los piñoneros es muy baja comparado con las otras especies de coníferas, de los cuales *Pinus catarinae* es el piñonero que presenta el potencial de semilla más bajo de las coníferas evaluadas en México (Lemus, 1999), se puede apreciar que las coníferas de zonas áridas donde hay escasa humedad tienen un potencial de semillas más bajo en comparación con las coníferas que están en mejores condiciones como *Picea martinezii* que tiene un potencial de semillas más alto (Cuadro 1); esta condición de humedad en muchas especies hace que tengan una mayor producción de biomasa y también son las de mejor producción de semilla (López, 2007).

Sin embargo para *Pinus maximartinezii* se localizaron tres tipos de producción de piñón: buena, regular y mala, donde la mejor producción se localiza en el tipo de suelo franco y franco-arcilloso, siendo esta la parte más soleada durante el día, ya que en su mayoría presenta una exposición este.

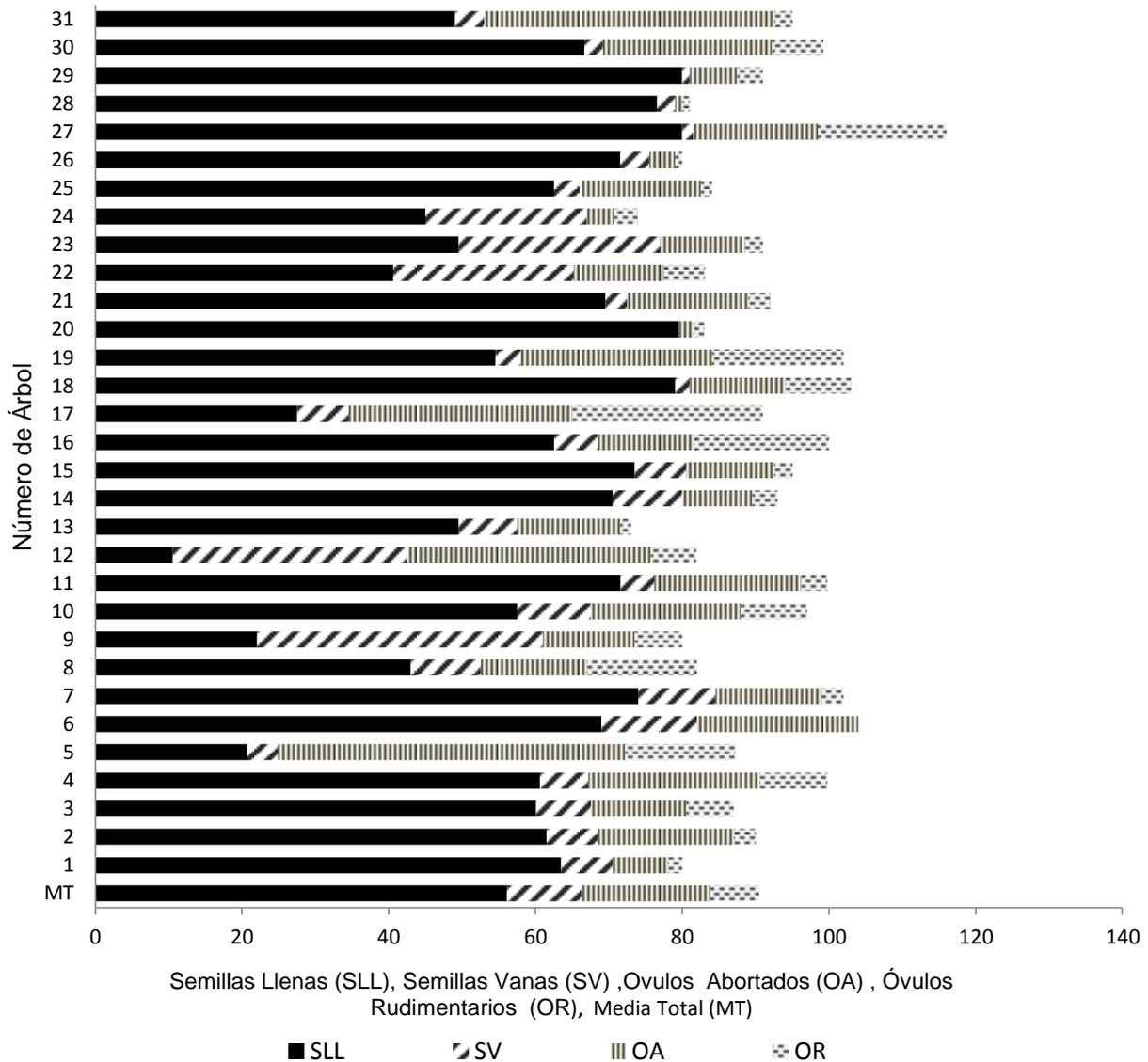


Figura 5. Producción y pérdida de semillas en la población natural de *Pinus maximartinezii* Rzedowski, colectados en el 2009.

La producción regular se ubicó en la zona más húmeda donde presenta un suelo arcilloso, con una exposición Sureste y la mala producción se presenta en el suelo franco-arcilloso, donde *Pinus maximartinezii* produce conos con semilla vana (Arteaga *et al.*, 1998). Para esta especie como la mayoría de los piñoneros se desarrollan sobre laderas de montañas rocosas, inclinadas y áridas, con suelos delgados, por lo no requieren de mucha humedad para tener una mayor producción de semilla, como en otras coníferas.

Cuadro 1. Potencial y eficiencia de semillas en diferentes especies de coníferas y diferentes localidades.

Especie	PS (rango)	ES (%)	SLL (rango) %	SV (rango) %	OA (rango) %	OR (rango) %	Bibliografía
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert- Passini	11	20.93	23.58	60.34	37.5	62.5	Lemus (1999)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	21 (18 a 25)	----	30.9 (25 a 40)	19.7 (12 a 25)	3.9 (2.8 a 5)	45.4 (44 a 47.2)	Flores <i>et al.</i> (1998)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	23 (18 a 26)	4 a 12	----	17 (12 a 23)	37 (0 a 76)	----	López (2005)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	39 (34 a 48)	19 (16 a 22)	7 (5 a 10)	4 (2 a 6)	2 (1 a 2)	25 (20 a 33)	Villa (2010)
<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	44.2	7.06	11.35		24.53	36.65	Ponce (2008)
<i>Pinus pincea</i> Gordon	50 (44 a 66)	7 (2 a 13)	53 (0 a 77)	41 (23 a 72)	14 (7 a 20)	25 (17 a 35) oa1	Hernández (2006)
<i>Pinus leiophylla</i> Schltdl	61	1.97	7.3	89.2	72.9	----	Morales- Velázquez <i>et al.</i> (2010)
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	91	61.78	61.68	11.13	19.34	7.44	Trabajo actual
<i>Pinus durangensis</i> Mart	94.5 (82.8 a 100.5)	48.7 (40.1 a 58.3)	----	----	----	----	Bustamante <i>et al.</i> (2009)
<i>Pinus cooperi</i> C. E. Blanco	128.7 (103.5 a 154.0)	68.8 (65.2 a 72.4)	----	----	----	----	Prieto y Martínez (1993)
<i>Pinus greggi</i> Engelm	158.47 (151.98 a 170.93)	79.13 (70.88 a 86.96)	----	----	----	----	Alba <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	186	----	----	----	----	----	Vázquez <i>et al.</i> (2004)
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl	193.48 (187.25 a 199.72)	72.41 (75.93 a 68.89)	----	----	----	----	Alba <i>et al.</i> (2003)
<i>Pinus oaxacana</i> Mirov	198.63 (171.76 a 225.51)	----	----	----	----	----	Alba <i>et al.</i> (2001)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson	266 (254 a 294)	7 (2 a 13)	7 (2 a 13)	20 (10 a 31)	72 (55 a 87)	1	López (2007)

PS= Potencial de semilla; ES= Eficiencia de semilla; SLL= Semilla llena; SV=Semilla vana; OA= óvulo abortado; OR= Óvulos rudimentarios

Por lo que con este potencial de semilla podemos estimar que el número de semillas producidas por cada cono en *Pinus maximartinezii* es alto a pesar del tamaño reducido de esta población. Con lo cual se dice que el potencial de semillas de una especie forestal es uno de los indicadores del grado de madurez de una población con respecto a su edad así como con la interacción de la misma en un sitio determinado, esta característica nos permite evaluar y ponderar el potencial de manejo de una especie o población, ya que con los resultados obtenidos se puede diseñar una estrategia de conservación de poblaciones y otra de uso de fuentes específicas de cada población. Por lo que se concluye que la producción de semillas de pinos varía significativamente en condiciones naturales tanto en el tiempo como en el espacio, sin embargo, en condiciones de manejo como los huertos semilleros, la producción de semillas es más uniforme (Alba *et al.*, 2001; Alba *et al.*, 2005).

Considerando que la población muestreada es de una UMA (Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre) se comparó con otra población fuera de la UMA del cual se obtuvo el potencial de semilla correspondiente a 9 conos, el cual nos da un potencial de semillas del 81.5 semillas por cono, con un rango de variación del mínimo 70 y un máximo de 102 (Apéndice 2). Al igual se realizó una comparación de medias por el método de Tukey, con un grado de libertad (Apéndice 3) en donde se determinó si existen diferencias en las poblaciones, y se obtuvo que no hay diferencias significativas estadísticamente entre el potencial de semilla existente dentro y fuera de la UMA (Figura 6).

Existen poblaciones en las que el potencial de semillas tiene muy poca variación o casi nada, como el trabajo encontrado de las poblaciones de *Pinus johannis*, para la población Laguna de Sánchez con un potencial de 20 semillas por cono, para el Coahuilón el potencial de semillas de 18, y para Salaverna el potencial fue de 25 semillas por cono, en este trabajo el potencial de semillas por cono en promedio para las tres poblaciones de *Pinus johannis* es de 21 semillas por cono. El potencial de semillas es superior en la población de Salaverna debido a que la población es más grande y hay una mejor

polinización, por lo que se puede apreciar que así la población sea superior que otra (Flores *et al.*, 1998).

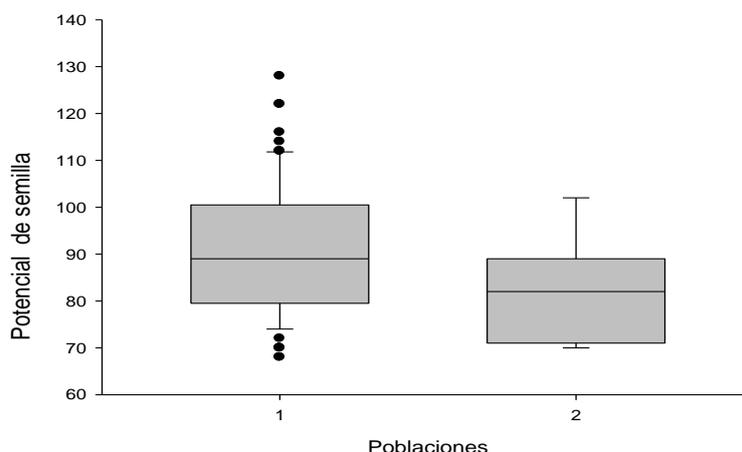


Figura 6. Gráfica descriptiva de diagrama de cajas para potencial de semillas por cono en dos poblaciones; 1= población ubicada dentro de la UMA y 2= población ubicada fuera de la UMA en el Estado de Zacatecas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski.

4.1.2 Eficiencia de semilla

La eficiencia de semillas se refiere a la proporción de óvulos que en realidad se convierten en semillas (Lyons, 1956), para *Pinus maximartinezii* en este estudio se encontró una eficiencia de semillas del 61.7% que representa 43 semillas llenas por cono, comparado con las especies de piñoneros *Pinus maximartinezii* presenta la eficiencia de semilla más alta (Cuadro 2) y similar a los encontrados en estudios de otras coníferas como *Pinus cooperi* con un promedio de 68.8% (Prieto y Martínez, 1993), *Pinus greggi* con un promedio del 79.1% (Alba *et al.*, 2005) y *Pinus hartwegii* con el 72.1% (Alba *et al.*, 2003).

Generalmente la eficiencia de semillas por cono es menor a su potencial de semilla, debido a que durante el proceso reproductivo parte de los óvulos abortan durante el primero y segundo año, por la incidencia de diversos factores. Las causas del aborto de esos óvulos puede deberse principalmente a

que la polinización fue inadecuada, debido a la escasez o poca viabilidad de polen, los bajos rendimientos de semilla viable por cono y el desarrollo de semilla, la presencia de enfermedades fungosas o estrés del arbolado por escasez de humedad. Las poblaciones aisladas y pequeñas tienen poca eficiencia de semillas, debido a que en poblaciones más grandes existe más polen y en poblaciones pequeñas la cantidad y la calidad de polen puede estar limitada, por lo que se presentan problemas de endogamia (Prieto y Martínez, 1993; Mosseler *et al.*, 2000; López, 2005).

Pero para *Pinus maximartinezii* las características de las poblaciones pequeñas con problemas de endogamia no aplican en esta especie, a pesar de ser una población pequeña presenta una buena eficiencia de semilla con el 61.78%, con lo cual los rendimientos de semilla se acercan al rendimiento máximo que puede presentar una especie. Se tiene que con la polinización adecuada y el control natural de los insectos, los rendimientos de semillas desarrolladas deben acercarse del 80 a 90% del potencial de la semilla (Bramlett *et al.*, 1977).

El máximo biológico para la eficiencia de semilla para las coníferas puede ser tan alto como 80% para los conos individuales, estos valores son observados rara vez en huertos semilleros. Los valores de eficiencia de la semilla de 35 a 54% señalan que algunas semillas potenciales se pierden. Las eficiencias de la semilla de menos de 35% indican pérdidas excesivas, y como se puede ver (Cuadro 1) *Pinus Maximartinezii* no presenta estas pérdidas excesivas (Bramlett *et al.*, 1977).

4.1.3 Pérdida de semilla

En este estudio la pérdida de semilla indica valores no muy altos, la pérdida de semilla que se tiene no es excesiva, para *Pinus maximartinezii* (Figura 5 y Apéndice 1). Por lo que podemos decir que esta especie tiene una buena polinización a pesar ser una especie de poca distribución, ya que se considera que tiene un sistema de apareamiento mixto, en el cual no se presenta en autofecundación pura o en cruzamiento pura, tal sistema se da en muchas

plantas hermafroditas, los cuales se reproducen por una combinación de autofecundación y polinización cruzada (Ledig *et al.*, 1999)

4.2 Indicadores reproductivos

La longitud promedio del cono para este estudio es de 197.93 cm, con un peso seco de cono del 530 g, comparado con las otras coníferas es una de las especies de coníferas que presentan la longitud y peso seco de cono, así como las semillas más grandes (Cuadro 2), semejándose en la forma, tamaño, el peso y el tamaño de semilla a *Pinus gerardiana* Wallich, de Asia Central, *Pinus pinea* L. de Europa y *P. coulteri* D. Don, del extremo boreal de Baja California, y del Sur y Centro de California (Rzedowski, 1964; Donahue y Mar, 1995; Fady *et al.*, 2008).

El número de escamas fértiles promedio para este estudio fue de 45.40 escamas fértiles, lo cual comparándola con otros trabajos que se han realizado en piñoneros, se tiene que *Pinus maximartinezii* es el que presenta el más alto número de escamas fértiles (Cuadro 2), por lo que *Pinus johannis* tiene en promedio 11.34 escamas fértiles (Villa, 2010), y comparado con otras coníferas se tiene que *Picea martinezii* presenta el mayor número de escamas fértiles con un promedio de 132.98 escamas fértiles (López, 2007).

En cuanto a la proporción de óvulos abortados en promedio se tiene 19.34% y óvulos rudimentarios en promedio son 7.44% (Cuadro 2), por lo que no presenta grandes cantidades de aborto en óvulos. Los óvulos abortados son semillas potenciales que no logran completar el desarrollo normal del embrión, posiblemente a la falta de polen y los daños por insectos (Bramlett *et al.*, 1977).

Para la proporción de semillas vanas en promedio se obtuvo 11.13%, comparada con los demás estudios que se tienen en otras especies de coníferas, de las cuales el que presenta mayor proporción de semillas vanas es *Pinus leiophylla* con 89.2% (Cuadro 2) (Morales-Velázquez *et al.*, 2010).

Por otra parte los conos coleccionados antes de la madurez producen semillas con gametos incompletos, es decir mayor proporción de semillas vanas y óvulos abortados, tal caso es del *Pinus maximartinezii*, en dónde los conos colectados un año antes de la madurez, se obtuvieron en gran mayoría semillas vanas (Figura 5). Pero también en el análisis del cono no se estiman todas las pérdidas de la semilla, solo mide las semillas vanas y los óvulos abortados que sobreviven en los conos, las pérdidas que se tienen del cono en la iniciación de la flor para la madurez del cono no son considerados, a menudo 50% o más de la producción de semilla se pierden durante este período (Bramlett *et al.*, 1977).

En el caso del indicador de endogamia para *Pinus maximartinezii* en este estudio se tiene un indicador de endogamia de 0.18 el cual es la especie que presenta menor indicador de endogamia comparado con los otros estudios en coníferas de los cuales no tiene similitud con ninguno, tal es el caso de *Picea mexicana* Martínez el cual presenta un indicador de endogamia del 0.80 (Flores *et al.*, 2005) siendo el más alto de las otras especies (Cuadro 2).

Por otra parte para la eficiencia reproductiva que es peso de la semilla llena entre el peso seco del cono, fue del 88.15 g de semilla por kg de conos, con una mínima de 0 y una máxima de 163.80 lo cual nos indica que se tiene una alta eficiencia reproductiva comparada con las demás especies (Cuadro 2).

Pero también los cruzamientos entre parientes no son improbables en esta especie debida a la dispersión de sus semillas pesadas, sin alas ya que puede ser en su totalidad por gravedad, dando lugar a la agrupación de los hermanos. Se tiene que a nivel poblacional *P. maximartinezii* presenta un nivel de cruzamiento lejano y entre árboles resultaron ser independientes, es por esto que la endogamia no parece ser un problema importante para la conservación de *Pinus maximartinezii* por lo que presenta altos porcentajes de semillas llenas, ya que probablemente se deba a lo mencionado en el estudio de isoenzimas realizado, en donde 18 de los 22 árboles resultó que tienen una alta polinización cruzada, y se obtuvo que no hay diferencias significativas entre árboles, por lo que la polinización es completamente cruzada, por otra parte las

Cuadro 2. Indicadores reproductivos de conos y semillas en diferentes especies de coníferas y diferentes localidades.

Especie	LC (cm)	PSC (g)	EF	POA%	POR%	PSV%	PSLL%	IE	EFR	Bibliografía
<i>Pinus maximartinezii</i> Rzedowski	197.93	530	45.4	19.34	7.44	11.13	61.68	0.18	88.15	Trabajo actual
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	75.39	16.67	24.91	38	-----	24	35	0.42	-----	Hernández (2006)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	31.45	-----	11.34	-----	-----	18.00	29	0.42	-----	Villa (2010)
<i>Picea martinezii</i> T. F. Patterson.	10.77	22.77	132.98	72	1	20	7	0.75	-----	López (2007)
<i>Picea mexicana</i> Martínez	5.57	12.68	102.37	41.00	-----	46.00	13	0.80	23.70	Flores <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus catarinae</i> M. F. Robert-Passini	----	----	----	37.5	62.5	60.34	23.58	----	----	Lemus (1999)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	----	----	----	3.9	45.4	19.7	30.9	----	----	Flores <i>et al.</i> (1998)
<i>Pinus johannis</i> M.-F. Robert	----	----	----	37	----	17	----	----	----	López (2005)
<i>Pseudotsuga macrolepis</i> Flous	----	----	----	24.53	36.65	----	11.35	----	----	Ponce (2008)
<i>Pinus pinceana</i> Gordon	----	----	----	14	25	41	53	----	----	Hernández (2006)
<i>Pinus leiophylla</i> Schltldl	----	----	----	72.9	----	89.2	7.3	----	2.49	Morales-Velázquez <i>et al.</i> (2010)

LC= longitud del cono (cm); PSC= Peso seco cono (gr); LS= Longitud de semilla; EF= Escamas fértiles; POA= Proporción de óvulos abortados; POR= proporción de óvulos rudimentarios; PSV= Proporción de semillas vanas; PSLL= Proporción de semillas llenas; IE= Indicador de endogamia; EFR= Eficiencia reproductiva.

diferencias entre los árboles en la tasa de exogamia fueron estadísticamente significativas mediante la prueba de Chi-Cuadrada, con lo cual se puede decir que *Pinus maximartinezii* no está genéticamente empobrecida (Ledig *et al.*, 1999).

4.3 Relación de la morfología del cono con la producción de semilla

Se puede observar que más de la mitad de las variables estuvieron relacionadas significativamente, como es la longitud de cono (diámetro de cono, peso seco de cono, semillas vanas, semillas llenas, proporción de escamas fértiles, peso de semilla, potencial de semilla, longitud de semilla, ancho de semilla y grosor de semilla) se relacionaron positivamente, esto debido a que son variables alométricas, es decir variables con funciones comunes y que tienen una semejanza geométrica (Cuadro 3).

Podemos ver que mientras más grande el cono más cantidad de semilla produce, mayor número de escamas fértiles, con menor número de óvulos abortados, y presenta semillas de mayor tamaño, así como a mayor tamaño de cono es mayor el volumen. En pinos los rendimientos de semilla y los conos de mayor tamaño se dan cuando hay polinización adecuada, *Pinus maximartinezii* presenta una amplia gama de cruzamiento entre árboles lo cual no se observa generalmente en los pinos de alta polinización cruzada y poco común en las especies leñosas con un sistema de apareamiento mixto como esta especie (Bramlett *et al.*, 1977; Ledig *et al.*, 1999).

En un estudio realizado en *Picea mexicana* Martínez se obtuvo que la correlación entre tamaño de cono y peso de semilla indica que los árboles con mayor tamaño de cono producen semillas más grandes. Por lo cual en la recolección de semilla, es común que se prefiera a los conos de mayor tamaño, lo que generalmente está asociado a un mayor porcentaje de semillas llenas y viabilidad. Podemos concluir que ese procedimiento es el correcto cuando la densidad de población es alta, pero los resultados esperados no concuerdan cuando las poblaciones han sido mermadas y los árboles se distribuyen de manera dispersa (Flores-López *et al.*, 2004; Morales-Velázquez *et al.*, 2010).

Cuadro 3. Correlación de Pearson entre las características de la producción de semilla de los árboles de *Pinus maximartinezii* Rzedowski.

	DC	PVC	PSC	OA	ORU	SV	SLL	SD	PEF	PSLL	PS	LS	AS	GS	APF
LC	0.653**	0.230ns	0.875**	0.077ns	0.082ns	-0.330**	0.325**	0.164ns	0.344**	0.495**	0.344**	0.469**	0.560**	0.454**	0.181ns
DC		0.216ns	0.736**	-0.187ns	-0.042ns	-0.302*	0.450**	0.350**	0.243*	0.573**	0.243*	0.401**	0.450**	0.275*	0.444**
PVC			0.229ns	0.053ns	0.153ns	-0.107ns	0.063ns	-0.003ns	0.150ns	0.118ns	0.150ns	0.132ns	0.198ns	0.123ns	0.289*
PSC				-0.034ns	0.104ns	-0.493**	0.470**	0.223ns	0.327**	0.596**	0.327**	0.518**	0.489**	0.375**	0.351**
OA					0.326**	-0.111ns	-0.474**	-0.729**	0.253*	-0.395**	0.253*	-0.175ns	0.198ns	0.266*	-0.031ns
ORU						-0.040ns	-0.270*	-0.387**	0.488**	-0.201ns	0.488**	0.100ns	0.277*	0.223ns	-0.031ns
SV							-0.670**	-0.051ns	-0.202ns	-0.626**	-0.202ns	-0.267*	-0.239*	-0.240*	-0.236*
SLL								0.774**	0.360**	0.916**	0.360**	0.331**	0.058ns	-0.007ns	0.178ns
SD									0.326**	0.701**	0.326**	0.220ns	-0.112ns	-0.206ns	0.046ns
PEF										0.389**	1.000**	0.181ns	0.234ns	0.141ns	0.008ns
PSLL											0.389**	0.564**	0.347**	0.266*	0.198ns
PS												0.181ns	0.234ns	0.141ns	0.008ns
LS													0.589**	0.465**	0.030ns
AS														0.870**	0.027ns
GS															0.086ns

LC= Longitud de cono; DC= Diámetro de cono; PVC= Peso verde de cono; PSC= Peso seco de cono; OA= Óvulos abortados; ORU= Óvulos rudimentarios; SV= Semillas vanas; SLL= Semillas llenas; SD= Semillas desarrolladas; PEF= Proporción de escamas fértiles; PSLL= Peso de semillas llenas; PS= Potencial de semilla; LS= Longitud de semilla; AS= Ancho de semilla; GS= grueso de semilla; APF= Altura de apófisis; ** Correlación significativa al 0.01;* Correlación significativa al 0.05; ns= No significativo.

Para este trabajo en la producción de semilla hay una relación directa con la longitud de cono y el diámetro de cono, e indirectamente a la longitud de la apófisis, así como con el peso seco del cono (Cuadro 3). Con esto se tiene que cuando una variable está dada con el diámetro del cono, peso seco del cono y la apófisis hay una relación con el volumen y el ancho del cono, esto significa que mientras más volumen tenga el cono más ancho de apófisis se va a presentar en el cono, por lo tanto se confirma lo que las personas mencionaban, que los conos con apófisis más protuberantes tienen mayor número de semillas llenas.

4.4 Estimación de la producción de semillas

En base a las variables con mejor correlación se obtuvo el mejor modelo para la estimación de la producción de semilla (Cuadro 4) con una $R = 0.53$ y una $R^2 = 0.28$ y con un coeficiente de variación de $CV = 37.73\%$. Con estas variables en este modelo, se puede estimar la producción de semilla, con lo cual la altura de la apófisis así como el peso seco del cono están relacionados, para una mejor estimación.

Cuadro 4. Regresión lineal con las variables de mayor correlación para la mejor ecuación de estimación de la producción de semilla de *Pinus maximartinezii* Rzedowski.

$$SLL = b_0 + b_1 \cdot PSC + b_2 \cdot LC + b_3 \cdot DC + b_4 \cdot APF$$

b0=13.40	b1= 103.52	b2= -0.386	b3=0.594	b4= -0.581
----------	------------	------------	----------	------------

SLL= semilla llena; PSC= Peso seco de cono; LC= Longitud de cono; DC= Diámetro de cono; APF=Altura de apófisis; b0, b1, b2, b3, b4= Constantes.

En un estudio realizado para para *Pinus leiophylla* Schtdl. et Cham, se obtuvo que la mayor parte de las variables como son el volumen del cono, potencial de semillas, eficiencia de semillas, porcentaje de semillas vanas, porcentaje de semillas llenas, eficiencia reproductiva y el porcentaje de óvulos abortivos estuvieron asociadas significativamente ($r = 0.780$), así como el

volumen del cono mostró una tendencia a una asociación positiva con el potencial de semillas (Morales-Velázquez *et al.*, 2010).

Otro estudio realizado de *Abies religiosa* (HBK) Schl. *et* Cham, donde las correlaciones más importantes entre las variables del cono y la semilla, la correlación más alta se da entre el largo de los conos y el número de semillas por cono ($r= 0.85$), lo que confirma que hay más semillas si los conos son más grandes y pesados ($r=0.77$). Lo mismo ocurre con el diámetro o ancho del cono con el número de semillas, aunque los valores son menores. La correlación entre el número total de semillas y el peso seco del cono es 0.77, lo que la pérdida de humedad se genera en las brácteas, las escamas, las alas y otros componentes (Pascual *et al.*, 2003).

Así como la viabilidad de las semillas podría relacionarse con la longitud, o con la anchura del cono, pero la correlación más importante se da entre estas dimensiones y el número de semillas por cono, entre las cuales están incluidas las semillas viables; al igual que las no viables (Pascual *et al.*, 2003).

Las relaciones entre las semillas llenas y las características del cono, en especial la apófisis y el peso seco del cono no presentan alta correlación en otras coníferas. Por lo tanto, la viabilidad de las semillas no es previsible a partir de las características del cono que las contiene (Pascual *et al.*, 2003).

5 CONCLUSIONES

La población muestreada en el 2009 de *Pinus maximartinezii* presentó valores altos de potencial de semillas con 91 semillas por cono y una eficiencia de semilla del 61.7%, comparado con otros piñoneros y otras coníferas estudiadas.

La pérdida de semillas indican que los valores en la proporción de óvulos abortados son bajos, en promedio se tiene 19.34% y óvulos rudimentarios en promedio son 7.44.

Los indicadores de conos y semillas en esta población presenta un indicador de endogamia bajo que es del 0.18 a pesar de que es una población pequeña y en peligro de extinción, lo que refleja que la población no tiene problemas de endogamia.

Las variables morfológicas que sobresalen y que presentan mayor correlación con la producción de semilla, son la longitud y diámetro de cono, el peso seco y la longitud de apófisis, los cuales nos ayudan a estimar la producción de semilla.

Las correlaciones entre las dimensiones del cono que se obtuvieron indican que entre mayor diámetro de cono, y longitud, mayor tamaño de apófisis se tendrá, y por lo tanto mayor será la producción de semillas, así que para la colecta de conos debe darse preferencia a los conos de mayor longitud, diámetro y los que presentan mayor longitud de apófisis.

6 RECOMENDACIONES

Evaluar la producción de semilla en diferentes años para ver si existe variación entre años y para estimar los años semilleros.

Evaluar la nueva población distribuida en el Estado de Durango para comparar la producción de semillas.

Aumentar el número del tamaño de muestra en toda la población en base a una colecta científica, para conocer si existe variación entre los árboles existentes dentro de la UMA y los árboles que no están integrados en la UMA.

Evaluar la producción de semilla en las diferentes exposiciones, para estimar la variación existente y revisar el efecto de la exposición en la producción de semilla.

7 LITERATURA CITADA

- Alba L, J., L.C. Mendizábal H., J. Márquez R. 2001. Comparación del potencial de producción de semillas de *Pinus oaxacana* Mirov de dos cosechas en Los Molinos, Veracruz México. *Foresta Veracruzana* 3 (1): 35-38.
- Alba L, J., A. Aparicio-Rentería y J. Márquez-Ramírez. 2003. Potencial y eficiencia de producción de semillas de *Pinus hartwegii* Lindl. de dos poblaciones de México. *Foresta Veracruzana* 5 (1): 25-28.
- Alba L, J., J. Márquez-Ramírez y H. S. Bárcenas C. 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): pp: 37-40.
- Arteaga M., B. 2000. Producción de semilla de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. *In: Il Simposio sobre Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina. Memorias. Compilador: Rodolfo Salazar 18-22 de Octubre, 1999 Santo Domingo, República Dominicana. Catie. Turrialba, Costa Rica Mayo, 2000. pp: 47-51.*
- Arteaga M, B., H. García R y J.G. Rivera M. 2000. Piñón Grande *Pinus maximartinezii* Rzedowski. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México. 134 p.
- Arteaga M, B., H. García R y J.G. Rivera M. 1998. Análisis bromatológico de la semilla de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Bramlett, D. L., E. W. Belcher Jr., G. L. DeBarr, J. L Hertel, R. P. Karrfalt, C. W. Lantz, T. Miller, K. D. Ware y H. O. III Yates. 1977. Cone analysis of Southern pines: a guidebook. Gen.Tech. Rep. SE-13. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C. U. S. A. 28 p.

- Bustamante G.V., B.E. Merlín., R.J.A. Prieto., G.S. Solís., P.A. Carrillo., D.J.C. Hernández., Facultad de Ciencias Forestales., Universidad Juárez de Estado de Durango., INIFAP-Durango., Instituto Tecnológico Forestal de El Salto, Dgo., Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León., ISIMA, Universidad Juárez de Estado de Durango. 2009. Análisis de conos y semillas de *Pinus durangensis* Mart., en rodales y áreas semilleras del estado de Durango. Memoria. IV Reunión Nacional de Innovación Agrícola y Forestal Saltillo, Coahuila 2009. Pp. 340.
- Cetenal. 1974. Juchipila carta edafológica. 1:50000. F-13-D-36.
- Donahue J.,K. and C. Mar L. 1995. Observations on *Pinus maximartinezii* Rzed. *Madroño*. LXII (1): 18-25.
- Espinoza R., J. 2010. Prestador de servicios técnicos forestales. Forestal-joel@hotmail.com. Tel: 014929240376.
- Dvorak W.S., T.K. Stanger and J.L. Romero. 2000. *Pinus maximartinezii*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative, College of Natural Resources, NCSU. Raleigh NC. USA. pp: 97-101.
- Fady, B., S. Fineschi y G.G. Vendramin. 2008. EUFORGEN. Guía técnica para la conservación genética y utilización del pino piñonero (*Pinus pinea* L.). Traducción: A. Prada. Foresta. Madrid. España. 6 p.
- Farjon A. and T. Brian S.1997. *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Organization for Flora Neotropica. Pinus (pinaceae). 75: 221.
- Flores L, C. J. López U., J. J. Vargas H. 2005. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39: 117-126.

- Flores L, C., S. Aguilar A., S. Valencia M., E.H. Cornejo O. 1998. Potencial y eficiencia de semillas en tres poblaciones naturales de *Pinus johannis* M.F. Robert. Proyecto de investigación 02.03.0207.2412. U.A.A.A.N. pp. 411- 417.
- Flores-López C., J. López-Upton y J. Vargas-Hernández. 2004. Indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea mexicana* Martínez. *Agrociencia* 39: 117-126.
- Fonseca J., R.M. 2003. De piñas y piñones. Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. 69: 64-65.
- García N., R.M. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo de México. 54 p.
- García N., R.M. 1986. Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus maximartinezii* Rzedowski. Tesis profesional UACH. Chapingo, México. 54 p.
- García, E. 1998. Cartas Clima köppen modificada por E. García, 1:1000000. ESRI, Shape file. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Climas. [Fecha de consulta: 30 Enero 2012] disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- González-Elizondo, M., M.S. González-Elizondo., L. Ruacho-González y M. Molina-Olvera. 2011. *Pinus maximartinezii* Rzed. (Pinaceae), primer registro para Durango, segunda localidad para la especie. *Acta botánica Mexicana* 96: 33-48.
- Hernández S., P. 2006. Producción e indicadores reproductivos de semillas en ocho poblaciones naturales de *Pinus pinceana* Gordon. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 32 p.

- Huerta V, J.L. 2000. Estudio de conos y semillas de *Pinus ayacahuite* variedad *veitchii* Shaw en dos localidades de la sierra nevada de México. Tesis profesional. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 51 p.
- Ledig E, T., M. Thompson C., B. Bermejo-Velázquez, T. Eguiluz-Piedra., P.D. Hodgskiss., D.R. Johnson and W.S. DVORA. 1999. Evidence for an extreme botreme bottleneck in a rare mexican pinyon: genetic diversity disequilibrium, and the mating system in *Pinus maximartinezii*. Institute of Forest Genetics, Pacific Southwest Research Station, USDA Forest Service, 2480 Carson Road, Placerville, California 95667. *Evolution*, 53 (1): 91-99.
- Lemus S., J. L. 1999. Maduración de conos, producción y viabilidad de la semilla de *Pinus catarinae* M. F. Robert-Passini. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 125 p.
- López C., Y. 2005. Producción y viabilidad de semillas de *Pinus johannis* M. F. Robert en dos poblaciones naturales de México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 42 p.
- López M. L. 2001. Proteins, amino acids and fatty acids composition of nuts from the mexican endemic rarity, *Pinus maximartinezii*, and its conservaction implications. *Interciencia* 26(12): 606-610.
- López R., E. 2007. Producción de semillas e indicadores reproductivos en poblaciones naturales de *Picea martinezii* T. F. Patterson. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 31 p.
- Lyons, L. A. 1956. The Seed Production Capacity and Efficiency of Red pine Cones (*Pinus resinosa* Ait.). *Canadian Journal of Botany* 34: 27-36.
- Morales-Velázquez, M.G., C.A. Ramírez-Mandujano., P. Delgado-Valerio y J. López-Upton. 2010. Indicadores reproductivos de *Pinus leiophylla*

Schltdl. Et Cham. En la cuenca del río Angulo, Michoacán. Revista Mexicana Ciencia Forestal 1(2): 31-38.

Mosseler, A. 1998. Minimum viable population size and the conservation of forest genetic resources. Chapter 13. In S. Puri (Ed.). Tree Improvement: Applied Research and Technology Transfer. Science Publishers, Inc. U.S.A. pp. 191-205.

Mosseler, A., J. E. Major, J. D. Simpson, B. Daigle, K. Lange, Y.-S. Park, K.H. Johnsen, y O.P. Rajora. 2000. Indicators of populations viability in red spruce, *Picea rubens*. I. Reproductive traits and fecundity. Canadian Journal of Botany 78: 928-940.

Mosseler, A., y O.P. Rajora. 1998. Monitoring population viability in declining tree species using indicators of genetic diversity and reproductive success. In: Environmental Forest Science. Edited by K. Sissa. Kower Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands. pp. 333-344.

Nieto de Pascual P., C., M. A. Musalem y J. Ortega A. 2003. Estudio de algunas características de conos y semillas de *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. Agrociencia 37: 521-531

Perry Jr., J.P. 1991. The pines of México and Central America. Timber press. Portland, Oregon. 231 p.

Ponce M., A. y C. Bautista H. 2008. Análisis de la producción de semillas de *Pseudotsuga macrolopis* Flous., en una plantación establecida en el Municipio de Amecameca, Estado de México. Tesis profesional UACH. Chapingo, México. 58 p.

Poulsen, K.M.1994. Análisis de semillas. Reglas internacionales para prueba de semilla. ISTA. Danida Forest Center. 34 p.

- Prieto R., J. A y J. Martínez A. 1993. Análisis de conos y semillas en dos áreas semilleras de *Pinus cooperi*. Folleto científico N° 1. SARH, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Norte Centro. Campo Experimental “Valle del Guadiana”. Durango, Dgo. México. 18 p.
- Rzedowski R., J. 1964. Una especie nueva de pino piñonero del Estado de Zacatecas (México). *Ciencia*. XXIII (2): 17-21.
- SAS institute Inc. 1998. SAS/STAT Guide for personal computers. Versión 8.0. SAS Institute Inc. Cary, N. C., USA. 378 p.
- Semarnat. 2010 Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. [En línea]. Diario oficial de la federación. Segunda edición 2010. [Fecha de consulta: 04 Marzo 2011]. Disponible en: <<http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20Vigentes/NOM%20059%20SEMARNAT%202010%20PROTECCIÓN%20AMBIENTAL%20ESPECIES%20NATIVAS%20DE%20MÉXICO%20DOF%2030%20DIC%202010.pdf>>.
- Vázquez C, O.G., E.O. Ramírez-García., J. Alba-Landa. 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.
- Villa P., V.H. 2010. Producción de semillas e indicadores reproductivos de *Pinus Johannis M.*- Robert en el noreste de México. Tesis profesional. U.A.A.A.N. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 37 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Medias de tendencia central, de dispersión y rango de 155 conos evaluados de 31 árboles de *Pinus maximartinezii*.

Variable	Media	Error	S	S ²	CV	Min	Máx
PS	90.77	1.68	14.07	198.06	15.50	68.00	128.00
SLL	56.13	2.90	24.30	590.52	43.29	0.00	94.00
SV	10.14	1.85	15.47	239.23	152.49	0.00	73.00
OA	17.60	1.65	13.84	191.66	78.66	1.00	56.00
OR	6.76	1.13	9.44	89.06	139.66	0.00	50.00
ES	61.78	3.17	26.48	701.33	42.87	0.00	98.78

PS= Potencial de semilla; SLL= Semilla llena; SV= Semilla vana; OA= Óvulos abortados; OR= Óvulos rudimentarios; ES= Eficiencia de semilla; S= Varianza; S²= Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación; Min= Mínimo; Máx= Máximo.

Apéndice 2. Medias de tendencia central, de dispersión y rango de 9 conos secos evaluados de *Pinus maximartinezii*.

Variable	Media	Error	S	S ²	CV	Min	Máx
PS	81.56	3.57	10.71	114.78	13.14	70.00	102.00
SLL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SV	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OA	25.22	6.97	20.92	437.44	82.92	5.00	62.00
OR	6.78	2.61	7.84	61.44	115.65	0.00	18.00
ES	0	0	0	0	0	0.00	0.00

PS= Potencial de semilla; SLL= Semilla llena; SV= Semilla vana; OA= Óvulos abortados; OR= Óvulos rudimentarios; ES= Eficiencia de semilla; S= Varianza; S²= Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación; Min= Mínimo; Máx= Máximo.

Apéndice 3. Comparación de medias por el método de Tukey, con un grado de libertad

T-Test

Variable	Método	Variación	DF	Valor de t	Pr > t
PS	Pooled	Igual	77	1.9	0.0618

PS= potencial de semilla; Pooled= combinación;

Apéndice 4. Medias de tendencia central, de dispersión y rango de los indicadores reproductivos de conos y semillas de *Pinus maximartinezii*.

Variable	Media	Error	S	S ²	CV	Min	Máy
EFR	88.15	4.88	40.86	1.67	46.35	0.00	163.81
IE	0.18	0.03	0.26	0.07	149.89	0.00	1.00
LC	197.93	3.30	27.58	760.68	13.93	133.00	273.00
PSC	0.53	0.02	0.16	0.03	30.37	0.16	0.94
OA	17.60	1.65	13.84	191.66	78.66	1.00	56.00
OR	6.77	1.13	9.44	89.05	139.36	0.00	50.00
SV	10.13	1.85	15.47	239.39	152.76	0.00	73.00
SLL	56.13	2.90	24.30	590.52	43.29	0.00	94.00
PEF	45.40	0.84	7.04	49.61	15.51	34.00	64.00

EFR= Eficiencia reproductiva; IE= Indicador de endogamia; LC= Longitud de cono; PSC= Peso seco de cono; OA= Óvulos abortados; OR= Óvulos rudimentarios; SV= Semillas vanas; SLL= Semillas llenas; PEF= Proporción de escamas fértiles; S= Varianza; S²= Desviación estándar; CV= Coeficiente de variación; Min= Mínimo; Máx= Máximo