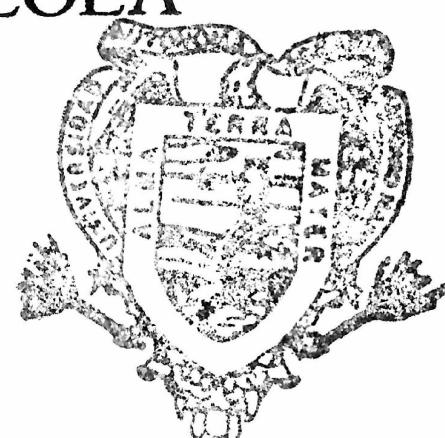


EVALUACION DEL EFECTO DE PRACTICAS
SILVOCULTURALES EN LA PRODUCCION Y
CALIDAD DE SEMILLA DE *Pinus cembroides* Zucc. y
Pinus halepensis Mill.

JOSE LUIS OVIEDO RUIZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA PRODUCCION AGRICOLA



BIBLIOTECA
EGIDIO G. REBONATO
BANCO DE TESIS
U.A.A.N.

Universidad Autónoma Agraria

"Antonio Narro"

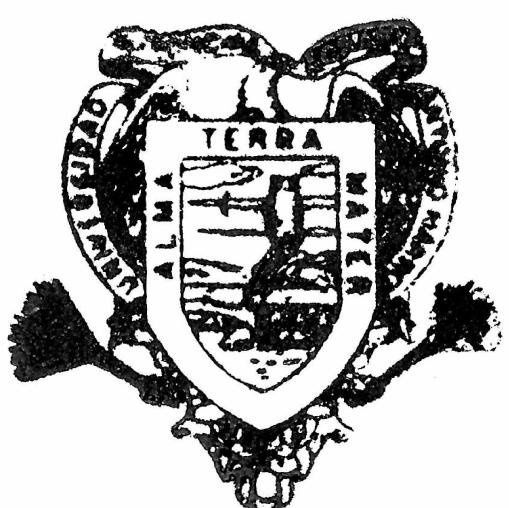
PROGRAMA DE GRADUADOS

Buenavista, Saltillo, Coah.

Noviembre,

2000

13522



**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

SUBDIRECCION DE POSTGRADO

**EVALUACION DEL EFECTO DE PRACTICAS SILVOCULTURALES EN LA
PRODUCCION Y CALIDAD DE SEMILLA DE *Pinus cembroides* Zucc. y
Pinus halepensis Mill.**

TESIS

POR

JOSE LUIS OVIEDO RUIZ

Elaborada bajo la supervisión del Comité Particular de Asesoría y aprobada
como requisito parcial para optar al grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: PRODUCCION AGRICOLA**

COMITE PARTICULAR

Asesor principal:

Ortegón
Dr. Jesús Ortegón Pérez

Asesor:

Miguel A. Capó Arteaga
Dr. Miguel A. Capó Arteaga

Asesor:

Jorge S. Marroquín de la Fuente
Dr. Jorge S. Marroquín de la Fuente

Asesor:

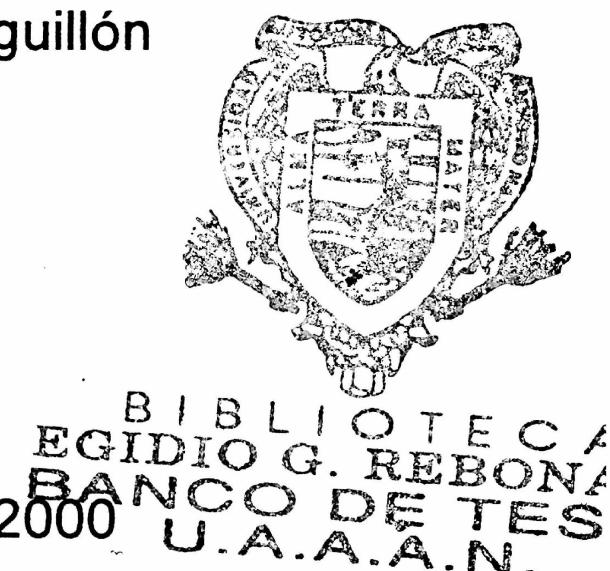
Sergio Rodríguez Herrera
Dr. Sergio Rodríguez Herrera

Asesor:

Ricardo López Aguillón
Dr. Ricardo López Aguillón

Ramiro López Trujillo
Dr. Ramiro López Trujillo
Subdirector de Postgrado

Buenavista, Saltillo, Coahuila, Noviembre de 2000



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por haberme permitido realizar este Programa Doctoral en Producción Agrícola (Semillas Forestales), y la que a través de la Dirección de Investigación y los Departamentos de: Fitomejoramiento, Forestal, Botánica, Horticultura y Suelos, me otorgó un valioso marco de apoyo en los trabajos de campo, laboratorio y gabinete.

A los compañeros maestros que integran la Academia del Departamento Forestal, por su comprensión y solidaridad en esta difícil empresa académica.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, la que a través de la Facultad de Ciencias Forestales, me otorgó asesoramiento y me permitió culminar satisfactoriamente las pruebas de Rayos X en fase de laboratorio.

Agradezco la participación relevante en la elaboración del presente trabajo a los integrantes del Comité Tutorial: Dr. Jesús Ortegón Pérez, Dr. Miguel Angel Capó Arteaga, Dr. Jorge Saúl Marroquín de la Fuente, Dr. Sergio Rodríguez Herrera y Dr. Ricardo López Aguillón.

Particularmente, agradezco la valiosa colaboración al Dr. Hernando Montenegro Torres, quien de manera sobresaliente me brindó el mejor de los apoyos para realizar el presente trabajo; el de amigos.

Asimismo, al Dr. José Angel Villarreal Quintanilla, M.C. Leopoldo Arce González, M.C. Javier Torres Arreguín, M.C. José Armando Nájera Castro, Ing. Quirino Orta Valdés, M.C. José de Jesús Rodríguez Sahgún, T.F. Félix Cevantes Soto, M.C. Felipe Brizuela Morales e Ing. José A. Ramírez Díaz, por su invaluable apoyo técnico.

A los alumnos de la carrera forestal de la UAAAAN que participaron en la estructura global de la presente investigación.

A mi esposa Alma Reyna Barrales Ibarra, quien (lideró) atendió estoicamente la delegación de responsabilidades de mi hogar para que pudiera atender el presente proyecto de mi vida; sin ella, simplemente no hubiese sido posible.

Agradezco a mis padres: Efraín Oviedo Sánchez y Olga Ruíz Castro, motivo de admiración y enorme cariño; así como a mis hermanos, Efraín, Oscar, Sergio, Samuel y Yassi, quienes siempre me apoyaron moralmente en esta importante empresa. Asimismo, extiendo mi sincero agradecimiento a mi suegro Hermilo Barrales Ramírez (†) y a mis tíos: Adán Oviedo Sánchez y Filogonio Barrales Leyva, por haber recibido de ellos, siempre, similar apoyo.

Agradezco a la escuela primaria “Adolfo López Mateos”, como también a la Secundaria Técnica “Adalberto Tejeda” No. 9, ambas de Tlacolula, Mpio. de Chicontepec, Ver., por enseñarme a percibir la vida como reto, trabajo, disciplina, lealtad, pasión y superación. En la Comunidad Escolar Campesina Integrada comprendí que el éxito se logra sólo con mística y perseverancia, así como llagas en las manos y el espíritu.

Agradezco a todas aquellas personas que directa e indirectamente dedicaron parte de su atención y esfuerzo para que el presente proyecto culminara satisfactoriamente.

DEDICATORIA

A mis padres:

Olga Ruíz Castro y Efraín Oviedo Sánchez

Por su legado educativo y social

COMPENDIO

Evaluación del efecto de prácticas silvoculturales en la producción y calidad de semilla de *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill.

POR

José Luis Oviedo Ruiz

**DOCTORADO EN CIENCIAS AGRICOLAS
AREA: PRODUCCION AGRICOLA**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MEXICO. NOVIEMBRE DE 2000

Dr. Jesús Ortegón Pérez -Tutor-

Palabras clave: calidad fisiológica, huerto semillero, rodal, madurez reproductiva.

El presente trabajo responde a la necesidad de mejorar las condiciones de producción de semilla forestal del género *Pinus* en las especies *cembroides* y *halepensis*, con el propósito de abastecer con plántula de alta calidad, plantaciones forestales debidamente planificadas y ejecutadas en el noreste de México, que coadyuven a recuperar vastas áreas forestales degradadas o

generar ingresos económicos a los productores forestales por la comercialización de productos y servicios derivados.

Por lo anterior, esta investigación pretende contribuir a sentar las bases para que en el mediano y largo plazo, se establezcan huertos semilleros del género *Pinus*, técnica y científicamente manejados. Para ello, fue importante evaluar la producción y calidad fisiológica de semilla de dos importantes especies de este género: *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc.

Se probaron los tratamientos silvoculturales: a) riego (R), b) fertilización (F), c) control de vegetación competitiva (L), y d) efecto combinado (R+F+L), los cuales fueron aplicados a tres rodales de *Pinus cembroides* Zucc de 15, 20 y 22 años, y a otro de *P. halepensis* de 28 años; ambos pertenecientes a la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coah.

Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio para cada rodal o parcela experimental, por lo que el análisis estadístico se realizó de manera individual (según edad y especie). Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias de las siguientes variables de respuesta: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla viable y porcentaje de semilla turgente.

Los principales resultados concluyeron que las especies estudiadas respondieron diferente ante los tratamientos silvoculturales aplicados,

destacándose que en *P. cembroides* es posible aumentar la producción y calidad fisiológica de la semilla en rodales jóvenes de 15, 20 y 22 años de edad, aún cuando no se haya alcanzado la etapa de plena madurez reproductiva, no así en *P. halepensis*, donde no hubo respuesta diferente entre los tratamientos ($P \leq 0.05$).

Desde el punto de vista económico, en ningún tratamiento se obtuvo factibilidad económica.

Por lo anterior, se sugiere el establecimiento futuro de huertos semilleros con *P. cembroides*.

ABSTRACT

Evaluation of the effect of silvicultural practices on the production and quality of the seed of *Pinus cembroides* Zucc. and *Pinus halepensis* Mill.

BY

JOSE LUIS OVIEDO RUIZ

DOCTOR IN AGRICULTURAL SCIENCES

AREA: AGRICULTURAL PRODUCTION

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
BUENAVISTA, SALTILLO, COAH., MEXICO. NOVEMBER 2000.**

Ph.D. Jesús Ortegón Pérez – Advisor –

Key words: physiological quality, seed orchard, stand, reproductive maturity.

The present work search on the need of improving the conditions of forest seed production of *Pinus cembroides* Zucc. and *P. halepensis* Mill., to supply high-quality seedling for forest plantations property planned and executed in the northeast of Mexico. Disturbed areas can be incorporated to production by plantations to generate income for forest producers.

The objective of this study was to evaluate the production and physiological quality of seed of these two important species. The experimental plot was located at the forest area of Zapaliname in Saltillo, Coah., Mexico. The four treatments were applied to 15, 20, and 22 years-old stands of *P. cembroides* and to 28 years-old stand of *P. halepensis*. The treatments were: a) irrigation (R), b) fertilization (F), c) weed control (L), and d) combinated effect (R+F+L).

A complete randomized experimental design was used for each stand or experimental plot. The statistical analysis was made for each stand. An analysis of variance was made for the following response variables: total of seed, empty seed, full seed, viable seed, viable seed percent and full seed percent.

The combined treatment (R+F+L) presented the highest yield and quality of seed ($P \leq 0.05$) as was reported on full and viable seed variables for 15, 20, and 22 years old stand of *P. cembroides*. However, there was found no statistical difference ($P \leq 0.05$) among treatments for *P. halepensis*.

Economical analysis of treatments was performed. It was found that no one of the treatments studied was economically feasible. The results of this research suggest that for commercial production of seed on the genus *Pinus* for the area in study, is necesary the establishment of specific seed orchards, technical and scientifically handled.

INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS	xiii
INDICE DE FIGURAS	xv
INTRODUCCION	1
REVISION DE LITERATURA	5
Antecedentes de la Problemática Forestal.	5
Especies Forestales en Estudio.	10
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	10
<i>Pinus halepensis</i> Mill.	15
Tendencias de la Producción de Semilla Forestal.	19
Prácticas Silvoculturales en el Manejo Forestal.	22
Riego.	22
Control de Vegetación Competitiva.	24
Fertilización.	25
Calidad de la Semilla (Pruebas físicas y fisiológicas).	27
MATERIALES Y METODOS.	31
Descripción del Area Experimental.	33
Tratamientos y Diseño Experimental.	41
Aplicación de Tratamientos.	41
Riego (R)	42
Fertilización (F).	42
Control de Vegetación Competitiva (L)	44
Combinación de Riego, Fertilización y Control de Vegetación Competitiva (C).	44
Testigo (T).	45
Procedimiento para la Obtención de Semilla.	45
Planificación y Recolecta de Conos.	45
Secado de Conos.	46

Extracción y Desalado de Semillas.	47
Almacenamiento de la Semilla.	47
Pruebas Físicas y Fisiológicas de la Semilla.	48
Depuración y Obtención de Semilla.	48
Determinación de Viabilidad.	49
Prueba de Germinación.	51
Análisis Estadístico.	52
Prueba de Rango Múltiple.	53
Análisis Económico.	54
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
Rodal de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. de 15 años de Edad.	56
Rodal de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. de 20 años de Edad.	61
Rodal de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. de 22 años de Edad.	66
Rodal de <i>Pinus halepensis</i> Mill. de 28 años de Edad.	70
Indicadores de Viabilidad Económica.	74
Discusión General.	77
 CONCLUSIONES.	93
 RESUMEN	96
 LITERATURA CITADA	98
 APÉNDICE	107

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
3.1. Descripción geográfica de las parcelas experimentales.	34
3.2 Reporte de análisis de suelos para los rodales de pinos estudiados.	36
3.3 Características químicas del agua subterránea.	39
3.4. Metodología de la producción y calidad fisiológica de las semillas en etapa de laboratorio y análisis de viabilidad económica.	48
4.1 Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de <i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad.	57
4.2 Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	57
4.3 Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	59
4.4 Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de <i>Pinus cembroides</i> de 20 años de edad.	61
4.5 Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 20 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	62
4.6 Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 20 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	63
4.7 Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de <i>Pinus cembroides</i> de 22 años de edad.	66
4.8 Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 22 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	67

4.9	Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus cembroides</i> de 22 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	69
4.10	Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de <i>Pinus halepensis</i> de 28 años de edad.	71
4.11	Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus halepensis</i> de 28 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	72
4.12	Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en <i>Pinus halepensis</i> de 28 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.	73
4.13	Viabilidad económica de los tratamientos aplicados en la investigación considerando los valores (costos y beneficios) en términos de moneda nacional.	75
4.14	Viabilidad económica de los tratamientos aplicados en la investigación considerando los valores (costos y beneficios) en término de dólares al tipo de cambio vigente.	76

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
2.1. Fisonomía de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. establecido sobre suelos esqueléticos.	11
2.2. Plantación de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. con fines de protección y rehabilitación.	14
2.3. Plantación de <i>Pinus cembroides</i> Zucc. con fines de producción de árboles de navidad.	14
2.4. Fisonomía de <i>Pinus halepensis</i> Mill. establecido sobre suelos esqueléticos.	17
3.1 Ubicación del área de estudio.	32
3.2 Localización de las cuatro parcelas experimentales en el área de reforestación.	33
3.3 Ensayos radiográficos para determinar la calidad fisiológica de la semilla de <i>Pinus halepensis</i> Mill.	50
3.4 Ensayos radiográficos para determinar la calidad fisiológica de la semilla de <i>Pinus cembroides</i> Zucc.	51

INTRODUCCION

Actualmente México atraviesa por una crisis en cuanto al manejo de sus recursos forestales maderables, debido a que anualmente se deforestan alrededor de 500,000 hectáreas de bosques templados y tropicales (Paré y Madrid, 1998); situación que está generando problemas ambientales como la erosión edáfica en sus diferentes manifestaciones, pérdida de importantes recursos genéticos vegetales, así como la interrupción de las interrelaciones ecosistémicas. Esto se debe, entre otras causas, a la quema no controlada y la deforestación para obtener terrenos agrícolas y ganaderos con fines de incrementar la producción de alimentos (Manuales SEP-TRILLAS, 1983; CESPEDES, 2000).

La recuperación de este tipo de cubierta forestal implica la cuidadosa selección y uso de especies apropiadas para fines de rehabilitación del hábitat, requiriéndose implementar, entre otras actividades, programas de producción masiva de semilla de alta calidad física, fisiológica y genética.

La producción de semilla en las especies: *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. , es particularmente importante para el fomento forestal del noreste de México, ya que el *P. cembroides* se distribuye naturalmente a lo largo de las laderas altas de la Sierra Madre Oriental en el noreste del país,

entre otras partes (Vallejo, 1997). Además, esta especie genera importantes ingresos debido a que la comercialización de su semilla (*piñón*) para fines alimenticios es recurrente (Perry, 1991). *Pinus halepensis* y *P. cembroides* son utilizados en reforestaciones para fines de conservación o restauración ecológica de suelos; como también, de manera limitada, este último tiene importancia adicional por su comercialización como árbol de navidad (SEMARNAP, 2000).

En México, al igual que en muchas partes del mundo, el germoplasma empleado para el establecimiento de plantaciones forestales se recolecta en rodales naturales; en muchos casos con poca o ninguna integridad en términos de procedencia o nivel de mejoramiento genético (Jaquish, 1997). Dentro del mismo ámbito de la problemática forestal, debe mencionarse que tampoco existe un mercado formal de semillas forestales en México. Una alta proporción de este recurso genético se importa principalmente de Estados Unidos en el contexto del tratado trilateral de libre comercio (TLC), ya que dispone de sistemas de producción de semilla forestal a partir de huertos semilleros, suministrando altos volúmenes de semilla calificada y certificada, a precios elevados.

Por lo anterior, México requiere integrarse a un proceso sistemático y factible de colecta y acondicionamiento de semilla forestal, con el fin de establecer las bases de un abastecimiento programado y seguro a través del tiempo. Sin embargo, para el éxito de esta fase se requiere estimular la

producción de este recurso mediante la planificación de un adecuado programa de manejo forestal que considere tratamientos silvícolas, como el aclareo, espaciamiento entre árboles, riego, fertilización, protección forestal, y otras prácticas culturales, encaminadas a mejorar cuantitativamente la producción y la calidad genética de las semillas (Willan, 1991).

Por los motivos expuestos, el presente trabajo fue desarrollado con base en los siguientes objetivos:

Objetivo general:

Contribuir a sentar las bases para que en el mediano y largo plazo, se establezcan huertos semilleros del género *Pinus*, técnica y científicamente manejados.

Objetivos específicos:

a) Evaluar la producción y calidad fisiológica de semilla de *Pinus halepensis* Mill. y *Pinus cembroides* Zucc.

b) Determinar la factibilidad económica de cada una de las prácticas silvoculturales implementadas.

Las hipótesis bajo las cuales se desarrolló el presente trabajo fueron:

- a) La producción y calidad de semilla de las especies forestales en estudio se incrementa por efecto de prácticas silvoculturales.
- b) Al menos una de estas prácticas es factible desde el punto de vista económico.

REVISION DE LITERATURA

Antecedentes de la Problemática Forestal

La forestación en América Latina cubría alrededor de 1'700,000 hectáreas en 1966, 2'000,000 en 1972, 5'800,000 en 1982 y para este año 2000 el aforo llega a 15'000,000, con un 50 por ciento de coníferas (*Pinus spp.*) y otro tanto de latifoliadas. Sin embargo, este ritmo de fomento no se refleja en México, ya que la tasa anual de forestación se estima en sólo 20,000 hectáreas anuales (Cozzo, 1995).

La situación anterior se debe percibir en un contexto amplio, ya que las implicaciones de la destrucción de los recursos forestales abarcan aspectos sociales, ecológicos y económicos. En este sentido se debe mencionar que el crecimiento demográfico, la industrialización y los crecientes niveles de prosperidad asiáticos, así como la revaloración de los beneficios intangibles de los bosques de Europa, Canadá y los EUA, junto con la toma de conciencia de los efectos perjudiciales de la deforestación, están modificando dramáticamente las condiciones en las que se desarrolló el comercio forestal hasta la actualidad. Asimismo, el escenario de restricción proyectado en el abastecimiento de madera es de naturaleza esencialmente económica. Los bosques más

accesibles están llegando al límite de su potencial productivo, o son más valiosos por sus aspectos recreacionales; en muchas regiones del tercer mundo la sustitución de leña y carbón por otras fuentes energéticas es demasiado costosa; los materiales sustitutos son más caros o contaminantes. La FAO sitúa la demanda mundial al año 2010 en 5,069 millones de metros cúbicos de madera, manteniendo la demanda industrial en el 50 por ciento del total, estimándose un déficit entre producción y demanda de 993 millones de metros cúbicos, los cuales están distribuidos en 711 y 282, para coníferas y latifoliadas, respectivamente (Aguerre, 2000).

En la época de la Colonia, México contaba con alrededor de 90 millones de hectáreas arboladas (75 por ciento de boques templados y el resto de selvas tropicales) y, actualmente, según el inventario forestal (SEMARNAP, 1998) presenta una superficie arbolada de 56.8 millones de hectáreas (bosques y selvas). La causa principal de esta merma es la política forestal que ha promovido un intenso proceso de deforestación en las últimas cinco décadas, y se espera que en el corto plazo este proceso se acentúe, ya que México pierde cada año, como se dijo al principio, entre 300 y 600 mil hectáreas de bosques (Paré y Madrid, 1998); en contraparte América Latina reforesta de 500 a 550 mil hectáreas cada año (Cozzo, 1995).

La deforestación y consecuente desaparición de ecosistemas de bosques y selvas se ha dado principalmente a partir de la década de los treintas, cuando se pusieron en marcha las políticas agrarias de la posrevolución, y

colateralmente se aceleró el crecimiento demográfico. En esta época, la deforestación persiste a ritmos muy elevados, donde se ubica a México como uno de los primeros. Estadísticas recientes reportan tasas anuales de deforestación de aproximadamente 500 mil hectáreas, con mucha mayor incidencia en el sur y sureste del país, donde se tienen los ecosistemas más valiosos. Regionalmente, la deforestación en miles de hectáreas se ubica de la siguiente manera: noreste, 92.3; noroeste, 96.3; occidente, 62.1; centro, 67.5 y sureste, 189.8 (CESPEDES, 2000).

En el ámbito del comercio internacional, el país es deficitario en su producción de celulosa y de materias primas para la producción de papel y cartón, entre otros productos. De no tomarse las medidas necesarias, las cuantiosas importaciones pueden crecer considerablemente en el mediano plazo e impactar aún más la balanza comercial, cuyo déficit en la actualidad es de alrededor de 1,700 millones de dólares anuales. A escala mundial los recursos forestales están disminuyendo con celeridad, principalmente en las zonas tropicales de los países en vías de desarrollo; por tal motivo será más difícil mantener o aumentar la producción sustentable de madera a partir de bosques naturales, donde la población sigue creciendo e incrementando la demanda por productos y bienes forestales, cada vez más difícil de obtenerlos. Para enfrentar este reto, las plantaciones forestales comerciales representan una de las principales alternativas para satisfacer en el largo plazo, la demanda forestal sin acabar con grandes extensiones de éstos recursos. Por esto, los países como México, que tienen capacidad de desarrollar plantaciones

comerciales en gran escala, deben privilegiar su posición estratégica en el abasto de madera a futuro (Layseca *et al.*, 1997).

Al respecto Borgo (1998) propone impulsar en forma creciente el establecimiento y manejo de plantaciones forestales comerciales en México. Según Caballero (1998), para esto se debe diseñar e instrumentar una auténtica política de desarrollo forestal hacia el mediano y largo plazos, creando una sólida estrategia de plantaciones. Por otra parte, Castaños (1998) menciona que de implementarse e impulsarse un programa de fomento forestal con especies de importancia comercial, es posible que se marque un nuevo rumbo político que lleve al país a niveles muy positivos de crecimiento y desarrollo.

De lo anterior se desprende que las grandes exigencias presentes y futuras de plantaciones en climas tropicales y templados, a fin de abastecer una creciente demanda de bienes y servicios por parte de la población de los diferentes países y particularmente de México, hace que se ponga particular énfasis en la obtención de semilla de alta calidad genética con el fin de eficientar los procesos productivos forestales (Willan, 1991).

Para alcanzar el éxito en estos proyectos se requiere contar con germoplasma adecuado. En la actualidad, las semillas viables procedentes de rodales de gran calidad intrínseca es la mejor manera de garantizar plantaciones sanas y de crecimiento rápido, capaces de obtener madera de

gran valor por su calidad genética y fisiológica (Willan, 1991). En este sentido, Zamudio (1991) plantea la necesidad de conservar, fomentar y aprovechar el “pino piñonero” (*Pinus cembroides* Zucc.) y preservar los beneficios para los pobladores de la región mediante programas de investigación que mejoren la producción por hectárea de semilla.

De manera colateral, es importante implementar programas de producción de semilla de “pino alepo” (*Pinus halepensis* Mill.), ya que ha demostrado buenas características de desarrollo, adaptación y crecimiento en su etapa inicial, sobre suelos esqueléticos propios de las zonas semiáridas del noreste mexicano, donde además se han establecido exitosamente otras plantaciones de *P. cembroides* con fines ecológicos, sobre una superficie de aproximadamente 600 hectáreas (Oviedo, 1980), misma que se ha incrementado para el año de 1999 a cerca de 1,000 hectáreas debido a nuevas plantaciones con éstas y otras especies (UAAAAN, 1999).

México es uno de los países que dispone de mayor diversidad de especies de pinos; esto probablemente se debe a la gran variabilidad de condiciones ecológicas que se presentan en el país, por esto es denominado como centro evolutivo de los pinos. Específicamente el grupo *cembroides*, dentro de los pinos piñoneros, se originó en el suroeste de EUA y por los levantamientos de las cordilleras altas en el oeste se formaron las planicies áridas hacia el interior del continente donde parcialmente se distribuye. Se ha reportado que los piñoneros llegaron a México durante el terciario;

considerando que el área comprendida entre el norte de México y suroeste de Estados Unidos de Norteamérica, ha sido su principal centro secundario de especiación durante los últimos 50 millones de años (Vallejo, 1997).

Especies Forestales en Estudio

Dada la importancia de las especies: *Pinus cembroides* Zucc. y *Pinus halepensis* Mill. en las reforestaciones del noreste de México, a continuación se hará una descripción de ellas.

***Pinus cembroides* Zucc.**

Comúnmente denominado en México como piñonero (Rzedowski, 1994), el *Pinus cembroides* corresponde a la familia Pinaceae y es nativo de Norteamérica (Martínez, 1948; Correll y Johnston, 1970; Wiggins, 1980). Este pino se caracteriza porque sus semillas ápteras son comestibles, con testa gruesa y dura, de 10 a 26 milímetros de largo. La almendra es rosada, de sabor agradable y con un gran contenido de nutrientes (Eguiluz *et al.*, 1985).

Es un árbol con una altura promedio de siete metros y un diámetro normal del fuste entre 17 y 31 centímetros, aunque en áreas protegidas puede alcanzar los 15 metros de altura y arriba de 35 centímetros de diámetro

(Peattie, 1953). Como se observa en la Figura 2.1 su copa es piramidal durante las primeras etapas de desarrollo y redondeada cuando llega a la madurez (Correll y Johnston, 1970).



Figura 2.1. Fisonomía de *Pinus cembroides* Zucc. establecido sobre suelos esqueléticos.

Las hojas están en grupos de tres, pero varios fascículos tienen dos y a veces cuatro (esporádicamente cinco). Miden de 2.5 a 7 centímetros de largo y su color es verde oscuro, algo azuloso pálido, a veces amarillento y frecuentemente glaucas en las caras internas (Martínez, 1948).

Los conillos son estructuras reproductivas femeninas, se encuentran solitarios o en verticilos de tres a cinco en los extremos de las ramas correspondientes a la parte media y superior del árbol (Vallejo, 1997). Son globulosos, con gruesas escamas (Martínez, 1948). Generalmente las escamas de la parte media del estróbilo son fértiles, con una semilla desarrollada y la otra abortada (Martínez, 1948; Vallejo, 1997).

Los conos estaminados son subglobulosos, de cinco a seis centímetros; caedizos y casi sésiles, de color moreno anaranjado o rojizo, dispuestos generalmente sobre las ramas inferiores del árbol (Correll y Johnston, 1970).

Se encuentra distribuido desde las áreas montañosas del oeste de Texas, suroeste de Nuevo México y sureste de Arizona, en EUA, hasta la parte norte de Puebla, incluyendo Baja California Sur, Coahuila, Nuevo León y otros estados intermedios de México. Su ocurrencia se da sobre laderas de clima semiárido localizadas en la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental (Elías, 1980; Fisher *et al.*, 1988), donde la precipitación es baja y bimodal, de 359 milímetros en promedio anual, que se distribuye principalmente en verano e invierno (Little, 1977; Rzedowski, 1994). Además, su área de distribución se

encuentra entre los 18° latitud norte en los estados de Puebla y Veracruz, Mex., hasta cerca de los 40 en Arizona y Nuevo México, EUA (Figuras 2.1 y 2.4) (Martínez, 1948; Rzedowski, 1994).

Su rango altitudinal oscila entre los 1,000 y 2,800 metros (Vallejo, 1997), aunque Buechner (1950) menciona que se presenta entre los 1,219 y 2,188 msnm.

Los bosques de piñonero son fisonómicamente bajos; pueden formar masas puras aunque normalmente se asocia con *Juniperus spp.* y/o *Quercus spp.* (Flores, 1983).

El piñonero debiera considerarse para programas de reforestación en zonas áridas y semiáridas, pues tiene buena capacidad de adaptación, produce leña y es una fuente de semilla para consumo humano bajo esas condiciones climáticas. Además, representa una alternativa adicional de ingreso económico para los dueños y poseedores de terrenos forestales si se planta como árbol de navidad (Perry, 1991).

En la reforestación de Zapalinamé, aledaña a la ciudad de Saltillo, Coah., esta especie se ha establecido a manera de plantaciones protectoras del suelo (Anónimo, 1972) (Figura 2.2), demostrando buen prendimiento, desarrollo y cumpliendo con su cometido protecciónista, además, en 1986 se estableció en la misma área, otra plantación con 6,000 plántulas cuyo objetivo fue producir

árboles de navidad (Figura 2.3). Tanto las plantaciones protectoras como las comerciales, han carecido prácticamente de cuidado en cuanto a la aplicación de prácticas silvícolas de manejo, y aún así, los inventarios realizados muestran un buen establecimiento y desarrollo de esta especie (Oviedo, 1980; UAAAN, 1986).



Figura 2.2. Plantación de *Pinus cembroides* Zucc. con fines de protección y rehabilitación.



Figura 2.3. Plantación de *Pinus cembroides* Zucc. con fines de producción de árboles de navidad.

Actualmente el *Pinus cembroides* es de gran importancia para los pobladores que habitan el noreste de México, principalmente como fuentes de semilla para consumo humano, ya que comúnmente el precio del *piñon* es alto y significa una fuente adicional de ingresos para los colectores (Vallejo, 1997).

***Pinus halepensis* Mill.**

Pertenece a la familia Pinaceae (Wiggins, 1980) y comúnmente es llamado en su región de origen como pino: alepo, carrasco y/o blanco (Ferrer, 1968).

El *Pinus halepensis* es uno de los árboles más comunes de Líbano y gran parte del Mediterráneo (Abou-Haidar, 1997) con una amplia distribución en aquella región (García, 1996). Crece en áreas montañosas bajas, localizadas a una altura de aproximadamente 1,000 msnm (Abou-Haidar, 1997). En este sentido, Gualda (2000) menciona que se localiza en colinas y laderas secas y soleadas, desde el nivel del mar hasta cerca de los 1,000 metros de altitud; prefiriendo los suelos ricos en cal y constituyéndose como el pino más resistente a la sequía en su área de distribución natural. También, García (1996) reporta que se encuentra en altitudes variables, desde el nivel del mar hasta los 1,000 metros; aunque menciona que se ha llegado a localizar a 2,000 msnm.

Este árbol alcanza una altura alrededor de los 10 metros, aunque puede llegar a crecer 20 metros (Abou-Haidar, 1997). Presenta un fuste erguido, de corteza blanquecina o ceniza, que con la edad se resquebraja y adquiere un color pardo o pardo rojizo. Su ramificación es de tipo decurrente, es decir, muy ramoso desde cerca de la base (Tomlinson, 1983); es un árbol monóico que generalmente presenta las flores masculinas en las ramas inferiores y las femeninas en las superiores (Walter y Wrant 1968); además, es perennifolio, resinífero, con conos masculinos ovoideos o cilíndricos, axilares o terminales, con escamas dispuestas helicoidalmente y dos sacos polínicos en cada una. El estróbilo femenino es de 5 a 12 centímetros, cuyos primordios aparecen en los meses de marzo a mayo y maduran a finales del segundo verano (Gualda, 2000), produciendo semillas de color gris oscuro en forma de piñón, con un ala tres veces más larga (Alturo, 1998). Las acículas son finas y flexibles, agrupadas de dos en dos, con una longitud comprendida entre 6 y 10 centímetros. Estos pinos se caracterizan por la poca cantidad de hoja que tienen, presentando una copa redondeada y clara (Figura 2.4), con acículas agrupadas en los extremos de las ramas y no persistiendo en ellas más de dos años (Ferrer, 1968).

El pino alepo es muy adaptable a suelos esqueléticos y secos, preferentemente calizos, aunque también se desarrolla sobre pizarras blandas primarias.

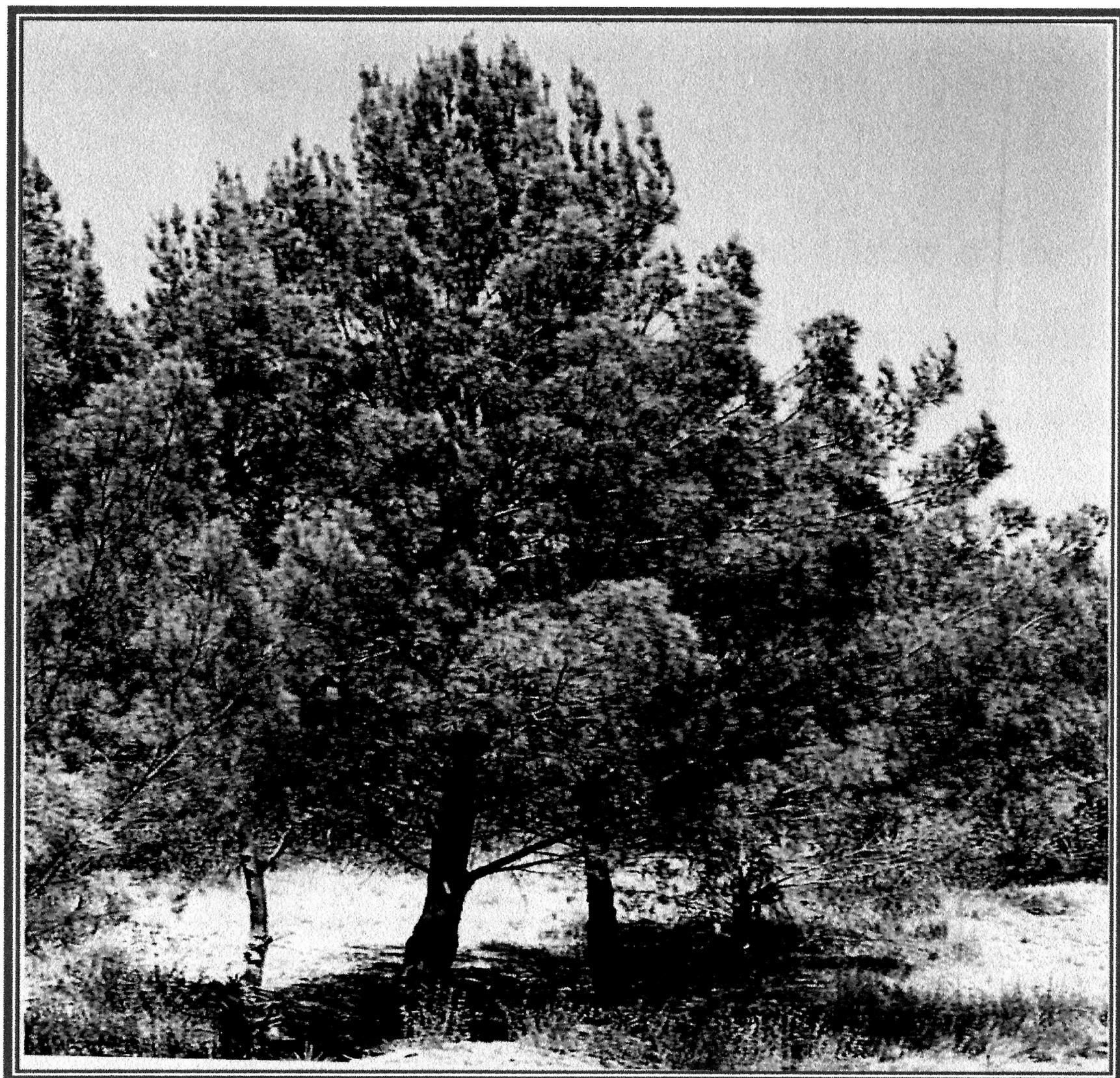


Figura 2.4. Fisonomía de *Pinus halepensis* Mill. establecido sobre suelos esqueléticos.

Muy resistente a la sequía; se ha utilizado abundantemente para repoblar áreas muy erosionadas, pudiendo ascender hasta los 1,500 metros a pesar de su carácter termófilo (Polunin, 1978).

Tiene una buena capacidad de adaptación a diversos climas y suelos, en donde puede llegar a prosperar relativamente bien pero a expensas de una malformación forestal. Con trabajos de mejoramiento genético podría

emplearse en regiones donde actualmente no se adaptan otras especies de coníferas (Cozzo, 1995).

En el noreste de México, este pino se ha establecido desde 1960 sobre suelos petrocálcicos, esqueléticos y muy erosionados, con precipitación media anual de aproximadamente 400 milímetros, en un rango altitudinal de 1,500 a 1,850 msnm, y clima extremoso que presenta una temperatura media anual de 17 grados centígrados (Oviedo, 1980; Anónimo, 1972).

Es una especie bien adaptada a los incendios forestales por su capacidad regenerativa acentuada y por la presencia de conos cerrados con semilla durante todo el año; además, en su región de procedencia se le puede encontrar formando masas puras o en asociación con las siguientes especies: *Abies pinsapo*, *Quercus ilex*, *Q. faginea*, *Olea europaea*, *Pinus nigra*, *P. pinea*, *P. pinaster*, *Tetraclinis articulata*, *Populus alba*, *Juniperus thurifera* y *J. phoenicia* (Alturo, 1998). El mismo autor menciona que el *P. halepensis* se puede utilizar en plantaciones con fines protectores, o con fines de producción de madera de calidad en el caso de disponer de planta mejorada genéticamente.

Por el momento es una especie de importancia secundaria que se puede establecer en muy difíciles condiciones climáticas, con menos de 400 milímetros de precipitación, y aún de 250, y de suelos superficiales, rocosos, salitrosos y alcalinos. En terrenos con difíciles condiciones de pendiente y alta pedregocidad, característicos de la Sierra de la Ventana (Buenos Aires,

Argentina), constituye una especie muy utilizada por su notable adaptación a este tipo de suelo, representando uno de los elementos forestales de mayor importancia en zonas áridas y semiáridas (Cozzo, 1995).

Por otra parte, en Argentina se tienen diversas plantaciones con esta especie. Al respecto, Cozzo (1995) menciona que en Guatrache, la Pampa, en rodales de 18 años y con 400 árboles por hectárea, las alturas son en promedio de 13 metros, con diámetros de 32.8 centímetros y un incremento en volumen de 15 metros cúbicos por hectárea al año, constituyendo plantaciones con resultados satisfactorios por tratarse de una región muy seca y salitrosa.

Tendencias de la Producción de Semilla Forestal

México es uno de los países con mayor biodiversidad, de gran riqueza florística, pero amenazada por una acentuada tasa de deforestación. El Gobierno Federal ha instrumentado el Programa Nacional de Reforestación, cuya meta es plantar en el lapso 1995-2000, 1,700 millones de árboles, y además impulsar las plantaciones forestales comerciales. Ambas iniciativas han generado una creciente demanda de germoplasma (semillas y material vegetativo). No obstante, en el país es casi nula la certificación de este material, por lo cual no está garantizada su calidad física, fisiológica y sanitaria, ni su procedencia genética como para aplicarse a estos programas (Salazar, 1997).

Las grandes exigencias presentes y futuras de plantaciones forestales en climas tropicales y templados, con el fin de abastecer una creciente demanda de bienes y servicios forestales por parte de la población de los diferentes países, hace que se ponga particular énfasis en la obtención de semilla de alta calidad genética con el propósito de eficientar los procesos productivos forestales (Willan, 1991).

Debido a la inminente disponibilidad de semillas genéticamente mejoradas, el Subcomité de Certificación del Comité de la Semilla Forestal de la Sociedad de Forestales de América (SAF), recomendó que se aplicaran dos niveles de certificación a las semillas recolectadas a partir de árboles con fenotipos superiores, sugiriendo utilizar los términos: selecta y certificada. Sin embargo, cada uno de ellos implica un diferente nivel de mejoramiento según sea la procedencia (rodales o huertos semilleros). Semilla selecta significa que proviene de árboles con fenotipo superior al promedio. El término certificada se puede aplicar a la misma procedencia una vez que se registran las características de la progenie durante un tiempo de su desarrollo que permita: a) garantizar que ésta tendrá características superiores al promedio, y b) especificar las condiciones requeridas para que se alcance esa calidad (Daniels *et al.*, 1983).

Existen varios métodos para obtener semilla genéticamente mejorada para siembra inmediata, considerándose éstos generalmente de naturaleza

provisional, por el hecho de que dejan de utilizarse cuando se ha logrado obtener un huerto semillero permanente (Zobel y Talber, 1988).

Con frecuencia, la semilla obtenida por procedimientos provisionales no permite alcanzar beneficios importantes, aunque a veces mejoran ampliamente la calidad del árbol, la resistencia a las plagas y una buena adaptabilidad. Frecuentemente, no se consideran los métodos a corto plazo para obtener semilla mejorada y nada se hace por sacar ventaja de la ganancia genética potencial hasta en tanto se hayan desarrollado los huertos semilleros en un plazo más largo (Zobel y Talber, 1988).

Si la semilla se requiere de inmediato en un programa operativo, un procedimiento viable es seleccionar los mejores fenotipos de plantaciones o de rodales naturales, marcar los árboles y colectar la semilla. También se pudiera realizar el mismo procedimiento a partir de los mejores rodales semilleros o áreas semilleras, que presentan los siguientes atributos: a) la semilla colectada posee mejores cualidades genéticas que la semilla comercial, particularmente en cuanto a características de fuste y copa, así como resistencia a plagas; b) cuando las áreas semilleras se establecen en rodales naturales se conocen los orígenes geográficos de los progenitores, produciéndose semilla de fuentes adecuadas; y c) las áreas semilleras son fuente confiable de semillas bien adaptadas a un costo moderado. Sin embargo, el método más común para obtener semilla genéticamente mejorada en cantidades comerciales, es utilizar el procedimiento del huerto semillero, el cual es considerado como un área

donde la semilla se produce masivamente para obtener la mayor ganancia genética en forma rápida y económica (Zobel y Talber, 1988). Al respecto, Mesén (1997) señala que un huerto semillero de plántulas resulta del aclareo genético de un ensayo de progenies (o de familias), donde las progenies de árboles plus se plantan juntas a los distanciamientos normales de cualquier plantación comercial y se mantiene la identidad de las progenies para permitir aclareos a nivel familiar e individual con base a sus características fenotípicas.

Considerando que la tendencia en cuanto a la producción de semilla deberá enfocarse al establecimiento de huertos semilleros a fin de obtener semilla de alta calidad genética (Zobel y Talber, 1988), es conveniente mencionar prácticas culturales que pueden incidir en el manejo y producción de semilla forestal.

Prácticas Silvoculturales en el Manejo Forestal

Riego

El riego es una práctica silvícola importante en el manejo de huertos semilleros. En una plantación de *Pinus engelmannii* en el estado de Durango, bajo dos condiciones de humedad en el suelo, se encontró que la disponibilidad de agua fue un factor determinante en la sobrevivencia, fenología y desarrollo en el crecimiento, floración y acumulación de biomasa (Ruiz y Velasco, 1994).

En el estado de Chihuahua, las lluvias invernales y el incremento en altura del género *Pinus* tuvieron correlaciones altamente significativas y directamente proporcionales, permitiendo inferir que la sequía de invierno fue causante de alta mortandad en este género durante 1967, 1971 y 1974 (Salomón, 1980).

El riego, dentro del contexto del manejo integral de huertos semilleros, es una práctica rentable para algunas especies por costosa que sea (Grigsby, 1966).

En un huerto semillero de pino, tanto el riego como la fertilización fueron responsables de un incremento aproximado del 30 por ciento en la producción de semilla con respecto al área donde únicamente se aplicó fertilizante, y un incremento del 100 por ciento en comparación con el área donde no se practicó ninguno de estos tratamientos (Zobel y Talbert, 1988):

El riego también contribuye al retraso de la floración y maduración del cono, así como para aumentar la producción de polen. Al igual que la fertilización, éste se aplica en las primeras etapas de los huertos a fin de aumentar el desarrollo y vigor de los árboles, y debe aplicarse sólo cuando el suelo esté seco (Suszka, 1976; Zobel y Talbert, 1988).

Control de Vegetación Competitiva

En una investigación sobre 15 plantaciones de *Pinus patula* Schl. et Cham. de diferentes edades en el estado de Veracruz, a las que se aplicó diferentes intensidades de control de competencia inter e intraespecífica, se determinó que los árboles tienden a crecer mejor cuando pueden competir más fácilmente, ya que obtienen más recursos (Romero, 1993).

El desyerbado inicial más la aplicación de acolchado natural (cobertura vegetal y de otros desechos orgánicos), tiene como finalidad crear un ambiente espacial favorable para la especie de interés económico (Novelo, 1994). Estas limpias pueden efectuarse en cualquier edad de las masas forestales, teniendo mayor impacto durante las primeras etapas de desarrollo, lo cual se traduce generalmente en un incremento en vigor (Leal, 1964).

En el caso de control de la vegetación competitiva intraespecífica como el aclareo, se evita que una alta proporción de la producción total se pierda por la muerte de los árboles debido a efectos de la competencia por el espacio de crecimiento, lográndose beneficios como la recuperación de volumen, incremento en el valor de la madera, mejor producción semillera y la obtención anticipada de ingresos (Fierros, 1993). Según Mesén (1997) con base en el comportamiento de las progenies, normalmente se eliminará entre el 50 y 75 por ciento de ellas, y dentro de las familias selectas se eliminarán de dos a cuatro árboles, dependiendo del diseño inicial del huerto semillero, para dejar el

mejor de cada parcela. El primer aclareo podría realizarse a nivel familiar, y el segundo, dos o tres años después, seleccionando los mejores árboles dentro de las familias selectas. Después de los aclareos se tendrá un huerto altamente depurado con 140 a 160 árboles por hectárea.

Por otra parte, la limpia de pastos y malas hierbas en un huerto semillero permite utilizar mejor los fertilizantes al eficientar su aprovechamiento por los árboles (Zobel y Talbert, 1988).

Fertilización

La aplicación de fertilizantes en los bosques es una práctica antigua. Los inicios de la fertilización experimental se remontan al año 1847 en Francia, donde la aplicación de ciertas formas de fertilizantes inorgánicos produjo un notable incremento en la producción silvícola. La práctica de la fertilización dentro de la actividad forestal no tuvo mucho auge sino hasta la década de 1960 (López, 1990; Pritchett, 1990).

Con base en los análisis de suelo o, en algunos casos, en los foliares, el mejoramiento del suelo se practica siempre que sea necesario para mantener el vigor de las plantas y promover la floración. La fertilización, particularmente las aplicaciones de nitrógeno y fósforo, ha promovido el proceso de floración en

casi todas las especies en las cuales se ha practicado, especialmente en el caso de latifoliadas (Zobel y Talbert, 1988).

Se han realizado muchas investigaciones acerca de las relaciones existentes entre la nutrición y la fructificación. En general, la aplicación de fertilizantes eleva la producción de semillas y puede inducir también a la floración precoz. No se conocen con exactitud las razones del aumento de la producción de conos con la fertilización. Ciertamente, se aumenta el nivel de nutrición general de la planta y se eleva el contenido de nitrógeno del follaje. Se ha demostrado que árboles más productivos en semillas tienen mejores niveles de nitrógeno en sus hojas (Suszka, 1976; Zobel y Talbert, 1988; Norman, 1976; Arceo y Cibrián, 1980).

Existen evidencias de que la forma de aplicación del nitrógeno es muy importante. La producción de semillas es mejor estimulada cuando el nitrógeno se aplica en forma de nitratos que en forma amoniacal. Al parecer, los nitratos aumentan las concentraciones de aminoácidos, en especial de la arginina libre, sustancia que se supone regula el desarrollo de los tejidos reproductivos de las coníferas (Daniels *et al.*, 1983; Aguirre, 1982; Binkley, 1993).

El momento de aplicación del fertilizante tiene gran importancia, ya que el mayor estímulo a la floración se produce cuando el tratamiento coincide con el periodo de diferenciación de los primordios florales. La fertilización posterior o

anterior a ese momento resulta ineficaz (Suszka, 1976; Zobel y Talbert, 1988; Norman, 1976; Arceo y Cibrián, 1980).

Calidad de la Semilla (Pruebas físicas y fisiológicas)

La capacidad de las semillas para germinar y producir una planta normal, es el principal atributo a considerar para evaluar su calidad y potencial; sin embargo, por sus demás características biológicas y físicas, que repercuten en su valor comercial, resulta indispensable considerar otros aspectos importantes relacionados con su calidad, manejo y comercialización. Entre otros aspectos están la pureza física, la procedencia, el vigor y el contenido de humedad (Moreno, 1984).

La eficiencia y el éxito de la producción de planta en el vivero y de su establecimiento ulterior en plantaciones forestales dependen en gran medida de la calidad de la semilla que se utiliza (Willan, 1991).

La calidad de la semilla está en función de algunas de sus características físicas como: pureza, peso, contenido de humedad, sanidad, así como también de los aspectos fisiológicos como: viabilidad, germinación y vigor (energía germinativa) (ISTA, 1996).

La expresión de semilla pura hace referencia a la presencia porcentual de semilla de la especie que se trate, incluyéndose las semillas maduras y sin daños, las semillas de tamaño inferior al normal, consumidas, inmaduras y germinadas, siempre que puedan identificarse claramente como pertenecientes a la especie de interés, y los trozos de semillas rotas cuyo tamaño sea superior a la mitad del original (ISTA, 1996).

El peso de la semilla se expresa normalmente como el peso de 1,000 semillas puras. Además, durante el ensayo de pureza se debe prestar atención a la posible presencia de daño mecánico o infestación patogénica (Willan, 1991).

El contenido de humedad es la cantidad porcentual de agua que contienen las semillas, el cual se puede calcular con base en el peso húmedo y seco de la muestra (Moreno, 1984). Para su determinación en semillas forestales, generalmente se usa el método de secado en estufa a temperatura constante, variando el número de la muestra según sea la especie (ISTA, 1985).

Hartmann y Kester (1971) señalan que la semilla debe ser viable para que germine, es decir, tener un embrión vivo capaz de crecer. Guevara (1997) menciona que la viabilidad de las semillas depende, en gran medida, de factores externos como procedencia, manejo, recolección, acondicionamiento, secado, tratamientos pregerminativos y almacenamiento. Al respecto, la

Asociación Internacional de Ensayo de Semillas (ISTA) acepta el método de rayos X como alternativa para determinar la viabilidad de las semillas, detectando por medio de este método las semillas vacías y dañadas por insectos (ISTA, 1985).

La germinación en laboratorio es el desarrollo de las estructuras esenciales del embrión a un grado tal que manifiesten la habilidad para continuar un desarrollo normal bajo condiciones óptimas; es decir, es la capacidad de las semillas para producir una plántula normal (ISTA, 1985). En este sentido, la Asociación de Analistas de Semillas (AOSA, 1983) define a la germinación como la emergencia y desarrollo a partir del embrión de aquellas estructuras esenciales que por el tipo de semilla de que se trate, son indicadoras de su habilidad para producir una plántula normal bajo condiciones favorables.

En pruebas de semillas de árboles forestales, es importante considerar la energía de germinación, determinada por periodo de tiempo en que el porcentaje de germinación diaria media es máxima (Seward, 1980). Además, Paul (1972) señala que el periodo de mayor energía germinativa puede definirse arbitrariamente (por anticipado), la cual normalmente es muy inferior al periodo completo del ensayo, ya que comprende sólo aquellos días de mayor germinación.

El vigor de la semilla es la suma total de aquellas propiedades que determinan su nivel de actividad y comportamiento durante la germinación y emergencia de la plántula. La semilla que se comporta bien se considera de alto vigor, y las que se comportan pobremente son denominadas de bajo vigor (ISTA, 1985). Willan (1991) señala que son las propiedades determinantes del potencial de brotadura y desarrollo rápidos y uniformes, de plántulas normales, bajo una amplia gama de condiciones en el campo.

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del presente trabajo se seleccionaron dos rodales, uno de *Pinus cembroides* Zucc. y otro de *Pinus halepensis* Mill., de plantaciones establecidas en la reforestación de Zapalinamé (Anónimo, 1972), aledaña a la ciudad de Saltillo, Coah., en dirección sureste (Figura 3.1). Estos rodales se eligieron a partir de uniformidad en edad y estructura, considerando tres parcelas experimentales de *P. cembroides* de 15, 20 y 22 años (Parcelas 1, 2 y 3, respectivamente). Asimismo, se tomó en cuenta una parcela (Número 4) de 28 años de *P. halepensis*. Estas especies son preponderantes en la reforestación mencionada, la cual cubre una superficie de aproximadamente 750 hectáreas (Nájera *et al.*, 1997) sobre el pie de monte de la subprovincia denominada Montañas de Coahuila, correspondiente a la Sierra Madre Oriental (Arce, 1980).

Las tres parcelas experimentales de *P. cembroides* cubrieron una superficie de 1, 40 y 2.4 ha, respectivamente; mientras que la de *P. halepensis*, 96.3 ha (Oviedo, 1980; UAAAN, 1986). La selección de tales parcelas fue con base en: especie, edad, exposición y homogeneidad en sus estructuras arbóreas; altura, diámetro normal y diámetro de copa.

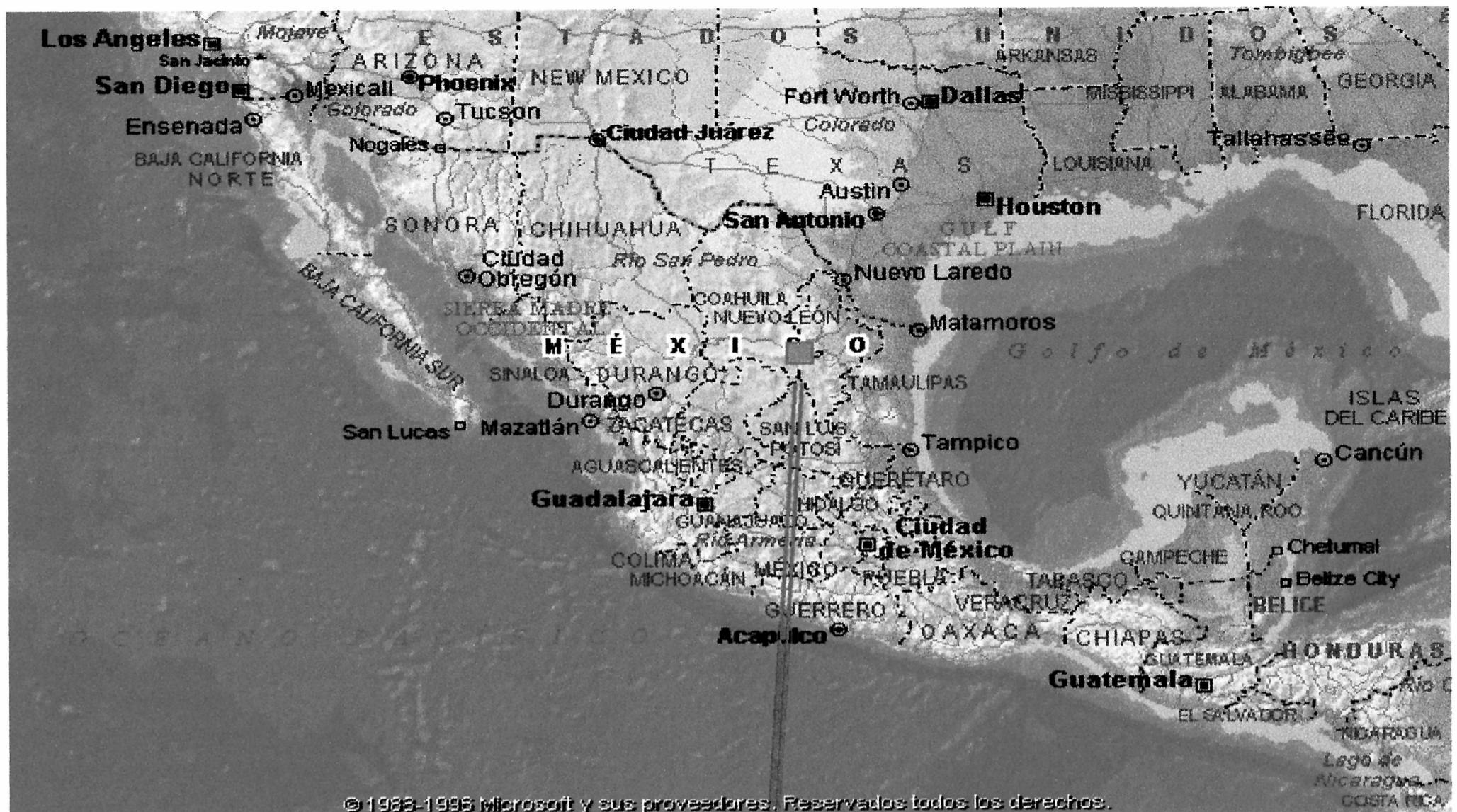


Figura 3.1. Ubicación del área de estudio.

Descripción del Área Experimental

El área de investigación se ubicó en la reforestación de Zapalinamé, al sureste de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, en Buenavista, Saltillo, Coah., entre los paralelos $25^{\circ} 19' 00''$ y $25^{\circ} 23' 42''$ latitud norte y los meridianos $100^{\circ} 59' 57''$ y $101^{\circ} 02' 00''$ longitud oeste (Figuras 3.1 y 3.2).

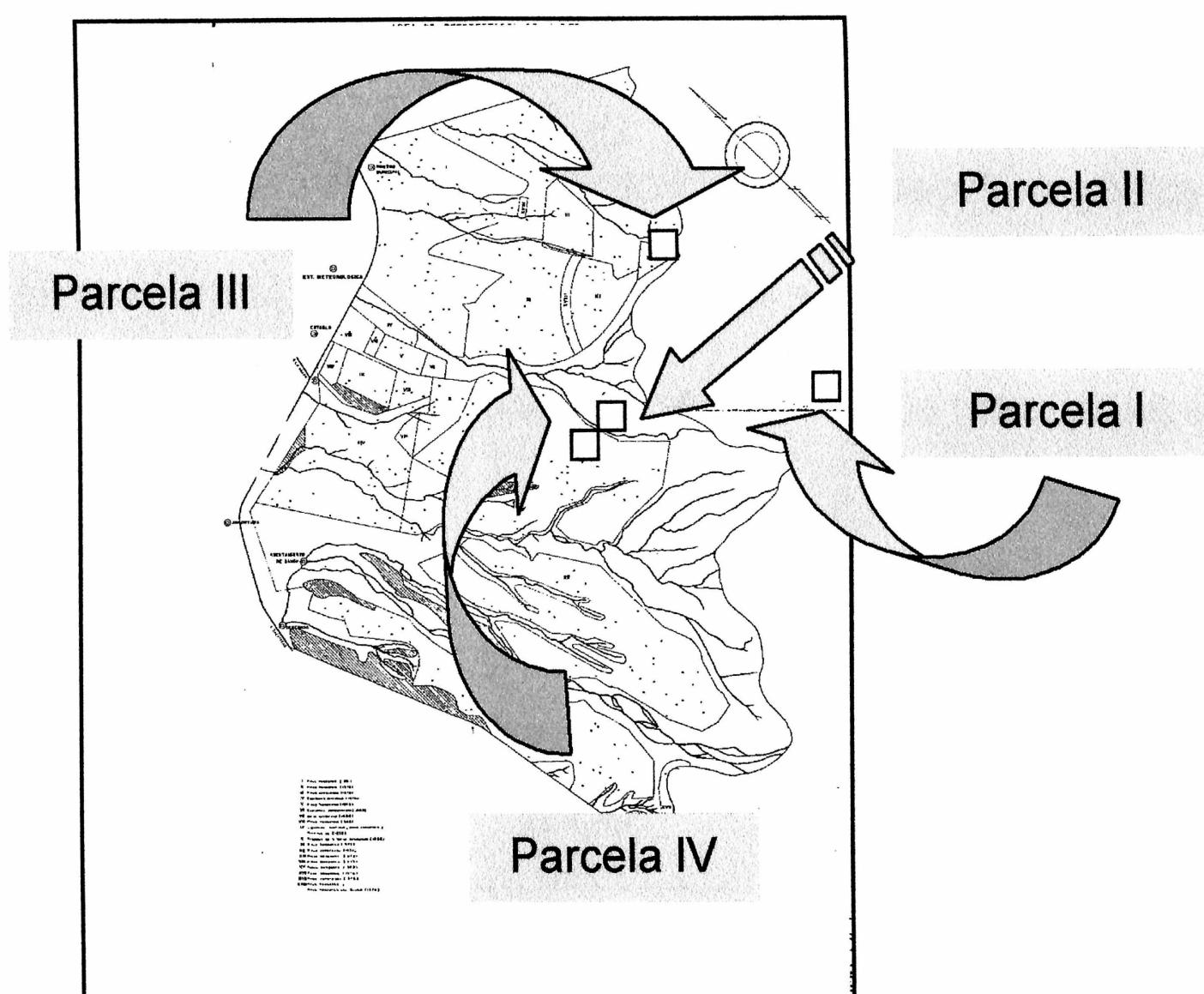


Figura 3.2. Localización de las cuatro parcelas experimentales en el área de reforestación.

En la Figura 3.2 y en el Cuadro 3.1 se presenta la ubicación específica (por especie) que tuvo cada una de las parcelas experimentales, así como información complementaria relacionada con la edad, exposición, geoforma y pendiente.

El área de investigación se localizó en una zona de clima templado, cuyos valores promedios anuales son: 17.2 °C, humedad relativa de 72 por ciento y evaporación de 169 centímetros. Presentándose días con temperatura extrema de -8.2 y 36.5 °C. Normalmente las temperaturas bajas se presentaron en invierno y las altas de primavera a verano (Cuadro A.1). Según la clasificación de Köppen, modificada por García (1981), el clima del área de estudio corresponde a un: BW h w(x') (e), cuya descripción corresponde a las siguientes características: BW, clima muy seco; h, temperatura media anual templada (alrededor de los 17 °C), considerándose cálido con invierno fresco; w(x'), régimen de lluvias de verano, con por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el mes más seco; y (e), clima extremoso, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 7 y 14 °C (García, 1981).

Cuadro 3.1. Descripción geográfica de las parcelas experimentales.

Parcela	Edad (años)	Altitud (msnm)	Latitud (norte)	Longitud (oeste)	Exposición	Geoforma	Pendiente (%)
<i>Pinus cembroides</i> Zucc.							
1	15	2030	25° 19' 17"	101° 00' 59"	Noreste	Abanico aluvial	22-25
2	20	1820	25° 19' 55"	101° 01' 31"	Noreste	Abanico aluvial	10-12
3	22	1920	25° 20' 03"	101° 01' 05"	Oeste	Pie de monte	14-16
<i>Pinus halepensis</i> Mill.							
4	28	1800	25° 19' 55"	101° 01' 05"	Noreste	Pie de monte	9-11

La insolación, para un periodo comprendido entre 1995 y 1999 presenta un valor medio mensual de 384 horas. Mientras que para los años 1985, 1986, 1989, 1991 y 1992, se registró una radiación mensual media de 414 calorías/cm²/día. En las Figuras A.1 y A.2 se observa la distribución de las horas de insolación mensual durante el año para los períodos mencionados, de donde se podría deducir que la insolación y la radiación no significan lo mismo, ya que los meses de abril y mayo presentan los mayores índices de horas sol; sin embargo, los de mayor índice de calorías corresponden a mayo y junio (UAAAN, 2000).

La información referente a insolación, heladas y granizadas, se debe considerar en la planeación de la producción de semilla forestal, ya que tiene relación con los aspectos fisiológicos y morfológicos de ésta (Zobel y Talbert, 1988). En el Cuadro A.2, así como en las Figuras A.3 y A.4, se ilustra la ocurrencia media mensual de heladas y granizadas.

La mayor frecuencia de granizadas se presenta durante los meses de mayo a agosto, sin embargo, prácticamente en todos los meses puede presentarse este fenómeno, excepto durante enero, septiembre, octubre, noviembre y diciembre de cada año.

En cuanto a heladas, diciembre y enero son los meses durante los cuales se concentra la mayor frecuencia, pudiéndose también presentar en febrero, marzo, abril, octubre y noviembre (Figura A.4).

Con relación a los aspectos edáficos y geológicos, sobre el área de estudio se extienden suelos correspondientes a las formaciones cuaternarias y con asientos basálticos, presentando un subsuelo que se caracteriza por estratos continuos de caliza (Cuadro A.3). El *epipedón mollíco* de los suelos descansa directamente sobre un horizonte petrocálcico cementado por carbonatos de calcio; el primer horizonte presenta colores muy oscuros, con textura que va de franco arenosa a franco arcillosa (Cuadro 3.2), siendo la estructura por lo general en bloques subangulares medios y fuertes. Según la clasificación FAO-UNESCO (Ortíz y Aguilar, 1993), las unidades de suelos dominantes que se encuentran en el área de estudio son los siguientes: Leptosol, Lixisol y Feozem (De Luna, 1989).

Cuadro 3.2. Reporte de análisis de suelos para los rodales de pinos estudiados.

H ^(¶) cm ^(†)	MO %	N total %	CO ₃	CIC meq/100 gr	pH	CE mmhos/ cm	Textura			CT
							Arena %	Limo %	Arcilla %	
<i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad										
Ap	9.21	0.46	12.05	28.64	7.10	1.81	57.50	22.05	20.45	MAAr ^(§)
AB	3.93	0.20	34.54	22.86	7.30	0.37	40.90	29.10	30.00	MA
B	3.31	0.17	46.38	17.87	7.30	0.28	43.40	34.10	22.50	M
<i>Pinus cembroides</i> de 20 años										
Ap	6.28	0.31	9.38	28.36	7.30	0.50	40.90	27.50	31.60	MA
AC	4.56	0.23	56.75	27.42	7.40	0.49	35.90	27.50	36.60	MA
<i>Pinus cembroides</i> de 22 años										
Ap	8.06	0.40	12.34	23.84	7.10	1.56	57.50	27.05	15.45	MA
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pinus halepensis</i> de 28 años										
Ap	6.36	0.32	49.84	27.27	7.30	0.44	45.90	25.00	29.10	MAAr
C	0.60	0.03	74.01	22.00	7.50	0.28	28.40	30.00	41.60	MA

^(¶) H = Horizonte del suelo; MO = Materia orgánica; N: Nitrógeno; CO₃ = Carbonatos; CIC = Capacidad de intercambio catiónico; pH = Potencial hidrógeno; mmhos = Milimohos; CE = Conductividad eléctrica; CT = Clase textural.

^(†) cm = Centímetro; % = Por ciento; ppm = Partes por millón; gr = gramos; meq = Miliequivalentes.

^(§) M = Migajón; A = Arcilloso; Ar = Arenoso.

El área es una zona intensamente plegada y fracturada, aflorando formaciones geológicas del jurásico, del cretácico inferior y del cretácico superior, con predominancia de rocas sedimentarias marinas y continentales, que van desde la parte del jurásico hasta el cuaternario reciente (Arce, 1980).

En lo que respecta a hidrología superficial y subterránea, el drenaje de la reforestación de Zapalinamé se comporta como “arbóreo”, con un eje definido y con ramas compuestas, desarrolladas y extendidas hacia las partes altas de la sierra. Existen dos drenes bien definidos; uno de ellos corresponde al “Cañón de San Lorenzo y el otro al “Cañón de Las Terneras” (Orta, 1950).

El origen de la base geológica del sistema de drenaje está comprendido entre el cretácico medio inferior para las estructuras más profundas (calizas) hasta el cretácico superior para los estratos superficiales de lutitas y areniscas, así como conglomerados de arcillas blancas, amarillas y rojas, con arena y grava (Orta, 1950).

En la superficie del área estudiada no se tienen corrientes fluviales permanentes, sin embargo, durante la época de lluvias se reactiva un buen número de manantiales que temporalmente abastecen a algunos arroyos, los cuales dejan de “correr” después de varios meses, cuando los suelos y las capas superficiales pierden la saturación de agua.

La reforestación está cruzada por seis arroyos sin fluido hídrico permanente, de los cuales son preponderantes el “Cañón de Enmedio”, el “Cañón del Molino” y el “Cañón del Ranchito”.

Los suelos del área de Zapalinamé (Cuadro 3.2) contienen espesores regularmente de 45 a 50 centímetros, que descansan sobre una capa calcárea semipermeable (creta holandesa) de aproximadamente 50 centímetros. Abajo se encuentra otro estrato de aproximadamente 10 metros con arcilla blanca semicompatada, la cual se extiende sobre una capa impermeable de arcilla, revuelta con grava, de aproximadamente 40 metros de espesor. A mayor profundidad, entre 50 y 70 metros, se tiene una capa de arcilla amarilla (revuelta con grava) de aproximadamente 15 metros de espesor, la cual se localiza sobre una formación semipermeable de lutita de gran profundidad que presenta algunas fractura que pudieran contener acuíferos subterráneos (Orta, 1950).

En el área de la reforestación de Zapalinamé, Saltillo, Coah., se cuenta con acuíferos que han sido muestrados con el fin de realizar estudios hidrogeoquímicos e isotópicos de la región (Aldama, 1996). En el Cuadro 3.3 se presentan datos importantes en cuanto a la constitución química del agua subterránea, en tres sitios localizados en el área de estudio: “San Lorenzo”, “Zapalinamé” y “Las Terneras”, en el que se pueden destacar los niveles altos de salinidad y alcalinidad, con un pH que oscila entre 7.57 y 7.79. También se

presenta información de contenido de sodio, potasio, calcio arsénico, boro, magnesio y plomo.

Cuadro 3.3. Características químicas del agua subterránea.

Fuente	Parámetros medidos en laboratorio										
	pH	Na mg/l^(†)	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	B mg/l	Fe mg/l	Pb mg/l	As ng/l	Alcal. mg/l	Salin. mg/l
San Lorenzo	7.71	13.20	1.17	50.00	22.00	0.11	0.04	0.20	0.25	182	6.71
Zapalinamé	7.57	16.10	1.18	45.82	16.78	0.14	0.04	0.20	0.40	142	12.46
Las terneras	7.79	4.30	0.76	48.41	9.39	0.10	0.04	0.20	0.23	150	5.59

^(†) pH= Potencial de hidrógeno; mg/l = miligramo por litro; ng/l = cien milésima de gramo por litro; Na = Sodio; K = Potasio; Ca = Calcio; Mg = Magnesio; B = Boro; Fe = Fierro; Pb = Plomo; As = Arsénico.

En lo referente a la vegetación, el tipo predominante en el área de estudio es un bosque inducido de pinaceas (plantaciones forestales) (Cuadro A.3), con dominancia en porcentaje, de *Pinus halepensis* Mill. (93) y *P. cembroides* Zucc. (3) (Oviedo, 1980), no obstante, se tiene un dosel inferior muy competido de vegetación xerofítica propia del desierto chihuahuense; incluso, existen grandes extensiones desprovistas de bosque donde prosperan los tipos de vegetación del matorral desértico mixto que se mencionan a continuación.

La vegetación del área de estudio se puede dividir en tres tipos: zacatal con leñosas arbustivas, matorral denso inerme parvifolio de rosáceas y bosque de pino piñonero. El primero se distribuye sobre la parte baja del área de estudio, entre 1,700 y 2,000 msnm, con presencia preponderante de las

siguientes especies: *Buchloe dactyloides*, *Aristida glauca*, *Stipa* sp., *Bouteloua curtipendula*, *Muhlenbergia dubia*, *Mimosa biuncifera*, *Cercocarpus montanus*, *Croton dioicus*, *Chrysactinia mexicana*, *Berberis trifoliolata* y *Opuntia* spp. El matorral denso inerme parvifolio de rosáceas se localiza entre 1,800 y 2,000 msnm, con significancia de las especies: *Cercocarpus montanus*, *Cowania plicata*, *Lindleyella mespiloides* y *Berberis trifoliolata*. Por último, el bosque de pino piñonero (*Pinus cembroides*) se encuentra en la parte alta del área de estudio, a partir de los 2,000 msnm, con relictos de asociación entre las siguientes especies: *Quercus saltillensis*, *Juniperus flaccida*, *Yucca carnerosana*, entre otras (Cuadro A.4). En este rango altitudinal se presentan indicadores de bosque mesófilo de montaña (Rzedowski, 1978) o bosque deciduo templado (Marroquín, 1976 b) ya que se encuentran individuos asociados en las partes protegidas de los cañones fisiográficos, con las siguientes especies: *Cercis canadensis* y *Fraxinus cuspidata* var. *serrata*.

También se presentan en las laderas protegidas de la parte alta del área estudiada, con exposición noroeste (parcela uno), tipos reducidos de vegetación correspondiente a matorral de encinos o “Chaparral” (Marroquín 1976 a y b; Arce, 1980), con las especies: *Quercus intricata*, *Q. saltillensis* y *Q. greggii* (Cuadro A.4).

Tratamientos y Diseño Experimental

Las variables que se evaluaron comprendieron características de la producción de semillas del arbolado, así como aspectos económicos del experimento, tanto en fase de campo como de laboratorio (Cuadro 3.4).

Para la evaluación de los tratamientos se utilizó un diseño experimental completamente aleatorio con dos repeticiones, evaluándose cada rodal como experimento por separado (Steel y Torrie, 1990; Lentner y Bishop, 1986).

Cada experimento estuvo constituido por 50 árboles, seleccionados según el criterio de que fueran dominantes y codominantes dentro de cada rodal o parcela, siendo la unidad básica de evaluación el sitio experimental, integrado por cinco árboles.

En el caso del *P. halepensis*, los 50 árboles del experimento fueron sometidos a los cinco tratamientos sobre unidades experimentales similares a las de *P. cembroides*. Los tratamientos y repeticiones se asignaron de manera aleatoria (Steel y Torrie, 1990).

Aplicación de Tratamientos

Los tratamientos considerados para el presente trabajo fueron los siguientes: a) tratamiento uno: riego; b) tratamiento dos: fertilización; c)

tratamiento tres: control de vegetación competitiva; d) combinación de los tratamientos uno, dos y tres; y e) testigo. Los tratamientos se empezaron a aplicar en enero de 1997, mediante la siguiente metodología:

Riego (R)

Durante 1997, 1998 y 1999, las aplicaciones del riego fueron quincenales durante la estación de primavera; de marzo hasta mediados de junio (época de sequía), y mensuales durante el otoño e invierno; de octubre hasta febrero (época de semidormancia y dormancia profunda). Durante los meses de mayor precipitación se consideró para la aplicación del tratamiento la saturación de humedad del suelo. A cada árbol de las parcelas uno, dos, tres y cuatro, se le aplicó en cada riego 20, 40, 60 y 80 litros de agua, dentro de la microcuenca de captación que cada uno tenía. Para los riegos se utilizó el agua de la zona (Cuadro 3.3).

Fertilización (F)

Se utilizaron dos formas complementarias de fertilización como a continuación se describe:

Fertilización de Liberación Lenta (a nivel radical). Consistió en aplicar módulos fertilizantes de la compañía “Química Foliar, S.A. de C.V.” (Méjico, D.F.), directamente en el área edáfica de influencia del árbol. Este fertilizante es de lenta liberación, ya sea en forma de módulos o polvo (solubilidad controlada) y se aplicó una vez por año (marzo), conteniendo los siguientes elementos: N, P, K, Zn, S, Mg, Ca, Mn y B, así como ácidos fúlvicos, los cuales se desempeñan como promotores de fitorreguladores (auxinas, citocininas y giberelinas) en el interior de los árboles. Además, mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, favoreciendo así la mayor asimilación de nutrientes por los árboles (Baule, 1996). La cantidad de producto aplicado se determinó en función de la densidad foliar de cada árbol y del diámetro basal del fuste, depositándose un gramo por cada dos centímetros de diámetro basal, sobre una zanja superficial circundante al árbol a un 70 por ciento del radio de la copa y cubriéndose posteriormente a la aplicación.

Fertilización Foliar. Esta fue aplicada quincenal y mensualmente mediante aspersión directa así: cada 15 días en primavera y verano, y cada mes entre octubre y febrero (Baule, 1996). Este fertilizante contenía los siguientes elementos: N, P, K, S, Fe, Zn, Mg, Mn, Ca, B, Cu, Co y Mo, además de ácidos fúlvicos. En cuanto a la dosis, se disolvieron 10 gramos de polvo fertilizante en dos litros de agua y se realizaron aspersiones utilizando bombas manuales.

Control de Vegetación Competitiva (L)

Los árboles seleccionados para este tratamiento fueron liberados manualmente de la competencia intra e interespecífica, a fin de crearles el espacio suficiente para crecer sin una competencia perjudicial. Para esto, se utilizó un método manual interespecífico de limpia de arbustos, gramíneas y hierbas, localizadas en los estratos inferiores del dosel. Asimismo, se realizó un aclareo intraespecífico para eliminar la competencia de aquellos individuos que competían con los árboles evaluados, siendo ambos de la misma especie. Este proceso fue permanente, lo que permitió mantener libres de competencia a los árboles de interés científico.

Combinación de Riego, Fertilización y Control de Vegetación Competitiva (C)

Se aplicó una combinación de los tratamientos mencionados (C), es decir, a estos árboles se les aplicó riego recurrente (R), fertilización radical y foliar (F), así como limpia, deshierbe y aclareo (L), en las fechas señaladas, con el fin de observar la respuesta a este estímulo combinado de prácticas silvoculturales.

Testigo (T)

El testigo no fue sometido a tratamiento silvocultural alguno, quedando por lo tanto, expuesto a la acción directa ambiental de suelo y clima. Fue muy importante ya que con él se compararon las repuestas evaluadas en producción y calidad de las semillas de las especies estudiadas, debido a la aplicación de los tratamientos utilizados en el presente estudio.

Procedimiento para la Obtención de Semilla

Planificación y Recolecta de Conos

Este proceso fue esencial para asegurar que las operaciones se efectuaran con la mayor rapidez y eficiencia posibles, ya que el *Pinus cembroides* tiene periodicidad variable entre un año y otro de producción semillera y para cuando ésta se presenta, debe haberse planeado la recolecta de conos para realizarse durante la época de maduración, la cual fue en agosto de 1999, después de dos años y medio de iniciada la aplicación de los tratamientos, teniendo la precaución de recolectar todos los conos maduros a efecto de extraerles la mayor cantidad posible de semillas. Para el caso de *Pinus halepensis* se tuvo en cuenta que en esta región, la especie produce conos todos los años, aumentando su intensidad durante los meses de enero a

marzo. En este caso, la recolecta de conos se inició en febrero y culminó en marzo de 1999.

Todos los árboles del experimento se evaluaron y en cada repetición se recolectaron los conos de los cinco árboles correspondientes, dando un total de 50 evaluados por parcela, a través de los cinco tratamientos y las dos repeticiones (Steel y Torrie, 1990; Lentner y Bishop, 1986).

El método de recolección fue manual, considerando que los árboles fueron de bajo porte y su acceso relativamente fácil. Se obtuvieron todos los conos de cada árbol a través de un corte directo y posteriormente se etiquetaron y embolsaron considerando tratamiento y repetición.

Secado de Conos

En el laboratorio de semillas del Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAAN se realizó este proceso (durante febrero y marzo de 1999 para *Pinus halepensis*, así como agosto y septiembre del mismo año para *P. cembroides*) con el método de secado bajo techo, con adecuada ventilación y acceso de luz difusa, por considerarse menos perjudicial que otros procedimientos que utilizan fuentes artificiales de calor. Los conos se colocaron en un solo estrato sobre una malla fina, la cual permitió una adecuada aireación y un secamiento paulatino y progresivo, sin afectar la viabilidad de la semilla.

Los estróbilos femeninos se removieron cada tres días con el fin de uniformizar el proceso de maduración y apertura de brácteas, de tal manera que a los 30 días, los conos estuvieron abiertos y se les extrajo la semilla.

Extracción y Desalado de Semilla

Una alta proporción de la semilla fue expulsada naturalmente por los conos y cayó sobre la malla, sin embargo, la que permaneció adherida a las brácteas tuvo que desprenderse y extraerse de forma manual, golpeando los conos entre sí o en caso extremo, utilizando cuchillos para la extracción. Posteriormente, la semilla de *P. halepensis* fue sometida a un tratamiento de frotación manual sobre una malla cuadriculada, con el fin de separar y filtrar el ala que está adherida a la semilla, proceso no requerido para *P. cembroides*.

Almacenamiento de la Semilla

Una vez extraída, la semilla se colocó en bolsas de papel debidamente etiquetadas y se guardaron en un local con ventilación adecuada. La semilla no se deshidrató debido a que el almacenamiento fue planeado para un periodo de tiempo corto (8 meses para el *Pinus cembroides* y 2 para el *P. halepensis*).

Pruebas Físicas y Fisiológicas de la Semilla

Estas pruebas se realizaron en los laboratorios de Tecnología de Semillas de la UAAAAN y en el laboratorio de semillas de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León. En el Cuadro 3.4 se menciona la metodología de evaluación de la producción y calidad fisiológica de las semillas de las especies en estudio.

Cuadro 3.4. Metodología de la producción y calidad fisiológica de las semillas en etapa de laboratorio y análisis de viabilidad económica.

Carácter	Clave	Medida	Método
Evaluación en laboratorio			
Semillas totales	TS	Num.	Número total de semillas.
Semillas vanas	SV	Num.	Número total de semillas vanas.
Semillas turgentes	ST	Num.	Número de semillas llenas (turgentes).
Semillas viables	SVI	Num.	Número de semillas viables (Rayos X).
Semillas turgentes	PST	%	Porcentaje de semilla turgente (Rayos X).
Semillas viables	PSV	%	Porcentaje de semilla viable (Rayos X).
Germinación	G	%	Porcentaje de plántulas germinadas.
Viabilidad económica	R ^{B/C}	\$	Relación entre beneficios y costos.
Viabilidad económica	VAN	\$	Valor actual neto

Depuración y Obtención de Semilla

La semilla de las especies en estudio se libró de impurezas que contenían las muestras, tales como semillas de malas hierbas, estructuras seminales separadas, partículas de hoja y otros materiales. Este proceso se

realizó inicialmente sobre las muestras completas de semilla extraída mediante un soplador eléctrico, donde la semilla pura (de mayor peso) tendió a caer mientras que las impurezas fueron retiradas por flotación. Mediante este procedimiento y por análisis físico manual se separó la semilla de las impurezas que contenían las muestras. La semilla pura sirvió como base para realizar las pruebas de viabilidad y germinación (ISTA, 1996).

Determinación de Viabilidad

Basado en el principio de la semipermeabilidad, se utilizó un método avalado por la Asociación Internacional de Pruebas de Semillas (ISTA, 1985) denominado método radiográfico (Willan, 1991), el cual consistió en impregnar las muestras completas de semilla con agua y exponerlas a radiaciones de rayos X, donde los tejidos vivos fueron capaces de absorber los rayos con mayor intensidad que los tejidos muertos, mostrándose los tejidos vivos de color blanquecino (Figuras: 3.3 y 3.4).

Este método se seleccionó debido a que permite determinar la calidad de las semillas a partir de radiografías con imágenes tridimensionales de éstas, asimismo, se puede ubicar, por contraste de colores, la posición exacta del posible daño. El procedimiento radiográfico se eligió, además, por su utilidad y su acelerado periodo para obtener resultados; casi es inmediato.

la determinación de viabilidad. Se colocaron en una cámara de germinación a una temperatura diaria alternante de 20 – 30 °C (durante 16 horas para la temperatura baja y 8 para la alta); asimismo, con 8 horas de luz y 16 de obscuridad diarias (ISTA, 1996). Las semillas debidamente espaciadas se depositaron sobre en el substrato de papel “kimpak” humedecido y plegado dentro de una charola germinadora. Los conteos se debieron realizar a los siete y 28 días después de la siembra (ISTA, 1996; Willan, 1991), considerando como germinadas aquellas semillas que desarrollaran estructuras esenciales indicadoras de su capacidad para producir una plántula normal en condiciones favorables.

Análisis Estadístico

El modelo estadístico utilizado para cada experimento fue el siguiente:

$$Y_{ijlmn} = \mu + R_i + A_j + F_l + D_m + C_n + e_{ijlmn}$$

i= 1, 2. r = 2 repeticiones.

j = 1, 2. a = 2 niveles de riego.

l = 1, 2. f = 2 niveles de fertilización.

m = 1, 2. d = 2 niveles de desmonte.

n = 1, 2. c = 2 niveles de combinación: (riego + fertilización + desmonte).

Donde:

- Y_{ijlmn} = Valor de la característica en estudio.
- μ = Media general en las unidades experimentales.
- R_i = Efecto de la i-ésima repetición.
- A_j = Efecto del j-ésimo riego.
- F_l = Efecto de la l-ésima fertilización.
- D_m = Efecto del m-ésimo desmonte.
- C_n = Efecto del n-ésimo tratamiento combinado.
- e_{ijlmn} = Error experimental.

Pruebas de Rango Múltiple

A las diferentes variables de evaluación se les realizó la Prueba de Comparación Múltiple de Duncan con un nivel de significancia del 0.05 (Steel y Torrie, 1990; Lentner y Bishop, 1986).

Los análisis de varianza para los rodales en estudio (experimentos individuales), correspondientes a las variables: producción de semilla (número), semilla viable y germinación, se realizaron usando el paquete estadístico SAS (SAS, 1990; SAS, 1992).

Análisis Económico

Se evaluaron en términos de pesos y centavos, así como de su equivalencia en dólares (con el 2000 como año de referencia) las actividades propias de cada tratamiento, como fueron los costos de los materiales utilizados y el valor de la mano de obra por concepto de la aplicación del riego (R), la fertilización radical y foliar (F), el control de la vegetación competitiva y los aclareos (L), la aplicación simultánea de éstos (C), la colecta y el tratamiento a la semilla. Por otro lado, se valoraron los beneficios esperados de la comercialización potencial de la semilla producida, multiplicando la cantidad de semilla turgente obtenida por el precio de mercado internacional más aranceles de importación. Posteriormente se compararon los costos y los beneficios para obtener los diversos flujos de efectivo por tratamiento y finalmente la determinación de la relación beneficio-costo ($R^{B/C}$), y valor actual neto (VAN), como indicadores económicos de rentabilidad con el propósito de concluir acerca de la viabilidad de implementar (o no) determinado tratamiento (Gregory, 1972).

Este análisis de realizó para todos los tratamientos de los rodales estudiados y consistió en obtener los valores del costo por la aplicación de los tratamientos silvoculturales por hectárea durante un año (CAT/ha). Se contabilizaron los costos de los jornales requeridos, la depreciación del vehículo y equipo requeridos, y los materiales utilizados. De igual forma se estimó el costo por hectárea de la colecta y beneficio (tratamiento) a la semilla

(CCTS/ha), y finalmente, se obtuvo el costo total por hectárea (CT/ha) de la aplicación de cada práctica silvocultural. Para valorar la producción de semilla por hectárea (VST/ha), se extrapoló el total de semilla turgente colectada por tratamiento (ST/T) a escala de hectárea, en función de la densidad de árboles por rodal estudiado, que para el caso fueron 4,444 individuos por hectárea (1.5 X 1.5 m) para el rodal uno; densidad adecuada, considerando que fueron árboles de navidad; 825 para el dos, 588 para el tres y 943 para el cuatro. El número de semillas obtenida por una hectárea se dividió por la cantidad estandar contenida en un kilogramo de semilla para *P. cembroides*, que fue de 2,200, y para *P. halepensis*, que fue de 61,000. La semilla por hectárea se multiplicó por el precio vigente en el mercado, que para el caso de *P. cembroides* fue de \$300.^{°°} (trescientos pesos) por kilogramo y para *P. halepensis* \$900.^{°°} (novecientos pesos). Una vez obtenidos los valores del costo y beneficio totales por cada tratamiento aplicado en una hectárea, se procedió a calcular la relación beneficio costo mediante la división del total de beneficios esperados entre el total de costos por hectárea. El valor actual neto se obtuvo restando los costos a los beneficios actualizados (Gregory, 1972).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Considerando que el presente estudio se realizó sobre cuatro rodales de la plantación forestal de Zapalinamé (Cuadro A.3) con dos especies; *Pinus cembroides* Zucc. y *P. halepensis* Mill., con edades de 15, 20 y 22 años para la primera, y de 28 años para la segunda (Cuadro 3.1), los resultados se presentan de manera individual para cada edad del rodal (parcela experimental), desglosándose en variables obtenidas, análisis de varianza y comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológica de semilla, con igual procedimiento se presenta la discusión de los resultados de cada uno de éstos. Un análisis general del comportamiento de los cuatro rodales se presenta al final del presente capítulo, así como un análisis económico.

Rodal de *Pinus cembroides* de 15 Años de Edad

A continuación se presenta el Cuadro 4.1 con resultados del rodal uno, donde se plasman valores de: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla turgente y porcentaje de semilla viable.

Cuadro 4.1. Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de *Pinus cembroides* de 15 años de edad.

Tratamiento	Total de semilla (TS) n ^(†)	Semilla vana (SV) n	Semilla turgente (ST) n	Semilla viable (SVI) n	Semilla turgente (PST) % ^(†)	Semilla viable (PSV) %
T1-R1 ^(†)	32	27	5	3	16	60
T1-R2	130	128	2	1	2	50
T2-R1	18	10	8	5	44	63
T2-R2	135	130	5	3	4	60
T3-R1	28	26	2	1	7	50
T3-R2	95	74	21	17	22	81
T4-R1	163	110	53	43	33	81
T4-R2	300	180	120	90	40	75
T5-R1	40	30	10	7	25	70
T5-R2	222	213	8	6	4	75

^(†) T = Tratamiento; R = Repetición.

^(†) % = Por ciento; n = Número de semillas.

Cuadro 4.2. Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 15 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Fuentes de variación	GL	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Repeticiones	1	36120.10**	27248.40**	608.40**	336.40**	280.90**	28.90
Tratamientos	4	9660.15**	3067.15**	2506.10**	1508.35**	234.65*	163.25*
Error	4	929.35	1349.65	456.90	225.15	243.65	134.15
CV (%)		26.21	39.58	91.35	85.25	79.23	28.90
Media		116.30	92.80	23.40	17.60	19.70	163.25
Error estándar (promedio)		21.55	25.98	15.11	10.61	11.04	8.19

** , * = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente.

^(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número; GL = Grados de libertad.

En el Cuadro 4.2 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para las variables: total de semilla (TS), semilla vana (SV), semilla turgente (ST), semilla viable (SVI), porcentaje de semilla turgente (PST) y

porcentaje de semilla viable (PSV), donde la fuente de variación correspondiente a repeticiones, presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables a excepción de PSV, lo cual indica que no obstante la edad similar entre los árboles del rodal, hubo diferencias en cuanto a su comportamiento fisiológico, reflejando distintas respuestas entre las repeticiones de las unidades experimentales.

Para la fuente de variación correspondiente a tratamientos, se presentaron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para TS, SV, ST y SVI, en tanto que para PST y PSV las diferencias fueron significativas ($P \leq 0.05$). Lo anterior muestra que por lo menos uno de los tratamientos silvoculturales es diferente a los demás, contribuyendo por lo tanto a un comportamiento distinto en cuanto a su calidad o producción.

Los resultados muestran una adecuada confiabilidad debido a que los coeficientes de variación (CV) para TS, SV y PSV son relativamente aceptables para los aspectos fisiológicos en estudio (entre 26.2 y 39.6 por ciento), en tanto que para ST, SVI y PST, presentan valores relativamente altos, los cuales se pueden explicar por la baja edad del rodal, donde algunos individuos que la conforman continúan en periodo juvenil o vegetativo, y las variables condiciones edáficas de su hábitat también pudieron contribuir a este comportamiento.

Con base en las diferencias estadísticas encontradas en el análisis de varianza para las variables en estudio del rodal de *Pinus cembroides* con 15 años de edad, se presentan en el Cuadro 4.3 las medias de producción y calidad fisiológica, así como también los valores de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.05$).

Cuadro 4.3. Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 15 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Tratamiento	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Riego (R)	81.00	b ^(¶)	77.50 a	3.50 b	2.00 b	9.00 a
Fertilización (F)	76.50	b	70.00 a	6.50 b	4.00 b	24.00 a
Control de veg. comp. (L)	61.50	b	50.00 a	11.50 b	9.00 b	14.50 a
Combinación (C) = (R+F+L)	231.50 a		145.00 a	37.40 a	66.50 a	16.16 a
Testigo (T)	131.00	b	121.50 a	9.00 b	7.50 b	14.50 a
DMS (0.05)	84.64		102.00	59.34	41.11	32.16

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

(¶) Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba DMS $P \leq 0.05$.

Respecto a las variables TS, SI y SVI, se observan dos tipos de efectos agrupados, siendo la de mayor valor el tratamiento de efecto combinado de prácticas silvoculturales (riego, fertilización y control de vegetación competitiva), presentando valores superiores y estadísticamente diferentes (DMS, $P \leq 0.05$), en tanto que los tratamientos por separado de riego, fertilización, control de vegetación competitiva y testigo, tuvieron similar comportamiento entre ellos.

En las variables SV, PST y PSV, no se presentaron diferencias por efecto de los tratamientos, teniendo por lo tanto igual comportamiento estadístico entre los diversos tratamientos silvoculturales aplicados.

En forma general se puede mencionar que los valores de las variables en estudio muestran que el tratamiento por efecto de combinación (riego, fertilización y control de vegetación competitiva), tiene una importante influencia en la producción total de semilla, destacándose en el total de semilla turgente, la cual se encuentra altamente relacionada con la obtención de semilla viable. Lo anterior indica que un adecuado manejo forestal, con prácticas silvoculturales en rodales jóvenes de *Pinus cembroides*, puede contribuir a la producción de semilla debido a que el árbol asimila más eficientemente los aportes de macro y micronutrientes, fundamentales para su desarrollo y funciones metabólicas, lo cual se refleja en un mejor llenado de semillas y mayor número en su producción (Binkley, 1993). Igualmente, la semilla turgente es beneficiada por el efecto combinado, ya que los nutrientes probablemente contribuyen a la formación de aminoácidos y al incremento de las reservas en la semilla, mientras que el riego hidroliza los procesos bioquímicos necesarios para un adecuado metabolismo del árbol y consecuentemente, un mejor desarrollo. Además, el agua ayuda a eficientar la absorción de nutrientes por el árbol, lo cual también podría traducirse, finalmente, en una mejor producción y la obtención de un mayor porcentaje en la estimación de la viabilidad de la semilla.

Rodal de *Pinus cembroides* de 20 Años de Edad

A continuación se presenta el Cuadro 4.4 con resultados del rodal dos, donde se plasman valores de: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla turgente y porcentaje de semilla viable.

Cuadro 4.4. Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de *Pinus cembroides* de 20 años de edad.

Tratamiento	Total de semilla (TS) n([†])	Semilla vana (SV) n	Semilla turgente (ST) n	Semilla viable (SVI) n	Semilla turgente (PST) %(^{††})	Semilla viable (PSV) %
T1-R1([†])	334	308	26	17	8	65
T1-R2	963	903	60	53	6	88
T2-R1	608	526	82	67	13	81
T2-R2	368	284	84	74	23	88
T3-R1	676	620	56	36	8	64
T3-R2	692	610	82	77	12	94
T4-R1	601	514	87	77	15	89
T4-R2	960	885	75	66	8	88
T5-R1	318	300	18	13	6	72
T5-R2	415	372	43	31	10	72

([†]) T = Tratamiento; R = Repetición.

(^{††}) % = Por ciento; n = Número de semillas.

En el Cuadro 4.5 se presentan los cuadrados medios de los análisis de varianza para las variables de la parcela dos respecto a TS, SV, ST, SVI, PST y PSV. Para la fuente de variación correspondiente a repeticiones, presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables a excepción de PST, indicando que en este rodal, no obstante su edad uniforme, se presentan diferencias considerables en el comportamiento de los árboles en cada una de las unidades experimentales, debido probablemente a que inician

su etapa fisiológica reproductiva, con emergencia dispareja de primordios florales y producción de conos.

En cuanto a la fuente de variación correspondiente a tratamientos, se encontró que existen diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para todas las variables excepto para el porcentaje de semilla viable, donde la diferencia fue significativa al nivel de 0.05 de probabilidad. Lo anterior muestra que por lo menos uno de los tratamientos silvoculturales está contribuyendo a diferenciar el comportamiento del rodal para las características de producción de calidad de semillas.

Cuadro 4.5. Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 20 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Fuentes de variación	GL	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Repeticiones	1	74132.10**	61779.60**	562.50**	828.10**	8.10	348.10**
Tratamientos	4	54421.75**	47446.15**	1100.90**	963.85**	37.60**	84.85*
Error	4	55440.35-	53994.35	185.00	226.85	21.10	97.85
CV (%)		39.67	43.66	22.18	29.47	42.14	12.40
Media		593.50	532.20	61.30	51.10	10.90	80.10
Error estándar (promedio)		166.49	164.31	9.62	10.65	3.25	6.99

** , * = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente.

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

Los coeficientes de variación (CV) estimados muestran un adecuado nivel de confiabilidad en el experimento para las variables ST, SVI y SPV (entre 12.40 y 29.47 por ciento), en tanto que para las variables TS, SV y PST, los

valores son relativamente altos debido a que éstas hacen referencia al total de semilla, el cual está ampliamente influenciado por el comportamiento individual de los miembros de la población que conforman las unidades experimentales.

En función de los análisis de varianza para las variables estudiadas en este rodal, se presenta en el Cuadro 4.6 las medias de producción y calidad fisiológica para tales variables, así como los valores de la prueba de diferencia mínima significativa para los tratamientos silvoculturales aplicados.

Cuadro 4.6. Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 20 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Tratamiento	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Riego (R)	648.50 a ^(¶)	605.50 a	43.00 b c	35.00 a b	7.00 a	76.50 a
Fertilización (F)	488.00 a	405.00 a	83.00 a	70.50 a b	18.00 a	84.00 a
Control de veg. comp. (L)	684.00 a	615.00 a	69.00 a b c	56.50 a b	10.00 a	79.00 a
Combinación (C) = (R+F+L)	780.50 a	699.50 a	81.00 a	71.50 a	11.50 a	88.50 a
Testigo (T)	366.50 a	336.00 a	30.50 c	22.00 b	8.00 a	72.00 a
DMS (0.05)	653.74	645.15	37.76	41.82	12.75	27.46

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

(¶) Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba DMS P ≤ 0.05.

Con relación a las variables TS, SV, PST y PSV, no se encontraron diferencias estadísticas (DMS, P≤0.05) entre las medias de respuesta en producción y calidad fisiológica ante la aplicación de los diversos tratamientos. Sin embargo, este rodal mostró diferentes tipos de respuestas en cuanto a

cantidad de semilla turgente (TS) y viable (SVI) producida, donde el tratamiento del efecto combinatorio de las prácticas silvoculturales aplicadas, presentó valores que diferencian favorablemente el desempeño del tratamiento combinado con relación al resto de los tratamientos (Cuadro 4.6).

Debe señalarse que la producción de semilla turgente está relacionada con la cantidad de semilla viable producida, variable con respuesta altamente significativa ($P \leq 0.01$) al tratamiento combinado (R+F+L). Esto tiene implicaciones fisiológicas relacionadas con la mayor disponibilidad hídrica, con un mejor aporte de macro y micronutrientes, así como también ventajas en cuanto a la reducción de la competencia intra e interespecífica. Según Nájera (2000) tal situación coadyuva a preservar las condiciones de mayor humedad edáfica e incremento en la carga de radiación del suelo, asimismo, en el abatimiento de los índices de pérdida por transpiración e incremento en la proporción de luz que incide en los árboles, lo cual se pudiese traducir en una mayor eficiencia fotosintética y, consecuentemente en un aumento en el desarrollo y capacidad reproductiva de los árboles.

La cantidad de semilla turgente y viable es un indicativo de su calidad fisiológica. Asimismo, la proporción de viabilidad con relación a turgencia, mostró una alta respuesta al efecto combinado de los diversos tratamientos; esto pudiese haberse debido, además de las posibles causas expuestas en el párrafo anterior, a que los árboles contienen, con relación a su peso seco, de un 70 a 90 por ciento en agua con movimiento constante, a una presión hídrica que

facilita los procesos de conducción vascular a lo largo del flujo xilemático, floemático e intercelular (a través de las paredes celulares). Además, mejora las condiciones de transferencia osmótica de macro y micronutrientes necesarios para el metabolismo de los árboles a través de la absorción radical (Milburn, 1979).

Por otra parte, el efecto de la fertilización pudiese haber promovido una mayor producción de semilla turgente y semilla viable en este rodal, puesto que la productividad biológica de los árboles está en función de su capacidad de absorción de nutrientes y la disponibilidad de éstos en el suelo, entre otros factores (Binkley, 1993). Sin embargo, la condición de aporte y absorción de micro y macronutrientes se encuentra limitada por el pH del suelo, efecto éste observado en la parcela de estudio ($\text{pH}>7.0$, Cuadro 3.2).

Por otra parte, se debe tener en cuenta que el estado nutricional de los árboles influye sobre las primeras etapas de floración y desarrollo de las semillas, y como lo señalan Ebell y McMullan (1970) al mencionar que la fertilización no siempre aumenta la producción de flores y semillas en los árboles forestales, pero quizá es la mejor herramienta para aumentar la producción de semillas, ya que posiblemente el incremento en la cantidad del aminoácido arginina desempeñe cierta función en este proceso.

Rodal de *Pinus cembroides* de 22 Años de Edad

A continuación se presenta el Cuadro 4.7 con resultados del rodal tres, donde se plasman valores de: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla turgente y porcentaje de semilla viable.

Cuadro 4.7. Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de *Pinus cembroides* de 22 años de edad.

Tratamiento	Total de semilla (TS) n(†)	Semilla vana (SV) n	Semilla turgente (ST) n	Semilla viable (SVI) n	Semilla turgente (PST) % (¶)	Semilla viable (PSV) %
T1-R1(†)	19	13	6	4	32	33
T1-R2	99	89	10	4	10	40
T2-R1	322	309	13	10	4	77
T2-R2	275	259	16	13	6	81
T3-R1	675	665	10	6	2	60
T3-R2	47	39	8	5	17	63
T4-R1	102	72	30	25	29	83
T4-R2	87	55	32	27	36	84
T5-R1	110	90	20	13	18	65
T5-R2	105	97	8	6	8	75

(†) T = Tratamiento; R = Repetición.

(¶) % = Por ciento; n = Número de semillas.

Los análisis de varianza para las variables de respuesta productiva y calidad fisiológica TS, SV, ST, SVI, PST y PSV, en la parcela de *Pinus cembroides* con 22 años de edad, se presentan en el Cuadro 4.8.

En la fuente de variación repeticiones se observan respuestas distintas en las variables evaluadas en cuanto a PSV, donde se encontró diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) y para TS y SV, presentaron diferencias

significativas al nivel del 0.05 de probabilidad. Esto significa que también este rodal, aún teniendo edad uniforme, muestra diferencias en las respuestas fisiológicas debido a la heterogeneidad de los tratamientos.

Cuadro 4.8. Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 22 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Fuentes de variación	GL	TS([†]) n	SV([†]) n	ST([†]) n	SVI([†]) n	PST([†]) %	PSV([†]) %
Repeticiones	1	37822.50*	37210.00*	2.50	0.90	6.40	62.50**
Tratamientos	4	36963.35*	38734.15*	170.90**	53.15**	234.65**	640.85**
Error	4	40949.75	40758.75	21.50	7.65	106.15	6.25-
CV (%)		109.92	119.60	30.39	24.48	63.60	3.78
Media		184.10	168.80	15.30	11.30	16.20	66.10
Error estándar (promedio)		143.09	142.76	3.28	1.96	7.28	1.77

** , * = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente.

([†])TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

Para la fuente de variación correspondiente a los tratamientos, se presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) para las variables TS y SV, y diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$) para ST, SVI, PST y PSV, lo que demuestra que al menos uno de los tratamientos silvoculturales contribuyó para la obtención de respuestas diferentes.

Con relación al coeficiente de variación (CV), se muestra una adecuada confiabilidad del experimento para las variables ST, SVI y PSV, con un rango que va de 3.78 a 30.39 por ciento, y con valores relativamente altos para TS, SV y PST. Sin embargo, esto pudiera explicarse porque el rodal se encontraba

en un periodo de baja producción semillera durante la colecta, comprendido entre dos años semilleros, recordándose que durante esta etapa sólo algunos árboles producen estructuras florales mientras que la mayoría se mantienen improductivos (Daniels y Baker, 1983). En el mismo sentido Flores (1987) menciona que una característica de los pinos piñoneros es que su producción semillera no es constante a través de los años, pudiendo variar de un área a otra en una misma región, e incluso entre individuos de un mismo rodal.

Con base en las diferencias obtenidas en los análisis de varianza, se presentan en el Cuadro 4.9 las medias de producción y calidad fisiológica del rodal de acuerdo con los tratamientos aplicados; asimismo, se muestran los valores de la prueba de diferencia mínima significativa (DMS, $P \leq 0.05$). Para las variables TS, SV, PST y PSV, sólo se tuvo un tipo de respuesta agrupada (DMS, $P \leq 0.05$) con relación a los tratamientos experimentales, mientras que para ST y SVI (DMS, $P \leq 0.05$), existieron más grupos de respuestas, donde el tratamiento combinación de prácticas silvoculturales (R+F+L) mostró los valores superiores con relación al riego, la fertilización, el control de vegetación competitiva y el testigo, individualmente.

Es importante destacar que la producción de semilla turgente y semilla viable en este rodal, estuvo altamente influenciada por el tratamiento combinado de riego, fertilización y control de vegetación competitiva. Esto pudo deberse a que el tratamiento implica un mayor nivel de manejo silvícola en el bosque de *Pinus cembroides* de 22 años de edad, debido al efecto influyente

de las prácticas silvoculturales aplicadas, debiéndose recordar que el manejo de árboles semilleros es una actividad de cultivo que requiere muchas de las mismas técnicas culturales de un cultivo agrícola (Vargas *et al.*, 1997).

Cuadro 4.9. Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus cembroides* de 22 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Tratamiento	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Riego (R)	59.00 a ^(¶)	51.00 a	8.00 b	4.00 b	21.00 a	36.50 d
Fertilización (F)	298.50 a	284.00 a	15.50 b	11.50 b	5.00 a	79.00 a
Control de veg. comp. (L)	361.00 a	352.00 a	9.00 b	5.00 b	9.50 a	61.50 c
Combinación (C) = (R+F+L)	94.50 a	63.50 a	31.00 a	26.00 a	32.00 a	83.50 a
Testigo (T)	107.50 a	93.50 a	14.00 b	9.50 b	13.00 a	70.00 b
DMS (0.05)	561.84	560.53	12.87	7.70	28.60	6.94

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

(¶) Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba DMS P ≤ 0.05.

Aunque las prescripciones de manejo pueden ser complejas y varían de un sitio a otro, la producción superior de semilla turgente y semilla viable del rodal estudiado pudiese explicarse por el apropiado aporte de nutrientes derivado del tratamiento combinado, así como del control de la vegetación ínter e intraespecífica que compite por la apropiación de recursos, que también son necesarios para el buen desarrollo de los árboles. Además, la disponibilidad hídrica proveniente del riego, pudo eficientar la absorción de nutrientes y el buen desempeño de los procesos metabólicos necesarios para el crecimiento, desarrollo y reproducción.

El tratamiento combinado también mostró superioridad con relación a los demás, pues pudo haber contribuido a incrementar el porcentaje de semilla viable en función del total de semilla turgente producida, lo cual se podría explicar por el aporte de fitorreguladores (auxinas, giberelinas y citocininas) promovidos por los fertilizantes aplicados necesarios para el crecimiento de los conos y semillas (Rojas y Ramírez, 1993), así como por la importancia implícita de las prácticas silvoculturales discutida.

Rodal de *Pinus halepensis* de 28 Años de Edad

A continuación se presenta el Cuadro 4.10 con resultados del rodal cuatro, donde se plasman valores de: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla turgente y porcentaje de semilla viable.

Con relación a la respuesta productiva y de calidad fisiológica de la semilla en la parcela del experimento cuatro, en el Cuadro 4.11 se presentan los cuadrados medios para las variables TS; SV, ST, SVI, PST y PSV.

Para la fuente de variación repeticiones, tan solo para la variable TS presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$). Esto muestra que las unidades experimentales tuvieron uniformidad en la respuesta a los tratamientos en este rodal.

Cuadro 4.10. Variables de producción y calidad fisiológica de la semilla para el rodal de *Pinus halepensis* de 28 años de edad.

Tratamiento	Total de semilla (TS) n(†)	Semilla vana (SV) n	Semilla turgente (ST) n	Semilla viable (SVI) n	Semilla turgente (PST) % (†)	Semilla viable (PSV) %
T1-R1(†)	4900	4784	116	60	2.36	52
T1-R2	5222	5115	107	71	2.04	66
T2-R1	4520	4420	100	73	2.21	73
T2-R2	2850	2797	53	38	1.85	71
T3-R1	3523	3442	81	52	2.29	64
T3-R2	3002	2952	50	35	1.66	70
T4-R1	5021	4856	105	82	3.28	78
T4-R2	4322	4205	117	75	2.70	64
T5-R1	2432	2390	42	31	1.72	74
T5-R2	3320	3254	66	45	1.98	68

(†) T = Tratamiento; R = Repetición.

(†) % = Por ciento; n = Número de semillas.

Con relación a la fuente de variación tratamientos, se presentan interesantes respuestas productivas y de calidad fisiológica de la semilla ante la aplicación de las prácticas silvoculturales, ya que las variables TS, ST y SVI, muestran diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), y la variable PSV, diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

En el Cuadro 4.11 también se muestran los coeficientes de variación (CV), los cuales presentan una adecuada confiabilidad del experimento para todas las variables, con un rango que varía de 11.33 a 25.50 por ciento.

Tomando en cuenta los análisis de varianza expuestos (Cuadro 4.11), en el Cuadro 4.12 se presentan las medias de producción y calidad fisiológica del rodal de acuerdo con los tratamientos aplicados. Se puede observar, respecto

a los tratamientos riego, fertilización, control de vegetación competitiva y efecto combinado, que el total de la semilla producida (TS) mostró una mejor respuesta con relación al testigo, lo cual establece una relación positiva entre esta variable y la aplicación por separado, o en conjunto, de las prácticas silvoculturales aplicadas. Además, en cuanto a la respuesta fisiológica del rodal correspondiente al porcentaje de semilla turgente (PST), el tratamiento del efecto de combinación de prácticas presentó un valor superior con relación a los demás.

Cuadro 4.11. Análisis de varianza para las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus halepensis* de 28 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Fuentes de variación	GL	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Repeticiones	1	282240.00*	246176.10	260.10	115.60	0.27	1.60
Tratamientos	4	1721856.65**	1604717.25	1391.65**	538.40**	0.41	61.40*
Error	4	484586.25	457716.85	431.35	206.10	0.06	65.60
CV (%)		17.79	17.70	24.81	25.54	11.33	11.88
Media		3911.20	3821.50	83.70	56.20	2.21	68.20
Error estándar (promedio)		492.23	478.39	14.69	10.15	0.17	5.73

** , * = Niveles de significancia al 0.01 y 0.05, respectivamente.

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

En general, se puede detectar baja capacidad de respuesta del rodal en estudio para las variables ST, SVI y PSV en cuanto a la aplicación de los tratamientos probados, ya que sus valores fueron estadísticamente similares (DMS, P \leq 0.05).

Cuadro 4.12. Comparación de medias de las respuestas en producción y calidad fisiológicas de la semilla en *Pinus halepensis* de 28 años de edad, ante diversas prácticas silvoculturales.

Tratamiento	TS ^(†) n	SV ^(†) n	ST ^(†) n	SVI ^(†) n	PST ^(†) %	PSV ^(†) %
Riego (R)	5061.00 a ^(II)	4949.50 a	111.50 a	65.50 a	2.20 b	59.00 a
Fertilización (F)	3685.50 a b	3608.50 a b	76.50 a	55.50 a	2.03 b	72.00 a
Control de veg. comp. (L)	3262.50 a b	3197.00 a b	65.50 a	43.50 a	1.98 b	67.00 a
Combinación (C) = (R+F+L)	4671.50 a b	4530.50 a b	111.00 a	78.50 a	2.99 a	72.00 a
Testigo (T)	2876.00 b	2822.00 a b	54.00 a	38.00 a	1.85 b	71.00 a
DMS (0.05)	1932.70	1878.40	57.66	39.86	0.70	22.49

(†) TS = Total de semilla; SV = Semilla vana; ST = Semilla turgente; SVI = Semilla viable; PST = Porcentaje de semilla turgente; PSV = Porcentaje de semilla viable; n = número.

(II) Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba DMS P ≤ 0.05.

Es interesante enfatizar que el porcentaje de semilla turgente tuvo un valor superior mediante la aplicación del tratamiento que combinó el riego, la fertilización y el control de vegetación competitiva, lo cual se podría deber a que dicho tratamiento incluyó promotores hormonales para la emergencia de primordios florales y desarrollo de estructuras reproductivas.

Además, el efecto del agua, la mayor disponibilidad de nutrientes y la disminución de competencia intra e interespecífica con relación a la especie estudiada, pudieron crear las condiciones para que los árboles produjeran semillas llenas en una mayor proporción con relación a los demás tratamientos. En este sentido Zobel (1988) establece que la fertilización, particularmente con nitrógeno y fósforo, ha promovido el proceso de floración y llenado de semillas en casi todas las especies en las cuales se ha practicado.

Según Harcharik (1981) en años de sequía, el riego puede significar la diferencia entre una buena o mala cosecha de semillas turgentes, asimismo, Nájera (2000) establece que el control de malezas competitivas favorece la incidencia de luz a los árboles de interés silvícola, mejorando con esto la proporción de energía radiante que es aprovechada por los árboles para sus procesos bioquímicos propios de la fotosíntesis.

Indicadores de Viabilidad Económica

A continuación se presentan los Cuadros 4.13 y 4.14, referentes a viabilidad económica de los tratamientos aplicados en el trabajo de investigación, tanto en moneda nacional como en dólares.

En estos cuadros se valora el costo de la aplicación de tratamientos, costo de la colecta y tratamiento de la semilla, el costo total por hectárea, el total de semilla turgente por hectárea (en número y en kilogramos). Asimismo, el valor económico (en pesos y dólares) de la semilla turgente por hectárea.

Por otra parte, se estiman la relación beneficio-costo ($R^{B/C}$) de cada tratamiento, así como su valor actual neto (VAN).

Cuadro 4.13. Viabilidad económica de los tratamientos aplicados en la investigación considerando los valores (costos y beneficios) en términos de moneda nacional.

Tratamiento	CAT/ha ^(†) \$	CCTS/ha \$	CT/ha \$	ST/ha n	ST/ha kg	BTST/ha \$	R ^{B/C}	VAN \$
<i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad								
Riego (R)	5000	1500	6500	3111	1.41	423	0.07	(6077)
Fertilización (F)	3000	1500	4500	5777	2.63	789	0.18	(3711)
Control veg. comp. (L)	1600	1500	3100	10221	4.65	1395	0.45	(1705)
Combinación (R+F+L)	9600	1500	11100	76881	34.95	10485	0.94	(615)
Testigo	0	1500	1500	7999	3.64	1092	0.72	(408)
<i>Pinus cembroides</i> de 20 años de edad								
Riego (R)	4000	2000	6000	7095	3.23	969	0.16	(5031)
Fertilización (F)	3500	2000	5500	13695	6.23	1869	0.34	(3631)
Control veg. comp. (L)	1600	2000	3600	11385	5.18	1554	0.43	(2046)
Combinación (R+F+L)	8600	2000	10600	13365	6.08	1824	0.17	(8776)
Testigo	0	2000	2000	5033	2.29	686	0.34	(1314)
<i>Pinus cembroides</i> de 22 años de edad								
Riego (R)	4500	2000	6500	941	0.43	129	0.02	(6371)
Fertilización (F)	4000	2000	6000	1823	0.83	249	0.04	(5751)
Control veg. comp. (L)	1600	2000	3600	1058	0.48	144	0.04	(3456)
Combinación (R+F+L)	10100	2000	12100	3646	1.66	498	0.04	(11602)
Testigo	0	2000	2000	1646	0.75	225	0.11	(1775)
<i>Pinus halepensis</i> de 28 años de edad								
Riego (R)	12000	3000	15000	21029	0.34	306	0.02	(14694)
Fertilización (F)	7000	3000	10000	14428	0.24	216	0.02	(9784)
Control veg. comp. (L)	1500	3000	4500	12353	0.20	180	0.04	(4320)
Combinación (R+F+L)	20500	3000	23500	20935	0.34	306	0.01	(23194)
Testigo	0	3000	3000	10184	0.17	153	0.05	(2847)

(†) CAT = Costo por aplicación de tratamientos; ha = Hectárea; CCTS = Costo por colecta y tratamiento a la semilla; CT = Costo total; ST = Semilla turgente; kg = Kilogramo; BTST = Beneficio total por la venta de la semilla turgente; () = Pérdidas; R^{B/C} = Relación beneficio - costo; VAN = Valor actual neto; n = Número de semillas; \$ = Pesos.

Cuadro 4.14. Viabilidad económica de los tratamientos aplicados en la investigación considerando los valores (costos y beneficios) en término de dólares al tipo de cambio vigente^(†).

Tratamiento	CAT/ha ^(†) US\$	CCTS/ha US\$	CT/ha US\$	ST/ha n	ST/ha kg	BTST/ha US\$	R ^{B/C}	VAN US\$
<i>Pinus cembroides</i> de 15 años de edad								
Riego (R)	526.32	157.90	684.22	3150	1.41	44.52	0.07	(639.70)
Fertilización (F)	315.79	157.90	473.69	5850	2.63	83.05	0.18	(390.63)
Control veg. comp. (L)	168.42	157.90	326.32	10350	4.65	146.84	0.45	(179.48)
Combinación (R+F+L)	1010.53	157.90	1168.43	77850	34.95	1103.68	0.94	(64.74)
Testigo	0	157.90	157.90	8100	3.64	114.95	0.72	(42.95)
<i>Pinus cembroides</i> de 20 años de edad								
Riego (R)	421.05	210.53	631.58	7095	3.23	102.00	0.16	(529.58)
Fertilización (F)	368.42	210.53	578.58	13695	6.23	196.74	0.34	(382.21)
Control veg. comp. (L)	168.42	210.53	378.95	11385	5.18	163.58	0.43	(215.37)
Combinación (R+F+L)	905.26	210.53	1115.79	13365	6.08	192.00	0.17	(923.79)
Testigo	0	210.53	210.53	5033	2.29	72.21	0.34	(138.32)
<i>Pinus cembroides</i> de 22 años de edad								
Riego (R)	473.68	210.53	684.21	941	0.43	13.58	0.02	(670.63)
Fertilización (F)	421.05	210.53	631.58	1823	0.83	26.21	0.04	(605.37)
Control veg. comp. (L)	168.42	210.53	378.95	1058	0.48	15.16	0.04	(363.79)
Combinación (R+F+L)	1063.16	210.53	1273.69	3646	1.66	52.42	0.04	(1221.26)
Testigo	0	210.53	210.53	1646	0.75	23.68	0.11	(186.84)
<i>Pinus halepensis</i> de 28 años de edad								
Riego (R)	1263.16	315.79	1578.95	21029	0.34	32.21	0.02	(1546.74)
Fertilización (F)	736.84	315.79	1052.63	14428	0.24	22.74	0.02	(1029.90)
Control veg. comp. (L)	1578.89	315.79	1894.68	12353	0.20	18.95	0.04	(454.74)
Combinación (R+F+L)	2157.89	315.79	2473.68	20935	0.34	32.21	0.01	(2441.47)
Testigo	0	315.79	315.79	10184	0.17	16.10	0.05	(299.68)

^(†) CAT = Costo por aplicación de tratamientos; ha = Hectárea; CCTS = Costo por colecta y tratamiento a la semilla; CT = Costo total; ST = Semilla turgente; kg = Kilogramo; BTST = Beneficio total por la venta de la semilla turgente; () = Pérdidas; R^{B/C} = Relación beneficio - costo; VAN = Valor actual neto; n = Número de semillas; \$ = Pesos.

^(¶) 1US\$=9.5 pesos mexicanos (octubre, 2000).

Discusión General

Una vez plasmados los indicadores económicos de las diferentes parcelas experimentales y discutidos los resultados para *Pinus cembroides* y *P. halepensis*, a continuación se hace una discusión general con el propósito de establecer deducciones más amplias y representativas para la producción de semillas forestales desde un enfoque biológico y económico.

En primer lugar se observa que los valores de las variables estudiadas en los cuatro experimentos: total de semilla producida (TS), total de semilla vana (SV), semilla turgente (ST), semilla viable (SV), porcentaje de semilla turgente (PST) y porcentaje de semilla viable (PSV), mostraron respuestas diferentes ante los tratamientos silvícolas aplicados, ya sea individualmente o de manera general, destacándose agrupamientos por especie en cuanto a estas respuestas, ya que como se muestra en los cuadros 4.3, 4.6 y 4.9, el total de semilla turgente (producción de semilla) respondió de manera distinta en los rodales de *Pinus cembroides* de 15, 20 y 22 años (rodales uno, dos y tres, respectivamente) ante la aplicación del tratamiento combinado de riego (R), fertilización (F) y control de vegetación competitiva (L), respecto a los tratamientos por separado, incluyendo al testigo. En los tres casos, las variables mencionadas presentaron valores superiores ante el tratamiento combinatorio, lo cual pudiera demostrar que con un manejo silvícola adecuado que incluya las prácticas utilizadas, es posible incrementar tanto la cantidad de

semilla turgente (producción) como de semilla viable (calidad fisiológica) en el rodal.

También se observó que en el rodal de *Pinus cembroides* de 15 años (rodal uno) y en el de *P. halepensis* de 28 años de edad (experimento cuatro), se presentaron valores superiores en cuanto al total de semilla producida (TS) ante el tratamiento combinado (Cuadros 4.3 y 4.12). Esto tiene importancia relativa puesto que TS es variable y no representativa de la real producción de semilla pura con interés silvícola, puesto que la producción de semilla turgente (ST) y en especial la viable (SVI), son las variables de mayor importancia para el caso de que los objetivos de manejo silvícola del rodal fueran producir semilla de calidad. En este sentido, el rodal de *P. cembroides* (rodal uno) presentó una alta producción de semilla total (producción media de 231.50 semillas por unidad experimental) ante la aplicación del tratamiento combinatorio, y además, mantuvo valores superiores en cuanto al total de semilla turgente (86.50), total de semilla viable (66.50), porcentaje de semilla turgente (36.50) y porcentaje de semilla viable (78.00), valores estadísticamente superiores (DMS, $P \leq 0.05$) al testigo en 176.34 por ciento para el caso de semilla total producida (TS), 961.11 por ciento para el total de semilla turgente producida (ST) y 886.67 por ciento para el total de semilla viable producida (SVI), y aunque no se tuvieron respuestas estadísticamente diferentes, también se presentaron valores superiores al testigo de 251.00 por ciento para el porcentaje de semilla turgente (PST) y de 107.59 para el porcentaje de semilla viable (Cuadros 4.1, 4.2 y 4.3).

Respecto al total de semilla producida (TS), el Cuadro 4.3 muestra que en el experimento de *P. cembroides* de 15 años de edad, únicamente el tratamiento combinado presentó valores estadísticamente superiores, en tanto que en los demás rodales de esta especie no se tienen diferencias estadísticas (DMS, $P \leq 0.05$), sin embargo, en el experimento de *P. halepensis* de 28 años el testigo fue el de menor producción de TS, por lo tanto se puede deducir que la aplicación individual de los tratamientos riego, fertilización o control de vegetación competitiva, no influye en la producción total de semilla para los rodales de *P. cembroides* de 20 y 22 años de edad (Cuadros 4.4, 4.6, 4.7 y 4.9), no obstante, en el estrato de menor edad (uno) se presentó una respuesta diferencial para el tratamiento combinatorio ya que la aplicación simultanea del riego, los fertilizantes y la limpieza inter e intraespecífica (aclareo), influyeron en una mayor producción del total de semilla (Cuadro 4.1).

De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, la cantidad de semilla vana obtenida (SV) no fue influenciada por el riego, la fertilización o el control de la vegetación competitiva, ya que los valores de esta variable, con un nivel de significancia del 5 por ciento, fueron estadísticamente similares, es decir, ningún tratamiento mostró respuestas distintas. Pareciera que en el caso de los pinos estudiados, los tratamientos aplicados no son determinantes en la obtención de semilla vana, lo cual sugiere que otros factores, ya sea genéticos, ecológicos o fisiológicos, influyen con mayor determinación en esta variable.

En los rodales estudiadas de *P. cembroides* de 15, 20 y 22 años de edad, fue donde se observó claramente el efecto del tratamiento combinatorio de las prácticas silvoculturales aplicadas en cuanto a la producción de semilla turgente (ST) (Cuadros 4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 4.7 y 4.9). Sin embargo, el Cuadro 4.12 muestra que en la parcela de *P. halepensis* (28 años) no existe contribución alguna en la producción de ST por efecto de la aplicación del mismo tratamiento. En trabajos institucionales recientes de investigadores de la Maestría en Ciencias Forestales de la UAAAN, se ha estudiado el estado fitosanitario de la plantación de Zapalinamé durante los últimos años, observándose una mortalidad del 11.35 por ciento del arbolado correspondiente a los rodales de *P. halepensis*, y del 20 por ciento de afectación ligera a escala global en esta plantación, situación que pudiera explicarse por el debilitamiento generalizado de esta cubierta arbórea durante los últimos años, que coincide con un prolongado período de sequía durante los años de 1994, 1995 y parte de 1996 (Nájera *et al.*, 1997). Esta condición pudiera dar vulnerabilidad a estos estratos e inducir al ataque de diversos patógenos como: *Fusarium oxysporum*, *Verticillium albo atrum* y *Pseudomonas syringae* (Nájera *et al.*, 1997; Galindo y Flores, 1997), así como plagas de insectos barrenadores que finalmente provocan la muerte de los árboles. Tómese en cuenta, además, que la plantación se encuentra sobre suelos esqueléticos, pobres en cuanto a sus propiedades físicas y químicas (Cuadros 3.1 y 3.2), que pudiesen estar limitando la permanencia del *P. halepensis* en esta zona. Esta región queda distante de su distribución natural en el Líbano y del Mediterráneo, en general su hábitat de origen (Abou-Haidar, 1997). Mientras que el *P. cembroides*,

mantiene una condición adecuada en cuanto a vigor, que pudiera explicarse por su condición de ser una especie nativa (Martínez, 1948).

En cuanto a semilla viable producida (SVI) se observa que en los estratos uno y tres, correspondientes a *Pinus cembroides* de 15 y 22 años de edad, el tratamiento referido a la aplicación combinada de las tres prácticas silvícolas en estudio presentó una respuesta estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) a los demás tratamientos; mientras que para la parcela de la misma especie con 20 años de edad, este tratamiento también se mostró superior al testigo ($P \leq 0.05$), aunque no presentó diferencias estadísticas (DMS, $P \leq 0.05$) con relación a los tratamientos de riego, fertilización y control de vegetación competitiva, individualmente (Cuadro 4.6).

En el rodal de *P. halepensis* (estrato cuatro), a diferencia de los rodales de *P. cembroides* (uno, dos y tres), al parecer el tratamiento combinatorio no contribuyó estadísticamente mejor que los demás tratamientos ($P \leq 0.05$) en la producción de semilla viable (SVI), es decir, para el caso de este rodal los tratamientos silvoculturales aplicados no tuvieron respuestas diferentes en cuanto a semilla viable (SVI), incluso, el testigo tampoco mostró una respuesta distinta; desde un enfoque estadístico todos los tratamientos tuvieron efectos similares, incluyendo al testigo, lo cual podría establecer que este rodal no justifica desde el punto vista de calidad fisiológica de semilla producida, la aplicación de prácticas silvoculturales como riego, fertilización radical y foliar, así como control de malezas y aclareos, ya que no contribuirían

significativamente ($P \leq 0.05$) en una mayor producción y calidad de semilla viable (SVI). Lo anterior sugiere que sería conveniente substituir esta especie por otras u otras adaptadas ecológicamente a la región, sin embargo, en este sentido se debe considerar que de la masa residual de esta especie (*P. halepensis*), aún se tienen árboles (en grupos o individualmente), que muestran resistencia a la mortalidad masiva, es decir, esto pudiera dar pauta para seleccionarlos y darles un manejo con enfoque genético ya que se destacan por su resistencia a estos efectos. Para esto se pudiera colectar su semilla con fines de reproducción a nivel de vivero, así como dar un seguimiento posterior con tendencias a establecer pruebas de progenie en el mediano plazo y huertos semilleros en el largo plazo, pues no debe desconocerse que esta especie ha estado en esta región desde 1960 y ha cumplido con los propósitos originales de su establecimiento (Nájera, 1997). Cozzo (1995) reporta que en Argentina el *P. halepensis* se ha establecido exitosamente en suelos semiáridos, donde otras coníferas difícilmente se adaptan. Por lo anterior, pudiese ser que en un contexto de mejoramiento genético a partir de individuos con caracteres superiores, como una arquitectura arbórea deseable, adaptación a la sequía, resistencia a la alcalinidad y/o salinidad del suelo, o a otro factor limitante, se seleccionen árboles o rodales, con tendencia a incorporar esta especie, por su importancia silvícola, a un programa de mejoramiento genético con el propósito de seguirla utilizando para plantaciones protectores en las zonas semiáridas a (Cozzo, 1995). Similar tratamiento silvícola también podría aplicarse al *P. cembroides*, que ha mostrado una buena adaptación a las difíciles condiciones ambientales propias del área de estudio y de otras regiones semiáridas del

noreste mexicano. Esta especie de piñonero posee enorme potencial genético para estas regiones y debiera incorporarse, indudablemente, a un programa de mejoramiento genético con fines de obtención de semilla calificada que coadyuve a su fomento mediante la producción de plántula en vivero con fines de reforestación protección o comercial (producción de “piñón” o de árboles de navidad).

La variable correspondiente a porcentaje de semilla turgente (PST), únicamente presentó diferencias superiores y estadísticamente diferentes (DMS, $P \leq 0.05$) en el tratamiento combinado de las prácticas estudiadas, en el estrato cuatro (Cuadro 4.12). En el resto de los experimentos los diversos tratamientos, incluyendo al testigo, presentaron respuestas similares respecto a los valores obtenidos de esta variable (Cuadros 4.3, 4.6 y 4.9), por lo tanto, podría deducirse que éste no es un adecuado parámetro para determinar la calidad fisiológica de una semilla; sin embargo, se puede observar que esta variable mostró valores superiores en los rodales de *P. cembroides* (de 5 a 36 por ciento) con relación a la de *P. halepensis* (de 1.85 a 2.99 por ciento), lo cual presenta otro diferencial fisiológico entre las especies estudiadas.

Con relación al porcentaje de semilla viable (PSV), se observaron respuestas estadísticamente superiores sólo en el rodal correspondiente a *P. cembroides* de 22 años de edad (experimento tres), donde los tratamientos referidos a la fertilización radical y foliar, así como al combinatorio de prácticas silvoculturales, presentaron efectos mayores (Cuadro 4.9).

En general se observa que el tratamiento relacionado con la combinación de prácticas de cultivo forestal (R+F+L) contribuye en rodales jóvenes de *P. cembroides* a una mejor producción y calidad fisiológica de la semilla. Estos efectos, de alguna forma, podrían ser incrementados si estas prácticas del tratamiento combinado, se llevaran a cabo desde etapas fenológicas más tempranas para el caso de *P. cembroides*. Es posible que a través de los años pudieran tenerse observaciones objetivamente más concluyentes, ya que los resultados para el presente experimento se fundamentan en datos obtenidos durante los años de 1997, 1998, 1999 y principios del 2000, período que se estima insuficiente para dar un seguimiento más objetivo a las respuestas relacionadas con aspectos productivos y de calidad fisiológica de la semilla colectada. Al respecto se debe tener en cuenta que los ciclos productivos de semilla en la mayoría de los árboles forestales maderables para estas zonas climáticas, se inician a partir de distintas edades, según sea la especie y la calidad del sitio, sin embargo, generalmente se requieren de por lo menos 10 años para el inicio de la antesis (fase reproductiva) en algunos de los piñoneros (*Pinus cembroides* y *P. pinceana*, entre otros), alcanzando niveles de plena producción después de los 30 años de edad. Por lo tanto, si bien este tipo de estudios permiten obtener resultados inductivos a nivel de visualización de mejores tratamientos para obtener respuestas en producción y calidad de semilla, se sugiere que este tipo de trabajos se proyecten paralelamente hacia un seguimiento a mediano plazo, ya que la fenología reproductiva en la mayoría de los pinos dura poco tiempo; alrededor de dos años. Vallejo (1997) reporta que el proceso reproductivo para *P. cembroides* inicia al final del año

(diciembre) con la emergencia de primordios florales y termina hacia el mes de marzo del siguiente año, en el que la polinización y la fecundación ocurren entre los meses de mayo a julio. Posteriormente, el crecimiento de conillos se da entre julio de ese año y abril del subsiguiente, mes en que éstos son fertilizados para culminar su desarrollo en noviembre siguiente, con la apertura de los conos maduros y la liberación de la semilla. En el contexto de limitación temporal del proceso reproductivo, la aplicación de prácticas silvícolas pudiera no reflejar efectos suficientemente claros aún, deduciéndose que estudios de este tipo pudieran requerir de por lo menos dos o tres procesos fenológicos reproductivos en el caso del *P. cembroides*, para generar resultados más concluyentes.

En lo que respecta al análisis económico, los costos por hectárea derivados de la aplicación de los tratamientos silvoculturales (CAT/ha) correspondientes a riego (R), fertilización radical y foliar (F), control de vegetación competitiva (L), combinación de éstos (C) y testigo (T), fueron calculados en términos de moneda nacional (pesos) (Cuadro 4.13) y de dólares americanos (US\$) (Cuadro 4.14). Estos cuadros presentan idénticos resultados biológicos y financieros; la diferencia radica sólo en la representación monetaria referente al mes de octubre del año 2000. La presentación de valores financieros en dólares tiene como propósito, tanto prolongar su vigencia debido a razones de estabilidad adquisitiva y cambiaria de esta moneda, como ofrecer una mejor comprensión en el ámbito nacional e internacional de los valores

expresados, recordándose que el dólar es una moneda aceptada universalmente.

En ambos cuadros de viabilidad económica, en general se observa que el tratamiento combinado (R+F+L) presenta valores más altos en cuanto a respuestas productivas de semilla turgente correspondientes a los cuatro rodales estudiados, sobre todo en el cuarto (*P. halepensis* de 28 años). Esto podría deberse a que este tratamiento promueve la acción simultánea del riego, la fertilización, el control de maleza y la implementación de aclareos, lo cual pudiese establecer las condiciones para generar un efecto agregado en las respuestas biológicas de los árboles al producir semilla, pero también deriva en un aumento del valor agregado de los costos de producción debido a la sumatoria de los costos individuales de tales tratamientos, mismos que fueron evaluados en función de la metodología de su implementación. El costo por concepto del riego en el rodal más joven (uno) fue mayor que en los rodales dos y tres; esto se debió a que éste se encontraba localizado en la zona más distante y de difícil acceso del área de estudio, además, porque en este estrato se presentó la mayor densidad del arbolado con 4,444 individuos por hectárea (equidistancia de 1.5 m entre árboles, en trazo de “marco real”).

El costo por hectárea derivado de la colecta y tratamiento de la semilla turgente (CCTS/ha), como fue el transporte, secado, desalado (*Pinus halepensis*) y prueba de turgencia, se consideró uniforme para cada rodal y distinto entre éstos. Como se muestra en el Cuadro 4.13, el rodal uno tuvo un

CCTS/ha de \$1,500.^{°°} (mil quinientos pesos), el dos y el tres \$2,000.^{°°} (dos mil pesos) y el cuatro \$3,000.^{°°} (tres mil pesos). Esto se explica porque el estrato uno de *Pinus cembroides* contiene árboles muy jóvenes (15 años) y con bajas dimensiones, lo cual facilita el proceso de colecta. Esta erogación se calculó de manera similar para los rodales dos y tres, elevándose considerablemente para el cuatro debido a las mayores dimensiones del arbolado con más edad de *P. halepensis*.

El costo total por hectárea (CT/ha) para la obtención de semilla turgente representa la sumatoria de los costos mencionados (CAT/ha y CCTS/ha) y como se muestra en los Cuadros 4.13 y 4.14, el rodal de mayor edad (*P. halepensis*) tiene costos mayores que los equivalentes a los rodales de *P. cembroides*; en general elevados para todos, pero que representan objetivamente lo que costaría someter a producción de semilla cada hectárea de los diferentes rodales estudiados.

Los experimentos de *P. cembroides* de 15 y 20 años de edad, presentaron valores en producción de semilla turgente (ST/ha) similares con relación a los tratamientos, sin embargo, en ambos casos el tratamiento combinado fue superior estadísticamente ($DMS \leq 0.05$) al testigo. De los cuadros anteriores se puede destacar que en el rodal uno, esta respuesta fue sobresaliente con 34.95 kilogramos por hectárea, lo cual demuestra superioridad estadística respecto a todos los demás tratamientos con un nivel de significancia del 0.05.

El valor anterior, pudo haber sido influenciado, además de los tratamientos, por aspectos edáficos debido a la alta variabilidad física y química de los suelos (Cuadros 3.2 y A.3). De cualquier forma, este tratamiento combinatorio en ambos rodales fue superior en cuanto a respuesta productiva en todos los tratamientos, a la producción de semilla turgente equivalente en el rodal tres, el cual dio apenas 1.66 kilogramos por hectárea en su respuesta más alta, correspondiente, al igual que en los otros dos, al tratamiento combinado.

En los experimentos uno y dos se observa que las respuestas en producción de semilla turgente (ST) fueron superiores ante el tratamiento combinatorio de las prácticas aplicadas (C), siguiendo el control de maleza y aclareo (L), la fertilización (F), y el riego (R), respectivamente.

En el rodal uno los tratamientos de control vegetativo y de efecto combinado fueron superiores al testigo (T), no así el riego y la fertilización, mientras que en el rodal dos tanto el tratamiento combinado, el control de maleza, la fertilización y el riego fueron, en combinación o individualmente, superiores al testigo. Lo anterior pudiera deberse a que en el primero, el testigo se encontraba en una condición favorable de grosor del suelo, con mayor disponibilidad de agua proveniente de la precipitación pluvial, que pudo ser retenida más tiempo por las arcillas y humus del suelo. Esta condición de humedad y espesor de suelo pudo favorecer la disponibilidad de nutrientes

provenientes tanto de la constitución física y química del mismo, como de la fertilización radical.

El experimento dos presentó valores superiores en producción de semilla turgente para cada uno de los tratamientos silvoculturales aplicados, destacando los correspondientes a fertilización (F), efecto combinado (C) y control de vegetación competitiva (L), estadísticamente superiores al testigo ($P \leq 0.05$).

En general, el rodal tres mostró valores pobres en cuanto a producción de semilla turgente (ST) respecto a los tratamientos aplicados, sin embargo, en este ámbito de escasez, no debe soslayarse que el tratamiento combinatorio presentó una respuesta estadísticamente superior (DMS, $P \leq 0.05$).

En general, el *P. halepensis* presenta valores relativamente bajos en cuanto a producción de semilla turgente (ST), donde el tratamiento combinatorio (C) y el riego (R), muestran los valores más altos (0.34 kilogramos por hectárea, cada uno) con relación a la fertilización (0.24 kilogramos), el control de vegetación competitiva (0.20 kilogramos) y el testigo (0.17 kilogramos), sin embargo, con un nivel de significancia del 5 por ciento, las respuestas mencionadas para todos los tratamientos (incluyendo al testigo) no presentan diferencias (cuadros 4.10 y 4.12).

Una respuesta en calidad fisiológica a la aplicación de los diferentes tratamientos silvoculturales en los cuatro rodales estudiados, fue la obtención de semilla viable (SVI), sin embargo, este parámetro no se consideró en el análisis económico ya que normalmente la semilla producida para la comercialización es turgente y se etiqueta con indicadores de calidad como es el coeficiente de germinación, entre otros.

Como se observa en los Cuadros 4.13 y 4.14, aún cuando desde el punto de vista biológico se obtuvieron valores de producción de semilla turgente (ST) estadísticamente superiores ($P \leq 0.05$) para el tratamiento combinatorio (C) en los rodales uno, dos y tres, correspondientes a *P. cembroides* de 15, 20 y 22 años, desde un enfoque económico se establece que en ningún caso se alcanzan niveles de factibilidad económica. Incluso, cualquier esfuerzo encaminado a producir semilla comercial de *P. cembroides* y *P. halepensis* actualmente en el área de estudio, incluyendo los testigos de las parcelas mencionadas, podría derivar en pérdidas financieras ya que para todos los casos la relación beneficio costo ($R^{B/C}$) es menor a uno y el valor actual neto (VAN) negativo, lo cual significa que los costos incurridos en la producción de semilla resultan siempre superiores a los posibles ingresos derivados de su comercialización. Este caso se acentúa en el rodal de *P. halepensis* de 28 años de edad, pues si bien es cierto que el número de semillas obtenidas es mayor para todos los tratamientos en comparación a los rodales de *P. cembroides*, la producción es baja para todos los casos, derivando esto en indicadores precarios de factibilidad económica, los cuales presentan una

relación beneficio-costo ($R^{B/C}$) que oscila entre 0.01 para el tratamiento combinatorio hasta 0.05 para el testigo, explicándose esto por los bajos costos de producción en el testigo y los más altos por concepto de la aplicación combinada de las prácticas silvoculturales, sin que los niveles de producción de semilla turgente compensen esta erogación.

En cuanto a *P. cembroides*, los valores económicos de la relación beneficio-costo ($R^{B/C}$) para los diferentes tratamientos en los tres experimentos evaluados, oscilan entre 0.04 para el tratamiento correspondiente a fertilización, control de vegetación competitiva y efecto combinado, hasta 0.94 para el tratamiento C de la parcela uno. Esto puede explicarse por la alta producción media de semilla turgente por efecto del tratamiento combinatorio de las prácticas silvoculturales aplicadas, además de condiciones edáficas favorables que aleatoriamente correspondieron a estas repeticiones. También pudo influir alguna condición favorable de polinización y fecundación de los estróbilos femeninos.

Finalmente, los coeficientes de variación (CV) presentados por los análisis de varianza, principalmente para el caso de los rodales de *P. cembroides*, resultaron ser muy elevados, lo cual sugiere que este tipo de experimentos debiera tener un mayor número de repeticiones y, con esto, tratar de inducir a un mayor nivel de confianza experimental, de tal forma que las variaciones entre repeticiones y entre tratamientos, respondan a los tratamientos experimentales más que factores externos al proyecto,

disminuyendo con esto el error experimental. Lo anterior de ninguna manera garantiza el abatimiento en los C.V., ya que la disparidad productiva de semilla turgente y viable en rodales jóvenes con estas especies, pudiera estar influenciada, además del manejo forestal, por aspectos genéticos, fisiológicos o ecológicos.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos y la discusión presentada se derivan las siguientes conclusiones:

Es posible aumentar la producción de semilla turgente (ST) y semilla viable (SVI) en rodales jóvenes de *P. cembroides* por efecto de la aplicación combinada de riego, fertilización radical y foliar, así como control de la vegetación inter e intraespecífica (aclareo), por lo que se acepta la hipótesis planteada en este sentido. Lo anterior sugiere que con un adecuado manejo silvícola es posible incrementar tanto la cantidad como la calidad fisiológica de la semilla en esta especie.

Para el caso de *P. halepensis*, no fue posible obtener resultados similares al *P. cembroides*, ya que en términos generales no respondió estadísticamente diferente a la aplicación individual o combinada de los tratamientos mencionados, por lo cual se rechaza la hipótesis planteada.

Los resultados obtenidos en *P. halepensis* pudieran estar influenciados por el debilitamiento generalizado y mortalidad parcial de esta especie; efecto

posiblemente causado por un periodo prolongado de sequía durante los años 1994, 1995 y parte de 1996.

Experimentos similares debieran establecerse en un contexto de temporalidad fenológica más amplia, con el fin de observar respuestas más objetivas en cuanto a la producción y calidad de semilla forestal. La capacidad de respuesta de los pinos ante tratamientos inductores de semillación, pudiera reflejarse después de varios años de su aplicación, por lo que se recomienda dar seguimiento al presente proyecto o a esfuerzos afines.

Los procedimientos radiográficos (rayos X) confirmaron su eficacia metodológica ya que permitieron evaluar la calidad fisiológica de la semilla en *Pinus cembroides* y *P. halepensis*.

Desde el punto de vista económico, se rechaza la hipótesis planteada, ya que no es factible producir semilla forestal con fines de comercialización mediante la aplicación individual o combinada de prácticas silvoculturales (R, F y L) en rodales tanto de *P. cembroides* como de *P. halepensis* establecidos en esta región, ya que los costos son mayores a los beneficios esperados, derivando una relación beneficio costo menor a uno, para todos los tratamientos en los cuatro rodales estudiados.

Es conveniente establecer programas de mejoramiento genético con objetivos a corto, mediano y largo plazo, aprovechando especies de enorme

potencial comercial y protección como es el caso de *P. cembroides*, que está adaptado a las drásticas condiciones ambientales de la región y responde favorablemente en cuanto a producción y calidad de semilla ante prácticas silvoculturales como riego, fertilización radical y foliar, así como control de vegetación indeseable y aclareos, propias de un adecuado manejo forestal. El *P. halepensis* pudiera ser considerado en este contexto, sólo si se detectan rodales o árboles individuales, con caracteres genéticos y fisiológicos, que hayan demostrado resistencia al debilitamiento generalizado y mortalidad parcial de la especie por las difíciles condiciones edáficas y climáticas de la región.

Pudieran obtenerse resultados más concluyentes a través de un periodo mayor de tiempo, debido a que las respuestas en las variables estudiadas podrían evidenciarse en fases fenológicas más avanzadas, por lo que se recomienda continuar con esta investigación para el caso de *Pinus cembroides*.

RESUMEN

Dada la importancia por detener la drástica destrucción de los recursos forestales en México, se deben establecer programas de plantaciones debidamente planeados y eficazmente instrumentados; para esto, se requiere contar con fuentes de semilla capaces de sostener una producción de plantas con alta calidad.

El presente estudio tuvo como propósito incrementar la cantidad y calidad fisiológica de semilla forestal en una plantación de *Pinus cemboides* (nativa) y *P. halepensis* (exótica), ubicada en el noreste de México, mediante la aplicación de las prácticas silvoculturales de riego (R), fertilización (F), control de la vegetación competitiva (L), y efecto combinado de éstos (R+F+L), en tres rodales de *P. cembroides* de 15, 20 y 22 años de edad, y otro de *P. halepensis* de 28 años.

El experimento se desarrolló entre diciembre de 1997 y febrero de 1999, obteniéndose datos de las variables: total de semilla, semilla vana, semilla turgente, semilla viable, porcentaje de semilla viable y porcentaje de semilla turgente; para esto, se utilizaron procedimientos radiográficos (rayos X).

Para establecer el experimento y levantar los datos, se utilizó un diseño completamente aleatorio. El procesamiento estadístico se hizo mediante el programa estadístico SAS y el análisis de los resultados fue individualizado para cada rodal (grupo homogéneo de árboles), concluyéndose que las especies estudiadas respondieron diferente ante los tratamientos silvoculturales aplicados, destacándose que en *P. cembroides* es posible aumentar la producción y calidad fisiológica de la semilla en rodales jóvenes de 15, 20 y 22 años de edad, aún cuando no se haya alcanzado la etapa de plena madurez reproductiva.

En *P. halepensis* no hubo respuesta estadística en producción y calidad fisiológica de la semilla ante los tratamientos aplicados; situación que pudo haber estado influenciada por el debilitamiento generalizado de esta especie por efecto de un periodo prolongado de sequía en los últimos años.

Desde el punto de vista económico, en ningún tratamiento se obtuvo factibilidad económica, tanto para *Pinus cembroides* como para *P. halepensis*.

Se deben canalizar esfuerzos al establecimiento de huertos semilleros de *P. cembroides* con adecuados planes de manejo que incluyan la selección apropiada del área de establecimiento, la instrumentación de las prácticas silvoculturales estudiadas, la prueba de materiales genéticos con diferentes procedencias, principalmente regionales, puesto que es una especie nativa, y con objetivos claros tanto a corto, mediano y largo plazo.

LITERATURA CITADA

- About-Haidar, F. 1997. Trees of Lebanon: aleppo pine. Disponible en línea con la información en:
<http://almashriq.hiof.no/lebanon/300/360/363/363.7/fareed/levenv19.html>
(Verificado 13 jun. 2000).
- Aguerre, M. 2000. Tendencias del comercio internacional de productos forestales. Bosques y Desarrollo N° 17. Disponible en línea con la información en: <http://www.cosapidata.com.pe/bosques/tendencias17.html>
(Verificado 10 jun. 2000).
- Aguirre B., C. 1982. Labores silvícolas complementarias al suelo. Boletín Técnico N° 93. INIF (SFF). SARH, México.
- Alanís F., G.J., G. Cano C. y M. Rovalo M. 1996. Vegetación y flora de Nuevo León (guía botánico-ecológica). CEMEX (ed.), Monterrey, NL., México.
- Aldama R., A. 1996. Estudio hidrogeoquímico e isotópico de la región de Saltillo-Monterrey. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Jiutepec, Mor., México. pp. 1-16.
- Alturo, M. 1998. *Pinus halepensis* Mill. Disponible en línea con la información en: <http://www.fut.es/~ralturo/coscoja/arbol/pinaceae/phalep.html>
(Verificado 19 jun. 2000).
- Anónimo. 1972. Datos generales sobre el desarrollo del plan de reforestación para proteger la cuenca del valle de Saltillo. Bosques 9 (5): 8-11. México.
- Arce G., L. 1980. Adición al estudio de la vegetación y la florística del Cañón de San Lorenzo. Tesis de Licenciatura. UANL, Monterrey, NL., México. 99 p.
- Arceo V., R.E. y D. Cibrián T. 1980. Utilización de tablas de vida en la evaluación de mortalidad de *Pinus montezumae* Lamb. en San Juan Tetla, Puebla. Memorias del 1er. Simposio nacional sobre parasitología forestal, Uruapan, Mich., México. pp. 20-32.
- Association of Official Seed Analysts, AOSA. 1983. Seed vigor testing handbook. Contribution N° 32 to the Handbook on Seed Testing, USA.

- Baule, H. 1996. Estado actual de la fertilización forestal en el mundo y su tendencia hacia el futuro. Química Foliar S.A. de C.V., México.
- Binkley, D. 1993. Nutrición forestal: prácticas de manejo. Grupo Noriega eds., México.
- Bonner, F.T. 1974. Seed testing. En: Seeds of woody plants in the United States, Agriculture Handbook Nº 450. For. Service, USDA, Washington, DC., USA.
- Borgo B., G. 1998. Respuestas al cuestionario por Gumercindo Borgo Biglia. pp. 23-52. In: G. Borgo (ed.). México Forestal, visto por 13 profesionales del ramo. Morevallado eds., Morelia, Mich., México.
- Buechner, H.K. 1950. Life history, ecology, and range use of the pronghorn antelope in Trans-Pecos, Tx. American Midland Naturalist. USA. pp. 257-354.
- Caballero D., M. 1998. Respuestas al cuestionario por Miguel Caballero Deloya. pp. 53-72. In: G. Borgo (ed.). México Forestal, visto por 13 profesionales del ramo. Morevallado eds., Morelia, Mich., México.
- Castaños M., L.J. 1998. Respuestas al cuestionario por León Jorge Castaños. pp. 73-102. In: G. Borgo (ed.). México Forestal, visto por 13 profesionales del ramo. Morevallado eds., Morelia, Mich., México.
- Centro de estudios del sector privado para el desarrollo sustentable, CESPEDES. 2000. Incendios forestales y deforestación en México. Disponible en línea con la información en:
http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/deforestacion/cap_4.htm
(Verificado 7 jun. 2000).
- CESPEDES, 2000. Contexto general de la deforestación en México (Publicaciones). Disponible en línea con la información en:
http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/otras/deforestacion/cap_4.htm
(Verificado 7 jun. 2000).
- Correll, D.S. y M.C. Johnston. 1970. Manual of the vascular plants of Texas. Texas Research Foundation, Renner, Tx., USA.
- Cozzo, D. 1995. Silvicultura de Plantaciones Maderables. Tomo I. Orientación Gráfica Editora S.R.L., Buenos Aires, Argentina. 438 p.
- Daniels, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1983. Principios de silvicultura. 2da. ed. McGraw Hill, México.

- De Luna M., R. 1989. Influencia de las edades de la reforestación de Zapalinamé sobre la infiltración y la producción de sedimentos. Tesis de Licenciatura. UAAAAN, Saltillo, Coah., México. pp. 15-55.
- Donahue, L.R., Miller, W.R. y Shickluna, C.J. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Prentice Hall International (PHI). Madrid, España. 624 p.
- Ebell, L.F. and E.E. McMullan. 1970. Nitrogenous substances associated with differential cone production responses of Douglas-fir to ammonium and nitrate fertilization. Canadian J. of Botany 48: 2160-2180. Canada.
- Eguiluz P., T., A. Niembro R. y P. Pérez R. 1985. Estudio morfológico de las semillas de siete especies de piñoneros mexicanos. Memorias del 1er. simposio nacional sobre pinos piñoneros. UANL, Linares, NL., México. pp. 53-68.
- Elías, T.S. 1980. The complete trees of North America: field guide and natural history. Times Mirror Magazines, Inc., NY., USA. pp. 947-948.
- Ferrer G., J. 1968. Nuestros árboles forestales. Ed. Colosol, Madrid, España. pp. 28-30.
- Fierros G., A.M. 1993. Manejo de la densidad de rodales coetáneos. Academia Nacional de Ciencias Forestales, México. pp. 23-25.
- Fisher, J.T., J.G. Mexal and G.C. Phillips. 1988. High value crops from New Mexico pinyon pines. I. Crop improvement through woodlands stand management. Special Report 73. New Mexico State Univ., Las Cruces, NM., USA. pp. 13-23.
- Flores L., J. 1987. Ecología y daños por plagas de conos y semillas del pino piñonero (*Pinus cembroides*) con especial énfasis en *Conophthorus cembroides* (Coleoptera: Scolytidae). Tesis de Doctorado. USA.
- Flores F., J.D. y M. López R. 1995. Diagnóstico de la muerte del ciprés (*Cupressus sempervirens* y *C. arizonica*) en la reforestación de Zapalinamé. VIII simposio nacional sobre parasitología forestal, UACh, Chapingo, México. pp. 11-12.
- Flores F., J.D. 1997. IV simposio nacional sobre parasitología forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. pp. 5-25.
- Flores O., R. 1983. Notas autoecológicas del pino piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) en Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. UANL. México.

- Galindo T., E. y J.D. Flores F. 1997. Pruebas de patogenicidad para detectar el agente causal de la muerte del *Pinus halepensis* Mill. en la reforestación de Zapalinamé. Memoria de resúmenes del IX simposio de parasitología forestal, Saltillo, Coah., México. pp. 25-26.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Ed. Lanos. 71 p.
- García G., 1996. Evaluación de desperdicios celulósicos como sustrato de germinación en *Pinus halepensis* Mill. Tesis de Licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coah., México. pp. 7-50.
- Gregory, R.G. 1972. Forest resource economics. University of Michigan. John Wiley & Sons (Eds.), NY., USA. pp. 427-439.
- Grenot, J.C. 1983. Desierto Chihuahuense. Fauna del Bolsón de Mapimí. UACh, Chapingo, México.
- Grigsby, H. 1966. Irrigation and fertilization of seed orchards. West Reg. Nur. Conf. Hot Springs, Arkansas, USA.
- Gualda, C.M. 2000. Utopía verde. Alternativas verdes para el planeta azul (*Pinus halepensis* Mill.). Fundación Andaluza. Disponible en línea con la información en:
<http://www.utopiaverde.org/comunes/flora/arboles/pinus-halepensis/home.html>
(Verificado 7 jun. 2000).
- Guevara M., R. 1997. Mejoramiento genético y semillas forestales. CATIE. Boletín (16): PROSEFOR, Turrialba, Costa Rica.
- Harcharik, D.A. 1981. The timing and economics of irrigation in loblolly pine seed orchards. Ph.D. thesis. North Carolina State University, Raleigh, USA.
- Hartmann, H.T. y D.E. Kester. 1971. Propagación de plantas, principios y prácticas. CECSA, México.
- International Seed Testing Association, ISTA. 1985. International rules for seed testing. Seed Sci. & Technol., Zurich, Zwiterland. pp. 299-335.
- International Seed Testing Association, ISTA. 1996. International rules for seed testing. Seed Sci & Technol. 24th International Seed Testing Congress, Denmark (1995), Zurich, Switzerland.

- Jaquish, B.C. 1997. Abasto y manejo de semillas a partir de la recolección en rodales naturales, áreas de producción y huertos semilleros. pp. 89-106. *In:* H.J.J. Vargas, B. Bermejo y F. Tomás (eds.). Manejo de Recursos Genéticos Forestales, México.
- Layseca T., M., S. Monreal R. y J. Fernández M. 1997. Plantaciones forestales comerciales. pp. 16-24. *In:* L. Paré y S. Madris (eds.). Bosques y plantaciones forestales. Cuadernos agrarios nueva época. CCMSS, SEMARNAP, FRIEDRICH EBERT STIFTUNG y FAL Mac Arthur. Federación Ed. Mexicana S.A. de C.V., México.
- Leal R., F. 1964. Cortas culturales en pinares de la Unidad Michoacana de Occidente S.A. Tesis de Licenciatura. ENA, Chapingo, México.
- Leopold, A.S. 1977. Fauna Silvestre de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables (eds.). México. 643 p.
- Lentner, M. and T. Bishop. 1986. Experimental design and analysis. Valley Book Company (Ed.). USA. pp. 33-79.
- Little, E.L. 1977. Research in the pinyon-juniper woodland. Departament of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experimental Station, Albuquerque, NM., USA. pp. 8-19.
- López L., M.A. 1990. Estudio de nutrición de *Pinus patula* Schl. et. Cham., en sistema hidropónico. Tesis de Licenciatura. UACH, Chapingo, México.
- Manuales SEP-TRILLAS. 1983 (1^a reimpr.). Producción Forestal. Manual N° 54. Edic. Agropecuaria. México. 134 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Eds. Botas, 2^a ed., México.
- Martínez, M. 1979. Catálogo de nombres vulgares y científicos de plantas mexicanas. Fondo de Cultura Económica (Ed.), México. 1220 p.
- Marroquín, J.S. 1976 (a). Vegetación y Florística del Nordeste de México I. Aspectos Sinecológicos en Coahuila. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 37: 69-101.
- Marroquín, J.S. 1976 (b). Vegetación y Florística del Nordeste de México II. El bosque deciduo templado - Compilaciones y Adiciones. Rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 37: 103-132.
- Mejía C., L. 1985. Horizontes y características diagnósticas de la taxonomía de suelos del USDA. CIAF., Bogotá, DE., Colombia. 245 p.

- Mejía C., L. 1986. Guía para la clasificación de suelos en la taxonomía de USDA. CIAF. Serie 1: Docencia, Bogotá, DE., Colombia.
- Mesén, F. 1997. Huertos semilleros de plántulas: establecimiento y manejo. Mejoramiento genético y semillas forestales. CATIE, Boletín (16): PROSEFOR, Turrialba, Costa Rica.
- Milburne, J.A. 1979. Properties of water. Butler & Tanner (Eds.). London, England. 220 p.
- Moreno M., E. 1984. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. Instituto de Biología. Dirección General de Publicaciones, UNAM, México.
- Nájera C., J.A., M.A. Capó A. y L. Morales Q. 1997. Avances en el programa fitosanitario de Zapalinamé, Saltillo, Coahuila. IX Simposio Nacional sobre Parasitología Forestal. UAAAN, Saltillo, Coah., México. pp. 23-24.
- Nájera C., J.A. 2000. Efecto de tres tratamientos silvícolas sobre el microclima y la regeneración en un bosque de *Abies-Pseudotsuga-Pinus*, en Arteaga, Coah., México. Tesis de Maestría. UAAAN, Saltillo, Coah., México. pp. 40-50.
- Norman, W.K. 1976. The genetics and breeding of southern pines. Agriculture handbook Nº 471. US. Department of Agriculture. Forest Service, Washington, DC., USA.
- Novelo G., R. 1994. Mulch para el control de maleza en una plantación comercial de *Pinus greggii* Engelm. Tesis de Maestría. UACH, Chapingo, México.
- Orta V., Q., A. Carreño O., P. Wais, A. Siller y A. Talavera O. 1950. Investigación de aguas subterráneas para uso de la ciudad de Saltillo, Coah. Secretaría de Recursos Hídricos (SRH) y Dirección General de Obras Públicas en el Estado de Coahuila. Saltillo, Coah., México. 100 p.
- Ortíz S., C.A. y Aguilar S., A. 1993. Actualización del mapa de suelos de México de acuerdo a la leyenda FAO-UNESCO-ISRCI. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
- Oviedo R., J.L. 1980. Alternativas de transformación de especies forestales de la reforestación de Zapalinamé. Tesis de Licenciatura. UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- Paré, L. y S. Madrid (eds.). 1998. Bosques y plantaciones forestales. Cuadernos agrarios nueva época. CCMSS, SEMARNAP, FRIEDRICH EBERT STIFTUNG y FAL Mac Arthur. Federación Ed. Mexicana S.A. de C.V., México. pp. 7-10.

- Paul, D.K. 1972. A handbook of nursery practice for *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* and other conifers in West Malaysia. No. 19. PNUD/FAO, Kuala Lumpur.
- Peattie, D.C. 1953. A natural history of western trees. Houghton Mifflin Co., Boston, MA., USA. 751 p.
- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press, Portland, OR., USA. 231 p.
- Polunin, O. 1978. Arboles y arbustos de Europa. Ed. Omega. España. pp. 12-198.
- Pritchett, W.L. 1990. Suelos forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Trad. por J. Hurtado V. y M. Cervantes R. Ed. Limusa, México.
- Ramírez D., J.A. 1986. Contribuciones al conocimiento de la entomofauna asociada al bosque de coníferas del Cañón de San Lorenzo, Saltillo, Coah. Tesis de Licenciatura. UAAAAN, Saltillo, Coah., México. 155 p.
- Rodríguez de la F., F. 1998. Enciclopedia Salvat de la Fauna. Tomo 11/índice. Salvat, S.A. (eds.). Madrid, España. 300 p.
- Rojas G., M. y H. Ramírez. 1993. Control hormonal del desarrollo de las plantas (Fisiología-tecnología-experimentación). Limusa-Noriega eds., México. pp. 143-159.
- Romero G., E. 1993. Análisis al crecimiento de *Pinus patula* Schl. et. Cham. en diferentes niveles de competencia intraespecífica en Huayacocotla, Veracruz. Tesis de Maestría. UACh, Chapingo, México.
- Ruiz G., C. y E. Velásco B. 1994. Crecimiento y distribución de biomasa en plantas de *Pinus engelmannii* Carr. bajo dos niveles de humedad en el suelo. Tesis de Licenciatura. UACh, Chapingo, México.
- Rzedowski, J. 1994. Vegetación de México. Sexta reimpresión. Limusa-Noriega eds., México. 432 p.
- Salazar, R. 1997. Red nacional de semillas forestales. Mural de la revista: Mejoramiento genético y semillas forestales. CATIE. Boletín (16): PROSEFOR, Turrialba, Costa Rica.
- Salomón M., J.J. 1980. Influencia de la precipitación invernal en el crecimiento en altura de pinos del Grupo Ponderosa de Chihuahua, S.A. de C.V. Tesis de Licenciatura. UACh, Chapingo, México.

SAS Institute Inc. 1990. SAS/STAT User's guide. Versión 6, 4th ed. Vol 2. SAS Institute Inc, Cary, NC., USA.

SAS Institute Inc. 1992. SAS Technical Report p-229. SAS/STAT Software: Changes and enhancements, Release 6.07. SAS Institute Inc, Cary, NC., USA.

SEMARNAP, 1998. Anuario estadístico de la producción forestal 1998. Dirección General Forestal y Dirección General de Comunicación Social de la SEMARNAP (eds.). México. 143 p.

SEMARNAP, 2000. Cultivo de árboles de navidad en México. Disponible en línea con la información en:
<http://www.semarnap.gob.mx/ssrn/DGForestal/cultivo/index.html>
(Verificado 11 jun. 2000).

Seward, B.R.T 1980. The production, handling and testing of forest tree seed in Zimbabwe – a review of methods and results. Zimbabwe Bull. For. Res. N° 8, Salisbury.

Steel, D.G.R. and H.J. Torrie. 1990. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second ed. McGraw-Hill Book Company (Ed.). USA. 633 p.

Suszka, B. 1976. Outline of physiology of scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). USDA, Washington, DC., USA.

Tomlinson, P.B. 1983. Tree architecture. New approaches help to define the elusive biological property of tree form. American Scientist, vol. 71, USA. pp. 141-149.

UAAAAN. 1986. Proyecto de reforestación (Informes). Subdirección de Desarrollo, Saltillo, Coah., México.

UAAAAN. 1999. Proyecto de reforestación y producción de árboles forestales (Informes). Subdirección de Transferencia Tecnológica, Saltillo, Coah., México.

UAAAAN. 2000. Registros climáticos de la estación meteorológica. Departamento de Agrometeorología, Saltillo, Coah., México.

Vallejo M., G.E. 1997. Asociación de variables dasonómicas a diferentes niveles de producción de conos en *Pinus cembroides* Zucc. en el sur de Nuevo León, México. Tesis de Maestría. UANL, Linares, NL., México. 119 p.

- Vargas H., J.J., B. Bermejo V. y F. Thomas L. 1997. Manejo de recursos genéticos forestales. Seminario-taller sobre manejo de recursos genéticos forestales. FAO. UACh. Chapingo, México.
- Vásquez A., R., J.A. Villarreal Q., y J. Valdés R. 1989. Las plantas de pastizales del Rancho Experimental Ganadero "Los Ángeles", Municipio de Saltillo, Coahuila. Folleto de divulgación, vol. II, num. 8. UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- Vásquez A., R., J.A. Villarreal Q., y J. Valdés R. 1991. Las plantas de pastizales del Rancho Experimental Ganadero "La Rueda", Municipio de Ocampo, Coahuila. Folleto de divulgación, vol. II, num. 11. UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- Vásquez A., R., J.A. Villarreal Q., M. Vásquez R, E.E. Sosa R. y R. Meza S. 1996. Las plantas de pastizales del Campo Experimental de Zonas Áridas "Noria de Guadalupe", Municipio de Concepción del Oro, Zac. Folleto de divulgación, vol. III, num. 5. UAAAN, Saltillo, Coah., México.
- Walter, C.C., and H.V. Wrant. 1968. Silviculture of slash pine. S.F. Austin State College. Sch. of Nacogdoches. Bull 16, Texas, USA. pp. 113-115.
- Wiggins, I.L. 1980. Flora of Baja California. Stanford Univ. Press, Stanford, CA., USA.
- Willan, R.L. (ed.). 1991. Guía para la manipulación de semillas forestales; con especial referencia a los trópicos. Centro de semillas forestales de DANIDA, FAO, Roma, Italia. 502 p.
- Zamudio S., E. 1991. El pino y su importancia ecológica y socioeconómica. Memorias del IV simposio nacional sobre pinos piñoneros. UANL, CONACyT y UAT, Cd. Victoria, Tamps., México. pp. 17-19.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa-Noriega eds., México.

APENDICE

Cuadro A.1. Principales indicadores climáticos de la localidad en estudio ^(†).

Año	Temperatura media anual °C ^(¶)			Temperatura extrema °C		Precipitación anual mm	Humedad relativa %	Evaporación media anual cm
	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Mínima			
1989	24.2	17.2	10.3	35.0	-5.7	279.1	65	202.54
1990	23.6	17.4	11.1	34.2	-5.6	545.0	79	182.00
1991	23.7	17.2	10.8	34.2	-3.4	435.6	81	173.42
1992	23.1	16.5	9.9	33.3	-5.8	530.3	83	167.29
1993	23.8	16.7	9.7	34.0	-3.4	480.1	76	167.38
1994	24.5	17.1	9.8	32.6	-4.0	314.8	75	167.90
1995	24.4	16.8	9.3	35.2	-3.6	331.6	84	181.80
1996	24.6	17.6	10.5	34.3	-7.7	316.2	69	148.93
1997	23.6	16.8	10.2	33.0	-8.2	535.8	63	146.05
1998	25.2	18.3	11.3	36.5	-2.0	469.3	61	165.42
1999	25.2	17.7	10.3	34.5	-5.6	271.6	54	160.24
Media	24.2	17.2	10.3	34.3	-5.0	410.0	72	169

^(†) Fuente: UAAAAN, 2000.^(¶) °C = Grado centígrado; mm = Milímetro; % = Por ciento; cm = Centímetro.Cuadro A.2. Ocurrencia mensual de heladas y granizadas para el periodo 1995-1999^(†).

Mes	E ^(¶)	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Año	H ^(§)	H	G	H	G	H	G	G	G	H	H	H
1995	12	4		5						2		13
1996	13	10		11	3	1	1			4	8	7
1997	14	5		1	1		1		1	3	2	13
1998	10	7	2	6			1	1	1	5	11	
1999	11	2		2	1		1	1	1			10

^(†) Fuente: UAAAAN, 2000.^(¶) E = Enero; F = Febrero; M = Marzo; A = Abril; M = Mayo; J = Junio; J = Julio; A = Agosto; S = Septiembre; O = Octubre; N = Noviembre; D = Diciembre.^(§) H = Helada; G = Granizada.

Cuadro A.3. Características del suelo en las cuatro parcelas experimentales^(†).

CONCEPTO	PARCELAS			
	1	2	3	4
Observaciones del sitio				
Altura (msnm)	2030	1820	1920	1800
Exposición	Noroeste	Noroeste	Oeste	Noroeste
Geoforma	Montañosa (abanco aluvial)	Montañosa (abanco aluvial)	Montañosa (parte inicial de piedemonte)	Montañosa (ladera de piedemonte)
Pendiente (%)	22-25	10-12	14-16	9-11
Drenaje superficial	Rápido	Moderado	Moderado	Moderado
Erosión				
Tipo	Hídrica	Hídrica	Hídrica	Hídrica
Forma	Laminar	Laminar	Laminar y acanalada	Laminar
Grado	Severa	Severa	Severa	Moderada
Pedregosidad superficial				
Posición	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Cantidad (%)	90	70	95	80
Tamaño	Heterométrica	Heterométrica	Heterométrica	Heterométrica
Naturaleza	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza
Uso actual	Plantación forestal (<i>Pinus</i> <i>cembroides</i>)	Plantación forestal (<i>Pinus</i> <i>cembroides</i>)	Plantación forestal (<i>Pinus</i> <i>cembroides</i>)	Plantación forestal (<i>Pinus</i> <i>halepensis</i>)
Observaciones generales del perfil				
Material parental	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza
Grado de desarrollo	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Drenaje interno	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Manto freático	Muy profundo	Muy profundo	Muy profundo	Muy profundo
Clasificación del suelo superficial				
Orden	Molisol	Molisol	Entisol	Entisol

^(†) Fuente: Mejía, 1985; Mejía, 1986; Donahue et. al., 1981.

Cuadro A.3.continuación.

CONCEPTO	PARCELAS			
	1	2	3	4
Descripción de horizontes				
Relieve	Horizontal	horizontal	horizontal	horizontal
Horizonte	Ap	Ap	Ap	Ap
Espesor (cm)	32	22	37	13
Profundidad (cm)	0-32	0-22	0-37	0-13
Color en seco	10YR 2/1 (negro)	10YR 3/1.5 (negro)	10YR 2/1 (negro)	2.5Y 6/2 (gris oscuro)
Color en húmedo	10YR 2/0.5 (negro)	10YR 2/1 (negro)	10YR 2/0.5 (negro)	10YR 3/1 (gris oscuro)
Textura	Franco gravosa	Franco arenosa	Franco gravosa	Franco arenosa
Consistencia				
Seco	Firme	Firme	Muy firme	Suelta
Húmedo	Ligeramente firme	Ligeramente pegajosa	Firme	Arenosa
Saturado	Pegajosa y plástica	Medianamente pegajosa	Ligeramente plástica y pegajosa	Arenosa
Permeabilidad	Media	Media	Media	Media
Fragmentos rocosos y minerales				
Cantidad (%)	80	60	80	80
Forma	Subangular	Subangular	Angular	Subangular
Tamaño	Heterométrico	Heterométrico	Medio a pequeño	Heterométrico
Naturaleza	Caliza	Caliza	Caliza	Caliza
Meteorización	Moderada	Moderada	Baja	Moderada
Reacción HCl	Moderada	Moderada	Ligera	Moderada
Reacción H ₂ O ₂	Ligera	Ligera	Moderada	Ligera
Horizonte	AB	AC	-	-
Espesor (cm)	17	20	-	-
Profundidad (cm)	32-49	22-42	-	-
Color en seco	10YR 2/2.5 (gris claro)	10YR 7/2.5 (gris claro)	-	-
Color en húmedo	10YR 3/2 (gris claro)	10YR 5/3 (gris claro)	-	-

Cuadro A.3.continuación.

CONCEPTO	PARCELAS			
	1	2	3	4
Textura	Franco gravosa	Franco arenosa	-	-
Consistencia				
Seco	Firme	Suelta	-	-
Húmedo	Ligeramente firme	Suelta	-	-
Saturado	Suelta y ligeramente pegajosa	Arenosa	-	-
Permeabilidad	Media	Media	-	-
Fragmentos rocosos y minerales				
Cantidad (%)	80	40	-	-
Forma	Subangular	Subangular	-	-
Tamaño	Heterométrico	Heterométrico	-	-
Naturaleza	Caliza	Caliza	-	-
Meteorización	Moderada	Moderada-alta	-	-
Reacción HCl	Moderada	Fuerte	-	-
Reacción H ₂ O ₂	Muy ligera	-	-	-
Horizonte	B	-	-	-
Espesor (cm)	10	-	-	-
Profundidad (cm)	49-59	-	-	-
Color en seco	5YR 6.5/1 (gris rojizo)	-	-	-
Color en húmedo	5YR 4/2 (gris rojizo)	-	-	-
Textura	Franco arcillo arenosa	-	-	-
Consistencia				
Seco	Suelta	-	-	-
Húmedo	Suelta	-	-	-
Saturado	Ligeramente pegajosa y plástica	-	-	-
Permeabilidad	Media	-	-	-

Cuadro A.3.continuación.

CONCEPTO	PARCELAS			
	1	2	3	4
Fragmentos rocosos y minerales				
Cantidad (%)	20	-	-	-
Forma	Granular	-	-	-
Tamaño	Pequeño	-	-	-
Naturaleza	Calizas	-	-	-
Meteorización	Alta	-	-	-
Reacción HCL	Fuerte	-	-	-
Reacción H ₂ O ₂	-	-	-	-
Horizonte	Petrocálcico	Petrocálcico	C	C
Espesor (cm)	-	-	37X	35
Profundidad (cm)	-	-	37	13-48
Color en seco	-	-	Gris claro	5Y 8/0.5 (blanquecino)
Color en húmedo	-	-	Gris claro	10YR 7/6 (blanquecino)
Textura	-	-	Franco-gravosa	Franco-arcillosa
Consistencia				
Seco	-	-	Muy firme	Suelta
Húmedo	-	-	Ligeramente pegajosa	Arcillosa
Saturado	-	-	-	Arcillosa
Permeabilidad	-	-	Baja	-
Fragmentos rocosos y minerales				
Cantidad (%)	-	-	-	-
Forma	-	-	-	-
Tamaño	-	-	-	-
Naturaleza	-	-	Caliza	Caliza
Meteorización	-	-	Moderada	-
Reacción HCL	-	-	-	Fuerte
Reacción H ₂ O ₂	-	-	-	-

Cuadro A.4. Especies preponderantes de flora, fauna e insectos, asociadas a las plantaciones de *Pinus cembroides* y *P. halepensis* en las parcelas experimentales.

Concepto	Especies asociadas
Parcela 1	
<u>Flora</u> ^(†)	<i>Gutierrezia sarothrae</i> (escobilla), <i>Thymophylla setifolia</i> (parraleña peluda), <i>Cercocarpus montanus</i> (conchilla), <i>Chrysactinia mexicana</i> (hierba de San Nicolás), <i>Agave gentryi</i> (maguey serrano), <i>Rhus virens</i> (lantrisco), <i>Brickellia veronicaefolia</i> (quebradora), <i>Juniperus monosperma</i> (enebro), <i>Fraxinus cuspidata</i> (fresnillo), <i>Quercus saltilensis</i> (encinillo), <i>Q. intricata</i> (charrasquillo), <i>Q. greggii</i> (encino), <i>Cercis canadensis</i> (duraznillo), <i>Opuntia lindheimeri</i> (nopal kakanapo), <i>O. tunicata</i> (claveina), <i>O. imbricata</i> (coyonoxtle), <i>O. rastrera</i> (nopal rastrero), <i>Cowania plicata</i> (rosa de castilla), <i>Piptochaetium fimbriatum</i> (pastillo del pinar), <i>Mimosa biuncifera</i> (gatuño), <i>Berberis trifoliolata</i> (agrito), <i>Lycurus phleoides</i> (zacate lobero), <i>Erioneuron pilosum</i> (zacate peludo), <i>Stipa</i> sp. (zacate agujilla), <i>Muhlenbergia</i> sp. (zacate cambray), <i>Bouteloua curtipendula</i> (zacate banderita), <i>B. gracilis</i> (zacate navajita azul), <i>Aristida glauca</i> (zacate tres barbas).
<u>Fauna</u> ^(¶)	<i>Lepus californicus</i> (Liebre), <i>Sylvilagus floridanus</i> (conejo de monte), <i>Odocoileus virginianus</i> (venado cola blanca), <i>Canis latrans</i> (coyote), <i>Callipepla squamata</i> (codorniz), <i>Geococcyx californianus</i> (correcaminos), <i>Buteus jamaicensis</i> (halconcillo cola roja), <i>Coragyps atratus</i> (zopilote), <i>Zenaida macroura</i> (huilota), <i>Rattus rattus</i> (rata), <i>Rattus norvegicus</i> (rata noruega), <i>Mus musculus</i> (ratón de monte), <i>Crotalus adamanteus</i> (víbora de cascabel), <i>Didelphys marsupialis</i> (tlacuache), <i>Sciurus allenii</i> (ardilla gris), <i>Sciurus niger</i> (ardilla rojiza).
<u>Insectos</u> y <u>hongos</u> ^(§)	<i>Phloesinus serratus</i> (descortezador), <i>Phytophthora</i> sp. (descortezador), <i>Conophthorus cembroides</i> (carpófago), <i>Leptoglossus occidentalis</i> (carpófago), <i>Eucosma bobana</i> (carpófago), <i>Retinia arizonensis</i> (barrenador de yemas), <i>Danaus plexippus</i> (mariposa monarca), <i>Dothiorella</i> sp. (fungosis del ciprés), <i>Fusarium subglutinans</i> (fungosis radical).
Parcela 2	
<u>Flora</u>	<i>Euphorbia prostrata</i> (hierba de la golondrina), <i>Agave lechuguilla</i> (lechuguilla), <i>Hymenoxys scaposa</i> (hierba amargosa), <i>Allium kunthii</i> (lila de los llanos), <i>Wedelia acapulcensis</i> , <i>Calylophus tubicola</i> (amarolilla), <i>Sanvitalia ocymoides</i> , <i>Thymophylla setifolia</i> (parraleña peluda), <i>Opuntia</i> sp. (nopal), <i>Verbesina longifolia</i> , <i>V. encelioides</i> (hediondilla), <i>Nolina cespitosifera</i> (cortadillo), <i>Condalia warnockii</i> , <i>C. spathulata</i> (tecomblate), <i>Calliandra eriophylla</i> , <i>Erioneuron avenaceum</i> (zacate peludo), <i>Mecardonia vandellioides</i> , <i>Setaria</i> sp. (zacate tempranero), <i>Bouteloua curtipendula</i> (zacate banderita), <i>B. hirsuta</i> (zacate navajita velluda), <i>Muhlenbergia</i> sp. (zacate cambray), <i>Stipa</i> sp. (zacate agujilla).

Cuadro A.5.continuación.

Parcela 4

<u>Flora</u>	<i>Croton dioicus</i> (hierba del gato), <i>Berberis eutraphylla</i> (agrito), <i>Ephedra aspera</i> (popotillo), <i>Thymophylla</i> sp. (hierba del perro), <i>Condalia spathulata</i> (tecomblate), <i>Amelanchier denticulata</i> (madronillo), <i>Reseda luteola</i> (gualda), <i>Carex</i> sp., <i>Zinnia acerosa</i> (hierba del burro), <i>Gutierrezia sarothrae</i> (escobilla), <i>Dalea lanata</i> (engorda cabras), <i>Agave lechuguilla</i> (lechuguilla), <i>Agave</i> sp. (maguey), <i>Mimosa biuncifera</i> (gatuño), <i>M. zygophylla</i> (gatuño), <i>Gymnosperma glutinosum</i> (tatalencho), <i>Bouteloua curtipendula</i> (zacate banderita), <i>B. gracilis</i> (zacate navajita), <i>Aristida glauca</i> (zacate tres barbas), <i>Leptochloa dubia</i> (zacate gigante), <i>Panicum hallii</i> (zacate rizado), <i>Tridens</i> sp. (zacate tridente), <i>Andropogon glomeratus</i> (zacate popotillo matorralero), <i>Digitaria californica</i> (zacate punta blanca), <i>Buchloe dactyloides</i> , <i>Muhlenbergia</i> sp. (zacate telaraña), <i>Lycurus phleoides</i> (zacate lobero), <i>Hilaria belangeri</i> (zacate mezquite).
<u>Fauna</u>	Lepus californicus (Liebre), Sylvilagus floridanus (conejo de monte), Odocoileus virginianus (venado cola blanca), Canis latrans (coyote), Callipepla squamata (codorniz), Geococcyx californianus (correcaminos), Buteus jamaicensis (halconcillo cola roja), Coragyps atratus (zopilote), Zenaida macroura (huilota), Rattus rattus (rata), Rattus norvegicus (rata noruega), Mus musculus (ratón de monte), Crotalus adamanteus (víbora de cascabel), topo, Didelphys marsupialis (tlacuache), Sciurus allenii (ardilla gris), Sciurus niger (ardilla rojiza).
<u>Insectos y hongos</u>	<i>Phloesinus serratus</i> (descortezador), <i>Phytophthora</i> sp. (descortezador), <i>Conophthorus cembroides</i> (carpófago), <i>Leptoglossus occidentalis</i> (carpófago), <i>Eucosma bobana</i> (carpófago), <i>Retinia arizonensis</i> (barrenador de yemas), <i>Danaus plexippus</i> (mariposa monarca), <i>Dothiorella</i> sp. (fungosis del ciprés), <i>Fusarium subglutinans</i> (fungosis radical).

(†). Fuentes: Martínez, 1979; Vásquez et al., 1991; Vásquez et al., 1996; Vásquez et al., 1997; Vásquez et al., 1989; Alanís, 1996.

(‡). Fuentes: Leopold, 1977; Rodríguez, 1998.

(§). Fuentes: Flores, 1997; Ramírez, 1986; Flores y López, 1995.

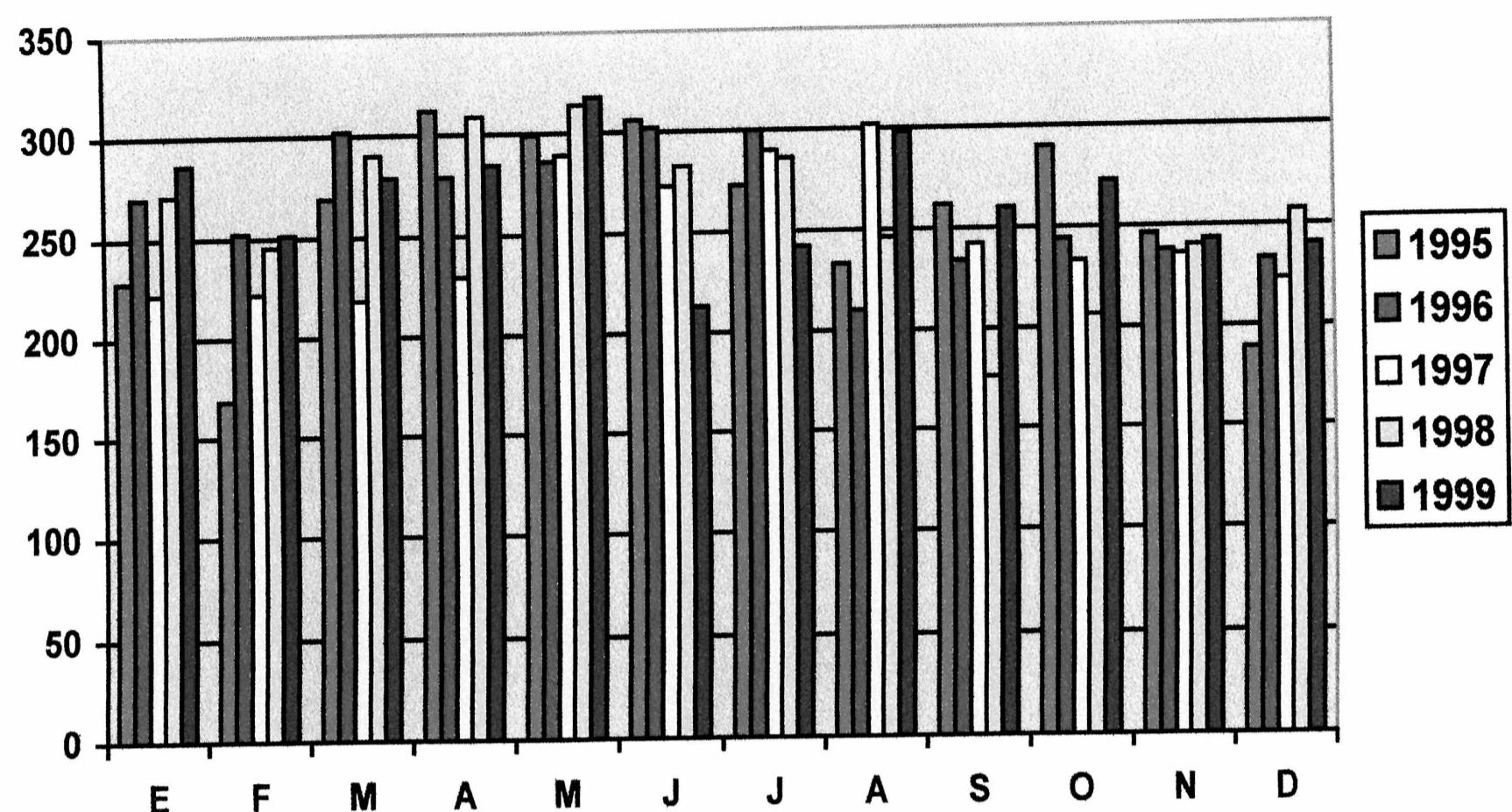


Figura A.1. Insolación mensual (eje X) en total de horas (eje Y) durante el periodo 1995–1999.

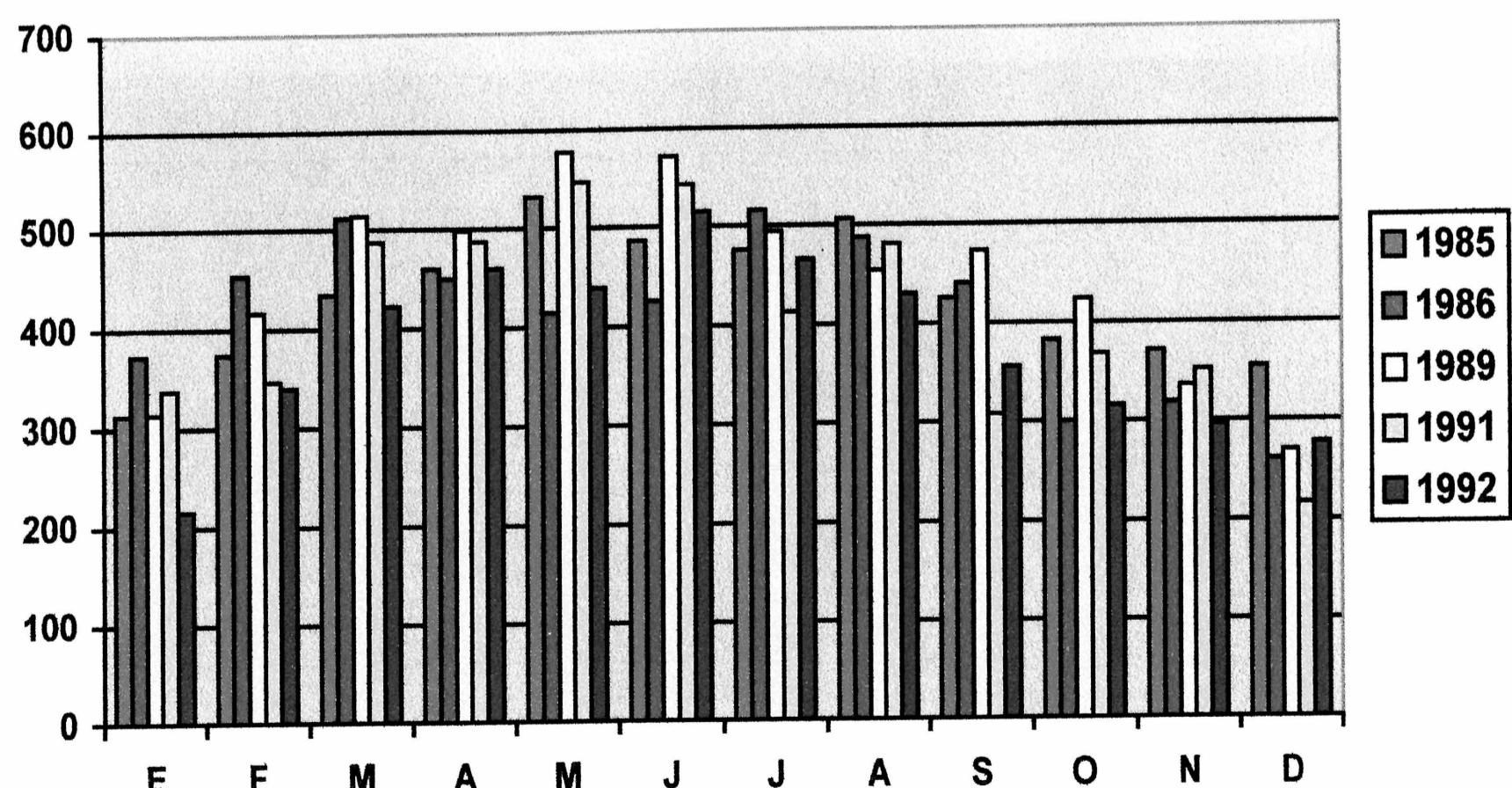


Figura A.2. Insolación mensual (eje X) en calorías (eje Y) para los años 1985, 1986, 1989, 1991 y 1992.

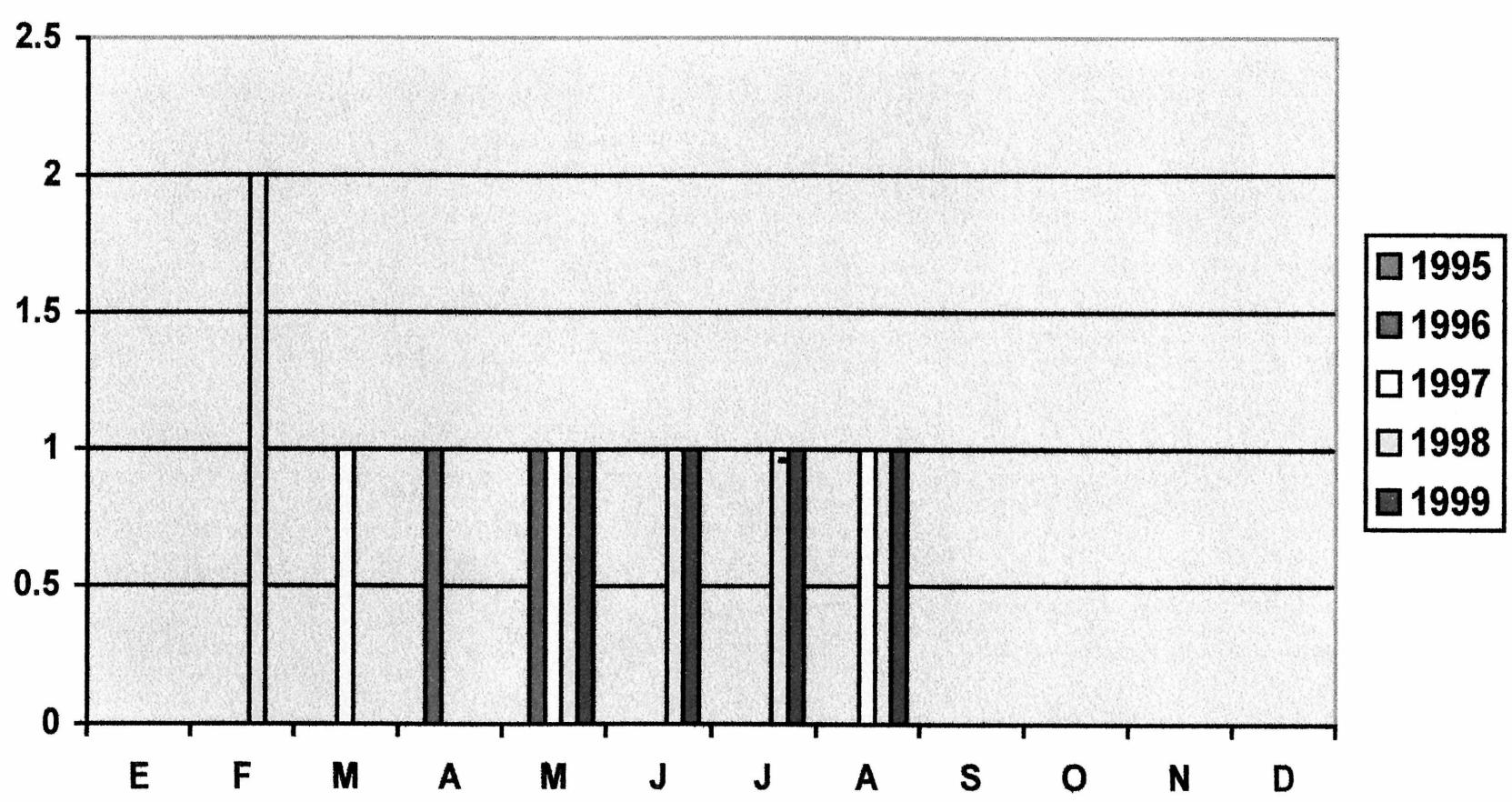


Figura A.3. Ocurrencia mensual (eje X) de granizadas (eje Y) en el área de estudio (1995–1999).

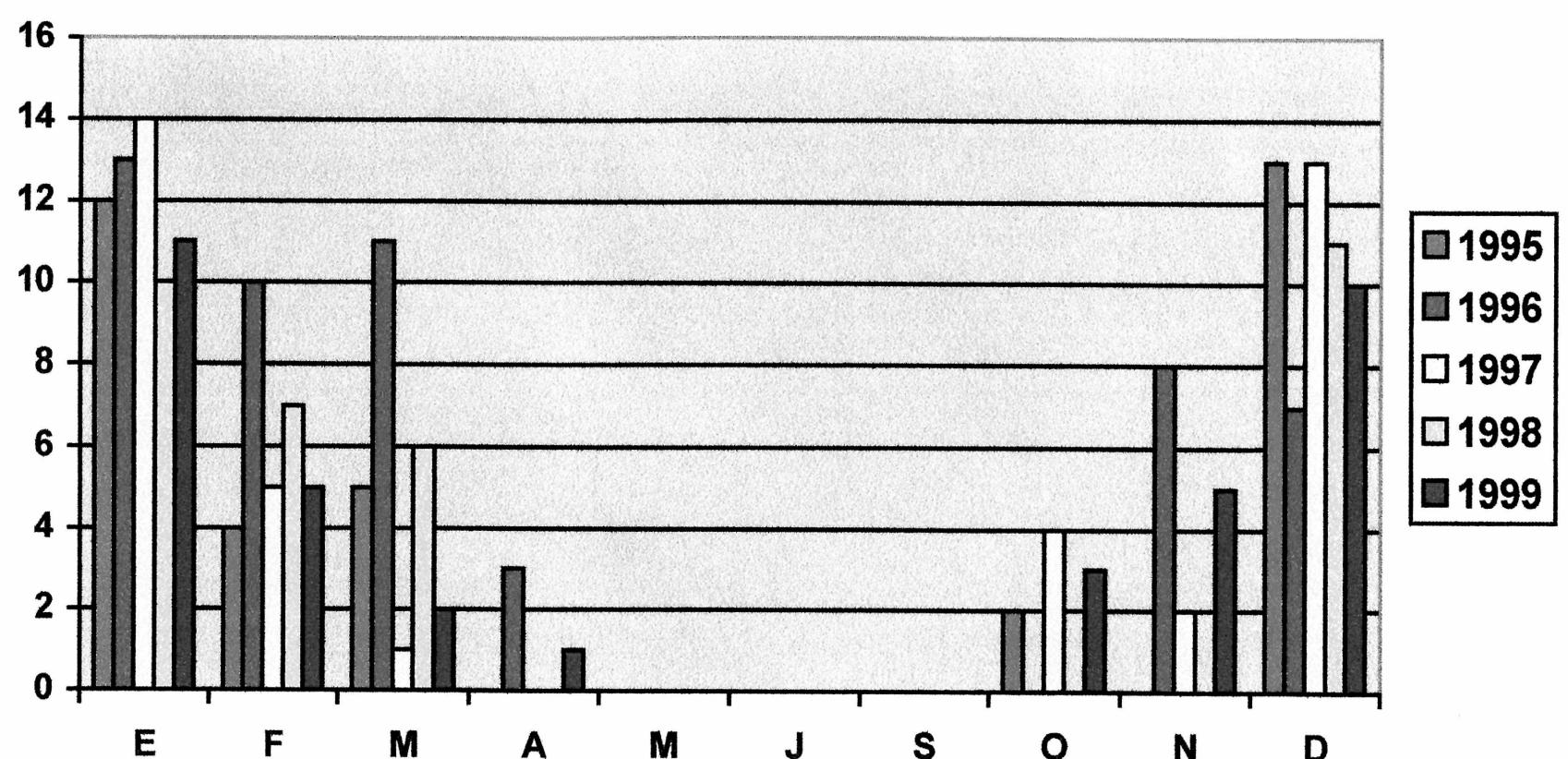


Figura A.4. Ocurrencia mensual (eje X) de heladas (eje Y) en el área de estudio (1995 - 1999).