

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCION
DE PLANTA DE *Pinus* spp. EN VIVERO Y EN SU
ESTABLECIMIENTO EN CAMPO

Por

JOSE ANGEL PRIETO RUIZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad en
Manejo de Recursos Naturales

Linares, N. L.

Octubre de 2004

FD
Z599 1
FCF
2004
.P7

JOSE ANGEL PRIETO RUIZ



1020150010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN
DE PLANTA DE *Pinus* spp. EN VIVERO Y EN SU
ESTABLECIMIENTO EN CAMPO**

Por

JOSÉ ÁNGEL PRIETO RUÍZ

**Como requisito parcial para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS con Especialidad
en Manejo de Recursos Naturales**

Linares, N.L.

Octubre de 2004

985 331

TD
25991
FCF
2004
7



FONDO
TELSIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN
DE PLANTA DE *Pinus* spp. EN VIVERO Y EN
SU ESTABLECIMIENTO EN CAMPO**

T E S I S

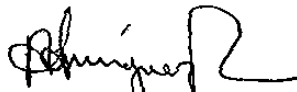
Para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales**

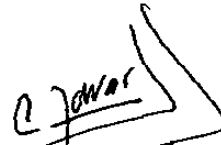
Presentada por:

JOSÉ ÁNGEL PRIETO RUÍZ

COMITÉ DE TESIS



**Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros
PRESIDENTE**



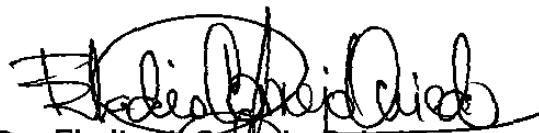
**Dr. José de Jesús Nívar Chaidez
SECRETARIO**



**Dr. Javier Jiménez Pérez
PRIMER VOCAL**



**Dr. José Guadalupe Marmolejo Moncivais
SEGUNDO VOCAL**



**Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo
TERCER VOCAL**

Linares, N.L.

Octubre de 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

**FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN
DE PLANTA DE *Pinus* spp. EN VIVERO Y EN
SU ESTABLECIMIENTO EN CAMPO**

T E S I S

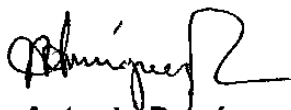
Para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

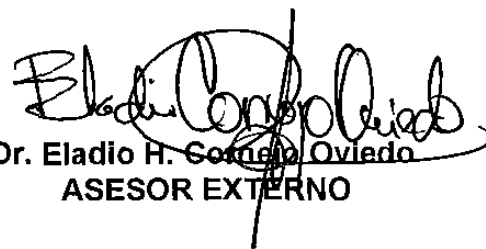
con Especialidad en Manejo de Recursos Naturales

Presentada por:

JOSÉ ÁNGEL PRIETO RUÍZ



**Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros
DIRECTOR DE TESIS**



**Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo
ASESOR EXTERNO**

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por el apoyo brindado para realizar el Programa de Doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de mis estudios.

A la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León, por la oportunidad dada de formar parte de su Programa Doctoral y por los conocimientos ofrecidos a través de su personal académico.

Al Dr. Pedro Antonio Domínguez Calleros, asesor principal, por su atinada dirección, por el apoyo brindado y constantes orientaciones y por la confianza depositada en mi persona para tomar decisiones.

Al Dr. Eladio Cornejo Oviedo, asesor externo, por su incondicional y constante apoyo, por su acertada asesoría y por compartir sus experiencias y disposición de ayuda, sin escatimar esfuerzo para lograr el cumplimiento de los objetivos.

Al Dr. José de Jesús Nívar Chaidez, asesor, por su paciencia y enorme contribución para mejorar los ensayos de investigación realizados y por compartir en el aula sus excelentes conocimientos y experiencia profesional.

Al Dr. José Guadalupe Marmolejo Moncivais y al Dr. Javier Jiménez Pérez, asesores, por su disponibilidad de apoyo y colaboración en la revisión de la tesis y comentarios para mejorarla.

Al Dr. Homero Salinas González y Dr. Hugo Ramírez Maldonado, por creer en este proyecto y por el apoyo otorgado para encauzar el Programa de manera oficial en el INIFAP.

A los técnicos de campo del INIFAP-Durango: C. Francisco Javier Falcón Falcón y TIF Francisco Javier Chávez Olivas, por su apoyo constante en el desarrollo de los experimentos tanto en vivero como en campo.

A la Fundación Produce Durango, A.C., por el apoyo económico otorgado a través del Proyecto Bosque Modelo Durango, para la ejecución de los trabajos de campo.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango, quien a través del Dr. Hiram Medrano Roldán y Dr. Rubén González Laredo, impulsaron y apoyaron este proyecto que ahora se hace realidad.

Al Ejido Pueblo Nuevo, quien a través de su personal técnico: Ing. Rufino Meraz Alemán e Ing. Jesús Fisher, así como su personal de campo, como Don Sévero Delgado, apoyaron en el trabajo de campo realizado en Santa Lucía, P.N., Dgo.

A los propietarios del Predio Particular El Carmen, Dgo., Dgo., quien a través de su Administrador, Sr. Sergio Fierro Morales, dieron las facilidades para el establecimiento de parcelas experimentales en dicha área.

A Juan B. Rentería Anima, por su amistad y compañerismo durante el desarrollo de este Programa Doctoral.

A la Srita Sandra Cano, por su eficiente trabajo e incansable labor de apoyo, a pesar de sus múltiples ocupaciones.

Al M.C. Arnulfo Pajarito Ravelero, por entender la importancia de la superación académica y apoyarme cuando fue necesario.

Al Ing. José Quiroz Arratia, por las facilidades de tiempo otorgadas cuando lo necesité.

Al Dr. Ciro Hernández Díaz, por su siempre valiosa colaboración cuando se requirió.

A toda las personas que de manera involuntaria omití, pero que en algo contribuyeron a la formación de mi Programa Doctoral.

DEDICATORIA

A mi esposa Rosa Bertha. Por su amor, confianza, motivación y apoyo siempre incondicional, desde que los senderos de la vida nos unieron en un solo camino.

A mis hijos Erick y Luis Carlos. Razones importantes de mi vida, con el deseo de que sean ejemplo de vida ante la sociedad.

A mis Padres: José de la Luz (qepd) y Felipa, y hermanos(as): Flora, Elsa, Aurelia, María de la Luz, Guadalupe y Blas. Por los lazos de sangre que nos unen y amor que siempre he sentido en Ustedes.

A la familia Trujillo Barraza. (especialmente a la Sra. Bertha Barraza). Por integrarme a su familia y sentir su aprecio y amistad hacia mi persona.

A los viveristas y plantadores de Durango, por su noble labor en bien de la naturaleza, que mucho nos ha dado.

ÍNDICE

	Página
Índice de figuras.....	vii
Índice de cuadros.....	x
RESUMEN GENERAL.....	xi
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 EXPERIMENTOS DESARROLLADOS.....	4
1.3 ESPECIES ESTUDIADAS.....	5
1.4 LITERATURA CITADA.....	5
2. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE <i>Pinus engelmannii</i> CARR., EN VIVERO.....	8
2.1 RESUMEN.....	8
2.2 SUMMARY.....	9
2.3 INTRODUCCIÓN.....	10
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
2.4.1 Características del área de estudio.....	11
2.4.2 Condiciones de producción y siembra.....	11
2.4.3 Diseño experimental y tratamientos utilizados.....	12
2.4.4 Variables evaluadas.....	13
2.4.5 Modelo experimental y análisis estadístico.....	14
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
2.5.1 Fase de establecimiento.....	14
2.5.2 Fase de crecimiento rápido.....	17
2.5.3 Fase de preacondicionamiento.....	20
2.6 CONCLUSIONES.....	27
2.7 LITERATURA CITADA.....	28
3. ESTRÉS HÍDRICO EN <i>Pinus engelmannii</i> CARR., PRODUCIDO EN VIVERO.....	32
3.1 RESUMEN.....	32

3.2 SUMMARY.....	33
3.3 INTRODUCCIÓN.....	33
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
3.4.1 Localización y características del área de estudio.....	35
3.4.2 Condiciones de producción y siembra.....	36
3.4.3 Aplicación de fertilizantes y fungicidas.....	36
3.4.4 Tratamientos utilizados y diseño experimental.....	36
3.4.5 Evaluación.....	37
3.4.6 Variables evaluadas.....	38
3.4.7 Modelo experimental y análisis estadístico.....	39
3.5 RESULTADOS.....	40
3.5.1 Potencial hídrico de las plantas.....	40
3.5.2 Morfología de las plantas.....	43
3.6 DISCUSIÓN	45
3.6.1 Potencial hídrico de las plantas.....	45
3.6.2 Morfología de las plantas.....	46
3.7 CONCLUSIONES.....	48
3.8 LITERATURA CITADA.....	49
4. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE <i>Pinus cooperi</i> BLANCO EN VIVERO	55
4.1 RESUMEN.....	55
4.2 SUMMARY.....	56
4.3 INTRODUCCIÓN.....	56
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
4.4.1 Condiciones de producción y siembra.....	58
4.4.2 Tratamientos evaluados y diseño experimental.....	59
4.4.3 Variables evaluadas.....	61
4.4.4 Modelo experimental y análisis estadístico.....	61
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.5.1 Fase de establecimiento.....	62
4.5.2 Fase de crecimiento rápido.....	64
4.5.3 Fase de preacondicionamiento.....	65
4.6 CONCLUSIONES.....	72

4.7 LITERATURA CITADA.....	73
5. EFECTO DEL TAMAÑO DE ENVASE Y DEL RIEGO EN VIVERO, EN LA SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE <i>Pinus cooperi</i> BLANCO PLANTADO EN DOS SITIOS.....	78
5.1 RESUMEN.....	78
5.2 SUMMARY.....	79
5.3 INTRODUCCIÓN.....	79
5.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	81
5.4.1 Características de las áreas de estudio	81
5.4.2 Tratamientos evaluados y diseño experimental.....	82
5.4.3 Modelo experimental y análisis estadístico.....	84
5.4.4 Preparación del sitio.....	84
5.4.5 Manejo de la planta y plantación.....	85
5.4.6 Variables evaluadas.....	85
5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	86
5.5.1 Tamaños de envase.....	86
5.5.2 Frecuencia de riegos.....	91
5.5.3 Condiciones del sitio.....	96
5.6 CONCLUSIONES.....	101
5.7 LITERATURA CITADA.....	102
6. IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA.....	108

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 2.1	Valores medios de N-P-K asimilado en el follaje de plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a 17 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Durango, Dgo.....	18
Figura 2.2	Aspecto morfológico de las plantas por tratamiento, a las 22 semanas de edad en la evaluación final.....	21
Figura 2.3	Diámetro por tratamiento en <i>Pinus engelmannii</i> , durante su crecimiento en vivero en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	22
Figura 2.4	Producción de fitomasa total por tratamiento en <i>Pinus engelmannii</i> , durante su crecimiento en vivero en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	22
Figura 2.5	Valores medios de N-P-K asimilado en el follaje de plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Dgo., Dgo.....	24
Figura 3.1	Potencial hídrico (Ψ) en las plantas por tratamiento durante los tres ciclos de estrés hídrico evaluados.....	41
Figura 3.2	Contenido gravimétrico de humedad promedio del sustrato, por fecha de evaluación, en los tres ciclos de estrés hídrico evaluados.....	42
Figura 3.3	Variación del potencial hídrico de las plantas con relación al contenido gravimétrico de humedad en el sustrato.....	43
Figura 4.1	Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 12 semanas de edad producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	62
Figura 4.2	Crecimiento en altura y diámetro (A) y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 12 semanas de edad producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	63

Figura 4.3	Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 25 semanas de edad producidas, en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	64
Figura 4.4	Crecimiento en altura y diámetro (A) y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 25 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	65
Figura 4.5	Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	66
Figura 4.6	Características morfológicas de la planta a las 31 semanas de edad, producida en envases de 80 y 170 cm ³ de volumen en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Dgo., Dgo.....	67
Figura 4.7	Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo...	68
Figura 4.8	Aspecto morfológico de la planta a las 31 semanas de edad por rutina de fertilización, evaluadas en la fase de preacondicionamiento: A) 50:136:363 ppm N-P-K, B) 75-205-545 ppm N-P-K y C) 100-272-726 ppm N-P-K.....	69
Figura 4.9	Niveles de nutrimentos asimilados por las plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Durango, Dgo.	71
Figura 4.10	Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por frecuencia de riego, en plantas de <i>Pinus cooperi</i> a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	72
Figura 5.1	Ubicación de los sitios donde se produjo la planta y se plantó: Dgo., Dgo, Predio Particular el Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.....	82
Figura 5.2	Aspecto de los sitios después de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. (izquierda) y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. (derecha).....	85

Figura 5.3	Supervivencia a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase.....	87
Figura 5.4	Diámetro del cuello a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase.....	88
Figura 5.5	Altura a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase.....	89
Figura 5.6	Producción de fitomasa en <i>Pinus cooperi</i> a los 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase.....	90
Figura 5.7	Supervivencia de <i>Pinus cooperi</i> a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de preacondicionamiento.....	92
Figura 5.8	Diámetro del cuello a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de preacondicionamiento	93
Figura 5.9	Altura de las plantas a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de preacondicionamiento	94
Figura 5.10	Producción de fitomasa en <i>Pinus cooperi</i> , por régimen de riego en vivero en la fase de preacondicionamiento, a los 18 meses de plantado.....	95
Figura 5.11	Supervivencia a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.....	97
Figura 5.12	Diámetro del cuello de las plantas por sitio de plantación a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.....	98
Figura 5.13	Altura de las plantas por sitio de plantación a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.....	99
Figura 5.14	Producción de fitomasa seca de <i>Pinus cooperi</i> Blanco, a los 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 2.1 Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.....	13
Cuadro 2.2 Valores medios de altura, diámetro del cuello y fitomasa de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a siete semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.	15
Cuadro 2.3 Valores medios de altura, diámetro del cuello y fitomasa de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a 17 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	17
Cuadro 2.4 Valores medios de altura, diámetro del cuello y fitomasa de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.....	20
Cuadro 2.5 Valores medios de macro y micro nutrimentos asimilados en el follaje de plantas de <i>Pinus engelmannii</i> a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Durango, Dgo.....	25
Cuadro 3.1 Temperatura y humedad relativa prevalecientes durante el ensayo (21 de Septiembre a 27 de Octubre de 2003).....	35
Cuadro 3.2 Resultados de las variables morfológicas en planta sin y con estrés hídrico al inicio del experimento (21 de septiembre de 2003) y al final del mismo (27 de octubre de 2003).....	44
Cuadro 4.1 Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.....	59
Cuadro 5.1 Características físico-químicas de los sitios de plantación.....	83

RESUMEN GENERAL

Durante el período Octubre de 2001 a Marzo de 2004, se realizaron tres experimentos en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Durango, Dgo. Además, uno de ellos tuvo continuidad en campo, al ser plantado en dos sitios: predio particular El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. En este capítulo se presentan a manera de resumen los resultados obtenidos.

a) Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. Se evaluaron siete rutinas de fertilización y un testigo, considerando las fases de crecimiento de las plantas: establecimiento, crecimiento rápido y preacondicionamiento. Los mejores resultados se obtuvieron cuando se fertilizó con Peters Professional™ en dosis de 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, aplicadas en las respectivas fases de crecimiento de las plantas; así como la combinación de Multicote™ (5 kg m⁻³ de sustrato) y Peters professional™ en las tres rutinas evaluadas. Sin embargo, se recomienda utilizar Peters Professional™ debido a que implica aplicar menos fertilizante. El tratamiento sin fertilizar produjo la planta de menor calidad.

b) Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. producido en vivero. Se evaluó el efecto del estrés hídrico en el potencial hídrico y en el crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii*. Se encontraron diferencias significativas en el potencial hídrico de las plantas a partir del tercer día posterior al riego. Las plantas sometidas a estrés hídrico alcanzaron valores de -1.96 a -2.29 MPa. Por el contrario, cuando estuvieron sin estrés variaron entre -0.13 y -0.20 MPa. La respuesta morfológica de las plantas mostró dos vertientes definidas; en el tratamiento sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (20.7%), diámetro del cuello (69.4%) y producción total de fitomasa (144.1%); mientras que en la

condición de estrés los incrementos fueron menores en altura (1.3%), diámetro del cuello (9.8%) y fitomasa total (73.1%).

c) Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. Se evaluó el efecto de tres factores en el crecimiento y supervivencia de *Pinus cooperi* en vivero. Los factores estudiados fueron: a) dos tamaños de envase: 80 y 170 cm³ de volumen, b) tres rutinas de fertilización, con diferentes proporciones de nitrógeno, fósforo y potasio, con dosis que variaron en las tres fases de crecimiento de las plantas y c) tres frecuencias de riego aplicadas cada 48, 96 y 168 horas durante la fase de precondicionamiento. La planta producida en el envase de 170 cm³ fue superior en altura, diámetro y producción de fitomasa, con excepción de la supervivencia. Las rutinas de fertilización no tuvieron efectos significativos en las variables estudiadas. El riego cada 48 horas influyó en las variables medidas, con excepción de la supervivencia y la lignificación.

d) Efecto del tamaño de envase y frecuencias de riego en vivero, en la supervivencia y crecimiento de *Pinus cooperi* Blanco, plantado en dos sitios. En seguimiento al experimento anterior, se plantó planta cultivada en dos tamaños de envase y regada en la fase de precondicionamiento en tres intervalos de tiempo. Además, el material se plantó en dos sitios: predio particular El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., distantes entre sí a 75 km. A los 18 meses de plantado se encontró que la planta producida en el envase de 170 cm³ de volumen favoreció mejor el crecimiento en diámetro con 9.26 mm y producción total de fitomasa con 19.0 g. El riego cada 96 horas resultó superior estadísticamente en el diámetro con 9.17 mm y producción de fitomasa con 17.9 g. La supervivencia y la altura tuvieron resultados similares en los factores tamaño de envase y frecuencia de riegos. El efecto del sitio de plantación sólo influyó en la supervivencia y el crecimiento en altura. La supervivencia fue mayor en el sitio ubicado en El Carmen con 85.6%, mientras que el crecimiento en altura sobresalió en Santa Lucía con 18.5 cm.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Diversos esfuerzos se han realizado para revertir el proceso de deterioro de los recursos forestales a nivel mundial y entre ellos destaca la reforestación de 5 millones de hectáreas año⁻¹. Sin embargo, la pérdida anual de 9.4 millones de hectáreas es aún significativa (FAO, 2002). Desafortunadamente, en México la degradación de los recursos forestales forma parte importante de la problemática de este sector (SEMARNAT-CONAFOR, 2001). En la década de los noventa se deforestaron en promedio 630,000 hectáreas año⁻¹ (FAO, 2002; CONAFOR, 2004a).

Las causas de deforestación y degradación de los recursos forestales en México son: cambio de uso del suelo para agricultura y ganadería, principalmente en zonas de clima tropical, incidencia de incendios forestales, mortalidad del arbolado por ataque de plagas y enfermedades, tala ilegal e insuficiencia de regeneración natural (SARH, 1994; SEMARNAP, 1996; SEMARNAT-CONAFOR, 2001). Para contrarrestar dichos efectos adversos, en 1995 el Gobierno Federal creó el Programa Nacional de Reforestación (PRONARE) con la finalidad de incrementar las áreas forestales a través del establecimiento de plantaciones forestales que garanticen altas tasas de supervivencia y crecimiento (SEMARNAP, 1998). Sin embargo, anualmente sólo se han reforestado en promedio 200,000 hectáreas (FAO, 2002; CONAFOR, 2004a), lo que implica un déficit de 400,000 hectáreas año⁻¹.

Además, se reportan bajas tasas de supervivencia en campo. En evaluaciones realizadas a mediados de la década de 1990 en plantaciones de un año de edad, se encontró que la supervivencia fue menor al 50% (Mexal, 1996), y a pesar de que para los años 2000 y 2001 dichos porcentajes aumentaron a un 72 y 67%,

respectivamente (CONAFOR, 2004b), las tasas de supervivencia y crecimiento deben mejorarse e incluso, la misma CONAFOR (2004a) señala que cuando el objetivo es restaurar áreas, las tasas de supervivencia al año de plantado son de alrededor del 35%.

Las causas de mortalidad de la planta en campo se atribuyen a: a) baja calidad genética del germoplasma y deficiencias en su manejo, b) selección inadecuada de especies y procedencias, c) baja calidad de la planta, d) inadecuada época de plantación, e) insuficiente preparación del sitio, f) deficientes técnicas de plantación, g) carencia de protección contra incendios y pastoreo y h) mínimo seguimiento a plantaciones (Mexal, 1996; SEMARNAT-CONAFOR, 2001; CONAFOR, 2004b).

En el caso del estado de Durango, pese a que es el segundo estado en superficie forestal, con 5'484,421 hectáreas de bosques (SARH, 1994) y que durante el período 1990-2001 ocupó el primer lugar nacional en producción maderable con 2'082,000 m³ta (SEMARNAT, 2002), los recursos forestales han estado sujetos a una deforestación y degradación constante. SARH (1994) estima que existían 872,000 hectáreas perturbadas, destruidas y/o alteradas parcial o totalmente. En contraste a lo anterior, en los últimos 10 años a través del PRONARE anualmente se producen en promedio siete millones de plantas en los 21 viveros forestales que existen en Durango. Esto permite reforestar cerca de 3,000 hectáreas año⁻¹. Sin embargo, evaluaciones de campo en plantaciones de un año de edad establecidas en 2001, indican que la supervivencia fue del 61%, atribuyéndose parte de las causas de mortalidad a la deficiente calidad de la planta (Universidad Autónoma de Tlaxcala, 2002).

Para lograr que las reforestaciones sean exitosas, es necesario desarrollar en forma eficiente los diversos aspectos que cubre la cadena productiva: recolección de germoplasma, producción de planta en vivero, establecimiento de plantaciones y mantenimiento de las mismas (SEMARNAP, 1998). El uso de germoplasma apropiado en origen y calidad es fundamental para lograr el propósito de las

plantaciones (Rose *et al.*, 1990). Las prácticas de vivero permiten definir el tipo de planta que se requiere producir, considerando las características del sitio de plantación (Scagel *et al.*, 1998). En tanto, la etapa de establecimiento tiene relación directa con el manejo de la planta, la preparación del sitio, la fecha de plantación y la plantación misma, entre otros. Finalmente, dar mantenimiento a las plantaciones favorece su supervivencia y crecimiento; y evaluar su comportamiento permite una mejor planeación de las estrategias de manejo.

En los últimos años se ha hecho énfasis en la importancia que tiene la calidad de la planta en la supervivencia y crecimiento en el sitio de plantación, aspecto que depende en gran medida de las prácticas de manejo en vivero (Johnson y Cline, 1991; Toral, 1997; Landis, 2002). Para garantizar que la planta tenga los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados en vivero, es necesario que las prácticas de manejo consideren las características de la planta objetivo a producir y las condiciones del sitio de plantación. Un adecuado proceso en vivero requiere de la aplicación integrada y eficaz de un conjunto de prácticas culturales relacionadas con sustratos, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, prevención y control de plagas y enfermedades y manejo de las condiciones ambientales.

En Estados Unidos de Norteamérica, la tecnología para producir planta forestal en contenedores rígidos ha sido desarrollada durante las últimas tres décadas (Moreno, 2000). En cambio, en México dicho proceso data de la última década, ya que hasta principios de 1990 prevaleció el sistema tradicional basado en la producción de planta en condiciones ambientales de intemperie, sistema que contrasta con el de contenedores rígidos, que considera el uso de condiciones ambientales más controladas, la utilización de sustratos artificiales y el suministro de nutrimentos en forma controlada.

1.2 EXPERIMENTOS DESARROLLADOS

Dado que la producción de planta en vivero así como su establecimiento en campo, son etapas fundamentales en la supervivencia y crecimiento inicial de las plantas y debido a que todavía existen deficiencias técnicas en dichos procesos, este documento presenta los resultados de tres experimentos realizados en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Durango, Dgo. y uno establecido en campo en las localidades predio particular El Carmen, Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.

Los experimentos desarrollados se presentan bajo el formato de artículo científico, de tal manera que pueden ser leídos en forma independiente, los cuales son:

- a) Efecto de la fertilización en la producción de planta de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero.
- b) Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr. producido en vivero.
- c) Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero.
- d) Efecto del tamaño de envase y frecuencias de riego en vivero, en la supervivencia y crecimiento de *Pinus cooperi* Blanco.

Los resultados obtenidos contribuirán a mejorar los procesos productivos en vivero y en consecuencia ayudarán a incrementar las tasas de supervivencia y crecimiento en los sitios de plantación. La tecnología generada puede tener aplicación en las condiciones de producción de los 21 viveros del estado de Durango, que actualmente producen siete millones de planta a través del PRONARE, entre las que destacan las especies estudiadas: *Pinus engelmannii* y *Pinus cooperi*.

1.3 ESPECIES ESTUDIADAS

Las especies *Pinus engelmannii* y *Pinus cooperi*, destacan por tener amplia distribución y abundancia en los bosques de clima templado de la Sierra Madre Occidental, al habitar en bosques puros o mixtos con otras especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*. Estas especies se encuentran entre las más aprovechadas para la extracción de madera. *Pinus engelmannii* habita entre los 23° 15' y 32° 00' N y entre los 03° 30' y 111° 10' W, en altitudes que van de los 1600 a los 2500 m. Por su parte, *Pinus cooperi* se encuentra entre los 23° 00' y 26° 30' N y entre los 104° 40' y 106° 50' W, en un rango de altitud de 1800 a 2700 m (Eguiluz, 1977; García y González, 1998). Para el caso del estado de Durango, estas especies son de las más demandadas por la buena calidad de su madera y las más utilizadas en los programas de reforestación que realiza el PRONARE, coordinado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR).

1.4 LITERATURA CITADA

- CONAFOR. 2004a. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (PNMRGF). Documento técnico. SEMARNAT-CONAFOR. Zapopan, Jalisco. 35 p.
- CONAFOR. 2004b. Evaluaciones PRONARE 2000, 2001. Consultado en: http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/evaluaciones/index.html. Julio 2004.
- EGUILUZ P. T., 1977. Los pinos del mundo. Pub. esp. N°. 1. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 74 p.
- FAO. 2002. Global Forest Resources Assessment 2000. Main Report. FAO Forestry Paper 140. Consultado en: <http://www.fao.org/forestry/fo/fra/main/index.jsp> Junio 2003.

- GARCÍA A. A., GONZÁLEZ E., S. 1998. Pináceas de Durango. CIIDIR-IPN. Instituto de Ecología, A.C. Durango, México.
- JOHNSON, J.D.; CLINE, M.L. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Duryea, M.L. and Dougherty, P.M. (eds.) Forest Regeneration Manual. Lluver Academic Pub. Netherlands. pp: 143-159.
- LANDIS, T.D. 2002. The target seedling concept. A tool for better communication between nurseries and their customers. *In*: Riley, L.E., Dumroese, R.K., Landis, T.D., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings RMRS-P-28. Ogden, Ut. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 31-36.
- MEXAL, J.G. 1996. Forest nurseries activities in Mexico. *In*: Landis, T.D.; South, D.D., Tech. coords. National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-389. Portland, Oregon. USDA. Forest Service, Pacific Northwest Research Station. pp 228-232.
- MORENO T., R.E. 2000. Observaciones de un viverista y productor de planta forestal en la región del Pacífico Noroeste de Estados Unidos. *In*: Primer Congreso Nacional de Reforestación. Dirección General del Programa Nacional de Reforestación. SEMARNAP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- ROSE, R.; CARLSON, W.C.; MORGAN, P. 1990. The target seedling concept. *In*: Rose, R.; S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.) Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. Gen. Tech. Rep. RM-200. Fort Collins, Co. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. pp. 1-8.
- SARH. 1994. Inventario Nacional Periódico. Memoria Nacional. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. SARH. México. D.F.

- SCAGEL R.; MADILL M.; KOOISTRA C.; BOWDEN R. 1998. Provincial Seedling Stock Type Selection and Ordering Guidelines. Province of British Columbia. Ministry of Forests. Canada. 71 p.
- SEMARNAP. 1996. Programa sectorial 1995-2000. Subsecretaría de Recursos Naturales. SEMARNAP, México, D.F.
- SEMARNAP. 1998. Metodología para la evaluación técnica de la reforestación. SEMARNAP. México, D.F.
- SEMARNAT-CONAFOR. 2001. Programa Nacional Forestal 2001-2006. Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006. SEMARNAT-CONAFOR. Guadalajara, Jalisco. 143 p.
- SEMARNAT. 2002. Producción Forestal Maderable por Entidad Federativa 1990-2001. Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental. SEMARNAT. México, D.F.
- TORAL I. M., 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento técnico No. 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Fundación Chile. Consejo Agropecuario de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE TLAXCALA. 2002. Programa Nacional de Reforestación. Ejercicio 2002. Durango. CONAFOR. Coordinación General de Conservación y Restauración. Coordinación General de Planeación e Información. PRONARE. Zapopan, Jalisco. 92 p.

CAPÍTULO 2

EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus engelmannii* CARR. EN VIVERO¹

2.1 RESUMEN

La fertilización es, después del riego, la práctica de mayor influencia en la producción de planta. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y un testigo en la supervivencia, crecimiento y asimilación de nutrimentos en planta de *Pinus engelmannii* Carr., producida en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Durango, Dgo. Las rutinas de fertilización se aplicaron en cada fase de crecimiento de las plantas: establecimiento, crecimiento rápido y preacondicionamiento. El efecto del testigo y de las rutinas de fertilización se evaluó con un control y con los fertilizantes comerciales Multicote™ y Peters Professional™, empleados en forma separada y combinada. El Multicote™ se utilizó en dosis de 5 kg m⁻³ de sustrato. Peters Professional™ se aplicó en tres rutinas de fertilización con diferentes proporciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con dosis que variaron en cada fase de crecimiento. Después de cinco meses y medio de crecimiento de las plantas, los resultados más sobresalientes se obtuvieron cuando se fertilizó con Peters Professional™ en la rutina con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento; así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización evaluadas. El testigo produjo la planta de menor calidad. La asimilación de nutrimentos fue apropiada para la mayoría de los tratamientos, excepto para el testigo y el Multicote™ adicionado solo. Con base a los resultados

¹ Enviado para su publicación a la Revista "Ciencia Forestal en México"

de este estudio, se recomienda utilizar Peters Professional™ en la rutina señalada anteriormente debido a que implica aplicar menos fertilizante.

Palabras clave: *Pinus engelmannii*, planta objetivo, rutinas de fertilización, fases de crecimiento, nutrimentos.

2.2 SUMMARY

Fertilization, after the irrigation, is the most important practice for seedling production. The objective was to evaluate the effect of seven fertilizer combinations and one control on the survival, growth and nutrient assimilation of seedlings of *Pinus engelmannii* Carr., grown in a greenhouse at the Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP Durango, Dgo, México. The seven fertilizer combinations were applied at each seedling growth phase: establishment, fast growth and preconditioning. A control and two commercial fertilizers were used to test for fertilization effect. Multicote™ and Peters Professional™, separated and combined, were applied. Multicote™ was used at doses of 5 kg m⁻³. Peters Professional™ was applied at three fertilization routines with different nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) doses accordingly to each seedling growth phase. After five and half months, it was found that the best results corresponded to the Peters Professional™ at doses of 50:125:101, 100:15:79 and 40:109:290 N-P-K ppm, respectively, applied at each seedling growth phases and the combination of Multicote™ and Peters Professional™ applied at three fertilization routines. The control had the poorest seedling quality. Nutrient assimilation was appropriate for most of the treatments except for the control and Multicote™ applied separated. Base on the results Peters Professional™ is recommended, because less fertilization is applied.

Key Words: *Pinus engelmannii*, target seedling, fertilization routines, growth phases, nutrients.

2.3 INTRODUCCIÓN

La calidad de la planta es importante debido a que tiene relación directa con su capacidad para adaptarse, sobrevivir y desarrollarse en el sitio de plantación (Johnson y Cline, 1991). Para garantizar que la planta tenga los atributos morfológicos y fisiológicos apropiados en vivero, las prácticas de manejo deben considerar las características de la planta objetivo a producir y las condiciones del sitio de plantación. Un adecuado proceso en vivero requiere de la aplicación integrada y eficaz de un conjunto de técnicas relacionadas con sustratos, envases, fertilizantes, micorrizas, riego, control de plagas y enfermedades, y manejo de las condiciones ambientales.

La fertilización es, después del riego, la práctica que más influye en el crecimiento de las plantas al incidir en los procesos fisiológicos, tales como la regulación del crecimiento, el flujo de energía y la síntesis de complejos orgánicos moleculares (Landis *et al.*, 1989). Las necesidades de nutrimentos varían entre especies y conforme se desarrollan; esto crea la necesidad de formular programas de fertilización en función de análisis foliares en las plantas, de manera que puedan ser fijados rangos por fase de crecimiento de las plantas y se consideren dosis-respuesta para determinar la eficiencia del programa (Birchler *et al.*, 1998).

La concentración de cada nutrimento es el aspecto más importante de la fertilización. El elemento que más influye en el crecimiento de las plantas es el nitrógeno y las formulaciones usadas en los programas de fertilización se realizan con base en este elemento o a relaciones entre los macronutrimentos principales (Landis *et al.*, 1989). Debido al escaso conocimiento sobre las necesidades nutritivas de las plantas, la aplicación de fertilizantes en muchos casos es empírica o se generaliza para todas las especies con base en recomendaciones provenientes de otras regiones o de los proveedores de fertilizantes.

Debido a lo anterior, este estudio tuvo como objetivos: a) evaluar el efecto de siete rutinas de fertilización y la de un testigo, en la supervivencia y crecimiento

de plantas de *Pinus engelmannii* durante su producción en vivero, b) analizar el efecto que tiene el suministro de fertilizantes en cada fase de crecimiento, c) determinar la cantidad de micro y macro nutrientes absorbidos en las plantas, y d) identificar las rutinas de fertilización más eficaces.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Características del área de estudio

El estudio se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Durango, Dgo., a 24° 01' N y 104° 44' W, a 1830 m de altitud. La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico y malla sombra del 35%. Durante la fase de preacondicionamiento se eliminó el efecto de invernadero y se dejó a las plantas en condiciones ambientales de intemperie. Las temperaturas promedio mínima y máxima durante el desarrollo del experimento fueron de 13.2 y 36.6°C, respectivamente; mientras que la humedad relativa promedio mínima y máxima fue de 22.5 y 91.2%, respectivamente.

2.4.2 Condiciones de producción y siembra

El sustrato utilizado consistió en una mezcla compuesta por turba al 55%, vermiculita al 24% y agrolita al 21%, cuyas características físico-químicas más importantes fueron: pH de 4.26, conductividad eléctrica de 3.69, nitrógeno total de 1.37% y materia orgánica de 86.2%. Como envase se emplearon charolas de poliestireno de 77 cavidades y 170 cm³ de volumen por cavidad. La semilla se recolectó en noviembre de 2002, de rodales naturales localizados en el ejido San Isidro, Durango, Dgo., a 23° 40' 23'' N y 105° 02' 14'' W, a 2483 m de altitud. La siembra se realizó el 31 de marzo de 2003, después de que la semilla se remojó en agua durante 24 horas y se desinfectó 10 minutos en una solución compuesta por nueve partes de agua y una parte de cloro comercial al 6%. Para evitar daños por Damping off la semilla fue impregnada con el fungicida Promyl™.

2.4.3 Diseño experimental y tratamientos utilizados

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completamente al azar, teniéndose cuatro repeticiones por tratamiento. Las charolas de cada bloque se rotaron cada diez días para evitar efectos ambientales. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 77 plantas, de las cuales sólo se evaluaron las 45 (5x9) centrales.

Se evaluaron siete rutinas de fertilización basadas en Multicote™ y/o Peters Professional™, además de tener a un testigo (Cuadro 2.1). Multicote™ es un fertilizante granulado que tarda en liberarse de 9 a 11 meses, cuya formulación N-P-K (porcentaje de nitrógeno-porcentaje de P₂O₅-porcentaje de K₂O) fue de 15:07:15 y se añadió a las rutinas de fertilización que les correspondía durante el mezclado del sustrato en dosis de 5 kg m⁻³. En cambio, Peters Professional™ es soluble en agua y se caracteriza por tener diferentes proporciones de N-P-K en cada fase de crecimiento que caracterizan a las plantas en vivero: a) fase de establecimiento: Peters iniciador™ (7:40:17 N-P-K), b) fase de crecimiento rápido: Peters desarrollo™ (20:7:19 N-P-K), y c) fase de preacondicionamiento: Peters finalizador™ (4:25:35 N-P-K). Dichas proporciones de nutrimentos sirvieron de base para calcular las dosis evaluadas mediante la fórmula (Landis *et al.*, 1989):

$$\text{Cantidad de fertilizante (g L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{partes por millón deseadas}}{\text{contenido del nutrimento (\%)}} \times 0.1$$

Las características que definen a cada fase de crecimiento de las plantas son: (Landis *et al.*, 1989): a) fase de establecimiento, se considera desde la germinación hasta su estadio cotiledonar, desarrollada del 8 de mayo al 11 de junio de 2003, b) fase de crecimiento rápido, ocurre a partir de que las plantas presentan la yema en crecimiento hasta que se logra la altura objetivo, período que duró del 13 de junio al 13 de agosto de 2003 y c) fase de preacondicionamiento, comprende desde que cesa el crecimiento en altura hasta

que la planta sale del vivero, realizada del 15 de agosto al 19 de septiembre de 2003. Peters Professional™ se aplicó cada 48 horas.

Cuadro 2.1 Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.

Rutina de fertilización	Establecimiento	Crecimiento rápido	Preacondicionamiento
T	Testigo (T)	Testigo (T)	Testigo (T)
R1	Multicote* (M)	Multicote (M)	Multicote (M)
R2	50:125:101** (P50)	100:15:79 (P100)	40:109:290 (P40)
R3	100:250:202 (P100)	200:30:158 (P200)	70:191:508 (P70)
R4	150:375:303 (P150)	300:45:237 (P300)	100:273:726 (P100)
R5	Multicote + 50:125:101 (M+P50)	Multicote + 100:15:79 (M+P100)	Multicote + 40:109:290 (M+P40)
R6	Multicote + 100:250:202 (M+P100)	Multicote + 200:30:158 (M+P200)	Multicote + 70:191:508 (M+P70)
R7	Multicote + 150:375:303 (M+P150)	Multicote + 300:45:237 (M+P300)	Multicote + 100:273:726 (M+P100)

* Se aplicó en dosis de 5 kg m⁻³ de sustrato. **Peters professional™.

2.4.4 Variables evaluadas

Al final de cada fase de crecimiento en forma aleatoria se extrajeron ocho plantas por unidad experimental, evaluándose: a) altura de la parte aérea, se midió desde la base del tallo hasta la yema apical, b) diámetro del cuello, se registró en la unión del tallo y raíz, c) fitomasa seca de la parte aérea, del sistema radical y total, se cuantificó después de secar las muestras durante 72 horas, separadas en parte aérea y sistema radical, en una estufa a 72°C y d) asimilación de nutrimentos, mediante análisis foliares se determinó la cantidad de nutrimentos absorbidos en el follaje de las plantas; esta variable se registró sólo al finalizar las fases de crecimiento rápido y de preacondicionamiento. Además, en la evaluación final se determinó la supervivencia y con el fin de normalizar los datos, éstos fueron transformados a la función arco seno.

2.4.5 Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo experimental utilizado para el análisis estadístico fue (Martínez, 1988):

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

Donde: Y_{ij} = variable respuesta, dada por la supervivencia, altura, diámetro, fitomasa seca y asimilación de nutrimentos, μ = promedio general que contempla a las diferentes fuentes de variación, β_j = efecto j-ésimo bloque, τ_i = efecto del i-ésimo tratamiento, ε_{ij} = error experimental ij.

El análisis estadístico de los datos consistió en análisis de varianza realizados a través del paquete Statistical Analysis System (SAS), utilizándose el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Fase de establecimiento

Las variables respuesta, con excepción de la altura que varió de 4.3 a 5.1 cm, tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al efecto de las rutinas de fertilización aplicadas durante el establecimiento de las plantas. Sin embargo, con excepción de la rutina de fertilización donde sólo se aplicó Multicote™ (R1), la cual fue superior al tratamiento R4 en cuatro variables, en los demás tratamientos no existen tendencias claras de predominio de las dosis de fertilizantes aplicadas, ya que la mayoría de las variables quedaron ubicadas en el grupo estadístico superior.

Cuadro 2.2 Valores medios de altura, diámetro del cuello y fitomasa de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a siete semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

Rutina de fertilización	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Fitomasa seca (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	4.5 a	1.4 ab	0.14 bc	0.04 ab	0.18 ab
R1: (M)	5.1 a	1.6 a	0.20 a	0.05 a	0.25 a
R2: (P50)	4.8 a	1.4 ab	0.16 abc	0.03 ab	0.19 ab
R3: (P100)	4.3 a	1.4 ab	0.15 abc	0.04 ab	0.19 ab
R4: (P150)	4.3 a	1.3 b	0.11 c	0.03 b	0.14 b
R5: (M+P50)	4.9 a	1.5 ab	0.19 ab	0.03 ab	0.22 a
R6: (M+P100)	4.9 a	1.5 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a
R7: (M+P150)	4.9 a	1.4 a	0.19 ab	0.04 ab	0.23 a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de establecimiento señalada en el Cuadro 2.1.

Pese a que la planta tenía siete semanas de edad al finalizar la fase de establecimiento y a que los tratamientos se aplicaron durante cinco semanas, el efecto de los nutrimentos aplicados en los tratamientos evaluados con respecto al testigo, sólo mostró diferencias estadísticas en la producción de fitomasa de la parte aérea con respecto a la planta fertilizada con Multicote™. Esto se confirma con la prueba de contrastes ortogonales donde se encontró que el testigo no tuvo diferencias significativas con respecto al grupo de tratamientos fertilizados con Peters Professional™ (R2, R3 y R4) y con los tratamientos compuestos por ambos fertilizantes (R4, R5 y R6), con excepción de la producción de fitomasa de la parte aérea y total, para la última comparación. También debe destacarse que el tratamiento R1 fue el más consistente en las variables evaluadas, al mantenerse siempre en el grupo estadístico superior, sin estar ligado a otros grupos estadísticos, tal como sucedió en los demás tratamientos.

Actualmente existe controversia sobre la necesidad de fertilizar durante la fase de establecimiento. Carlson (1983) señala que las plantas empiezan a utilizar los nutrientes 10 a 14 días posterior a la germinación. En contraste, Van den Driessche (1984) indica que las plantas muestran poca respuesta a la adición de fertilizante durante las primeras seis semanas después de germinadas y asevera que el efecto se manifiesta después de la etapa cotiledonar. Mientras tanto, Barnett y Brissette (1986) aseveran que retardar la fertilización inicial afecta el crecimiento, pero el suministro de nutrientes debe ser bajo para evitar crecimientos iniciales excesivos. Por su parte, Landis *et al.* (1989) mencionan que algunos autores consideran innecesaria la fertilización temprana, debido a que el tejido de reserva contiene los nutrientes suficientes para el crecimiento inicial de las plantas.

Landis *et al.* (1989) y Starkey (2002) recomiendan aplicar 50 ppm de nitrógeno. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, las especies con hábito cespitoso son fertilizadas diariamente con 75 ppm de nitrógeno, mientras que en coníferas de rápido crecimiento incorporan de 50 a 75 ppm. Las dosis de Peters Professional™ utilizadas en este ensayo para la fase de establecimiento fueron de 50:125:101 ppm N-P-K, 100:250:202 ppm N-P-K y 150:375:303 ppm N-P-K y aunque los niveles de los nutrientes parecen altos, debe considerarse que se fertilizó cada 48 horas, a diferencia de las señaladas en la literatura que corresponden a dosis diarias.

Debido a que la finalidad de la fase de establecimiento de las plantas es lograr que el sistema radical de las plantas se establezca en el medio de crecimiento, las concentraciones de fósforo y potasio superaron en más del doble al nitrógeno, ya que el fósforo favorece el crecimiento de las raíces y la formación de la yema; mientras que el potasio también contribuye al crecimiento de las raíces y ayuda a mejorar la resistencia de las plantas a posibles daños por plagas y/o enfermedades; en cambio, el nitrógeno influye en el crecimiento en altura (Dumroese *et al.*, 1998).

2.5.2 Fase de crecimiento rápido

Las variables evaluadas tuvieron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$); aunque, en el caso de la producción de fitomasa de la parte aérea y total, sólo el testigo resultó inferior. En el resto de variables existieron resultados similares entre los tratamientos utilizados sin una tendencia definida, con excepción del testigo donde se produjo la planta con los atributos morfológicos menores (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Valores medios de altura, diámetro del cuello y peso anhidro de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

Rutina de fertilización	Altura (cm)		Diámetro (mm)		Fitomasa seca (g)					
					Parte aérea	Raíz	Total			
T	5.8	c	2.5	c	0.43	b	0.24	b	0.67	b
R1: (M)	11.1	ab	3.4	ab	1.15	a	0.39	a	1.54	a
R2: (P100)	12.0	ab	3.6	ab	1.28	a	0.31	ab	1.59	a
R3 (P200)	10.8	b	3.3	ab	1.12	a	0.26	b	1.38	a
R4: (P300)	11.2	ab	3.2	b	1.08	a	0.21	b	1.29	a
R5: (M+P100)	12.4	ab	3.5	ab	1.32	a	0.32	ab	1.64	a
R6: (M+P200)	12.8	a	3.7	a	1.32	a	0.32	ab	1.64	a
R7: (M+P300)	12.5	ab	3.3	ab	1.16	a	0.26	b	1.42	a

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de crecimiento rápido señalada en el Cuadro 2.1.

La influencia de los tratamientos aplicados hasta la fase de crecimiento rápido, considera también el efecto acumulado de la fase de establecimiento. En el testigo, las plantas manifestaron efectos adversos a partir de la fase de crecimiento rápido. En cambio, la planta fertilizada con Multicote™ (R1) continuó su crecimiento en forma favorable, al mantenerse todas las variables evaluadas en el grupo estadístico superior, situación que también sucedió cuando se fertilizó con ambos fertilizantes (R5, R6 y R7), con excepción de R7 para la fitomasa del

sistema radical. En el caso de los tratamientos fertilizados con Peters Professional™ (R2, R3, R4), los resultados fueron más favorables en el tratamiento R2, el cual correspondió a la dosis menor.

La absorción de nutrimentos en el follaje de las plantas mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al efecto de los tratamientos. En el nitrógeno sobresalieron las rutinas de fertilización R4, R7, R6, R3 y R5 con valores de 2.6 a 2.8%; posteriormente, quedaron los tratamientos R2 y R1 con 2.03 y 1.61%, respectivamente y el efecto menor ocurrió en el testigo con 0.86% (Figura 2.1). Las cantidades de nitrógeno asimilado en las plantas por tratamiento, con excepción del testigo, quedaron en el rango de 1.3 a 3.5%, recomendado por Landis *et al.* (1989) y CEFORA (1994).

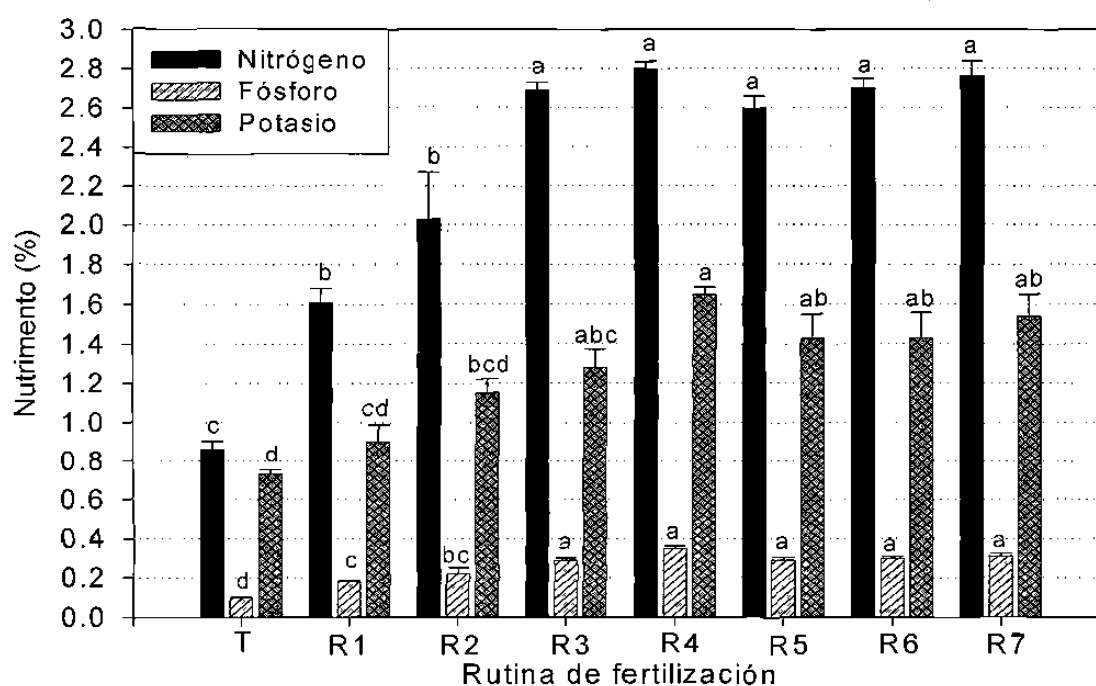


Figura 2.1 Valores medios de N-P-K asimilado en el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 17 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Durango, Dgo. Letras diferentes para el mismo nutrimento indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Respecto al fósforo, los tratamientos de mayor efecto fueron los mismos donde sobresalió el nitrógeno, seguido por el R2, R1 y el testigo (Figura 2.1). El rango apropiado para este nutrimento debe estar entre 0.2 y 0.6% (Landis *et al.*, 1989), en el cual quedaron los tratamientos evaluados, con excepción del T y el R1 que asimilaron 0.10 y 0.18%, respectivamente.

Con relación al potasio, las plantas lo asimilaron mejor en el tratamiento R4, ubicándose después los tratamientos R7, R5 y R6. Nuevamente, los tratamientos T y R1 tuvieron los valores menores. El rango recomendado para este nutrimento es de 0.7 a 2.5% (CEFORA, 1994), en el cual quedaron todos los tratamientos evaluados.

En los tratamientos donde las plantas absorbieron mayor cantidad de nutrimentos, el crecimiento de las plantas en general fue favorable. Aunque el efecto de la fertilización con Multicote™ propició un buen crecimiento de las plantas, los nutrimentos asimilados por las plantas fueron bajos y estuvieron en el rango mínimo recomendado para que las plantas crezcan adecuadamente. En cambio, el testigo produjo la planta de menor calidad debido a que los nutrimentos absorbidos fueron insuficientes por la falta de fertilización.

Landis *et al.* (1989) indican que los viveristas de Estados Unidos aplican en la fase de crecimiento rápido de 55 a 260 ppm de nitrógeno, pero el nivel ideal debe fluctuar entre 100 y 150 ppm; dosis mayores a 250 ppm promueven un crecimiento suculento de la parte aérea y genera desequilibrio de la relación parte aérea-raíz. Esta situación no sucedió en este ensayo a pesar de que la dosis mayor fue de 300 ppm, pero con fertilizaciones cada 48 horas. Por su parte, Starkey (2002) recomienda incorporar 200 ppm de nitrógeno durante 14 a 16 semanas. Aldana y Aguilera (2002) señalan que en el Vivero Militar de Sayula, Jalisco, aplican diariamente de 100 a 120 ppm de nitrógeno durante 10 semanas.

2.5.3 Fase de preacondicionamiento

Las variables respuesta, con excepción de la supervivencia que fue superior al 98% en todos los tratamientos, sobresalieron en forma más consistente en los tratamientos R2, R5, R6 y R7 al ubicarse en el nivel estadístico en todas las variables. Posteriormente, se ubicó el tratamiento R3. Finalmente, los efectos menores sucedieron en los tratamientos R1, R4 y el testigo; este último tuvo deficiencias morfológicas debido a la no aplicación de fertilizante (Cuadro 2.4; Figura 2.2).

Cuadro 2.4 Valores medios de altura, diámetro del cuello y fitomasa de la parte aérea, raíz y total, por tratamiento, en plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro (mm)	Peso anhidro (g)		
			Parte aérea	Raíz	Total
T	6.9 c	3.0 d	0.57 e	0.34 c	0.91 d
R1: (M)	14.0 b	5.0 bc	2.23 d	0.86 a	3.09 b
R2: (P40)	17.2 a	5.4 ab	2.89 a	0.80 a	3.69 a
R3: (P70)	16.8 a	5.1 abc	2.30 bcd	0.76 a	3.06 b
R4: (P100)	17.2 a	4.8 c	1.97 d	0.55 b	2.52 c
R5: (M+P40)	18.3 a	5.7 a	2.53 abc	0.77 a	3.30 ab
R6: (M+P70)	16.8 a	5.6 a	2.77 a	0.76 a	3.53 ab
R7: (M+P100)	18.3 a	5.4 ab	2.68 ab	0.75 a	3.43 ab

Prueba de Tukey. Letras diferentes para la misma columna indican diferencias significativas ($p < 0.05$). Nota: La clave entre paréntesis de la primera columna corresponde al tratamiento aplicado en la fase de preacondicionamiento señalada en el Cuadro 2.1.

En estos resultados destacó el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ en la dosis más baja (R2), lo que contrasta con las rutinas R3 y R4, donde se produjo planta con atributos morfológicos de menor calidad, a pesar de haber aplicado dosis mayores. Cuando se utilizaron ambos fertilizantes, los resultados fueron similares, con una ligera superioridad de la rutina R6 en la

mayoría de las variables evaluadas, lo que indica que el aumento de la dosis de nitrógeno no favoreció el crecimiento de las plantas. En cambio, cuando se comparó el grupo de tratamientos fertilizados con Peters Professional™ con relación a los tratamientos donde se fertilizó con ambos fertilizantes (R5, R6 y R7), el último grupo resultó superior estadísticamente, con excepción de la altura.

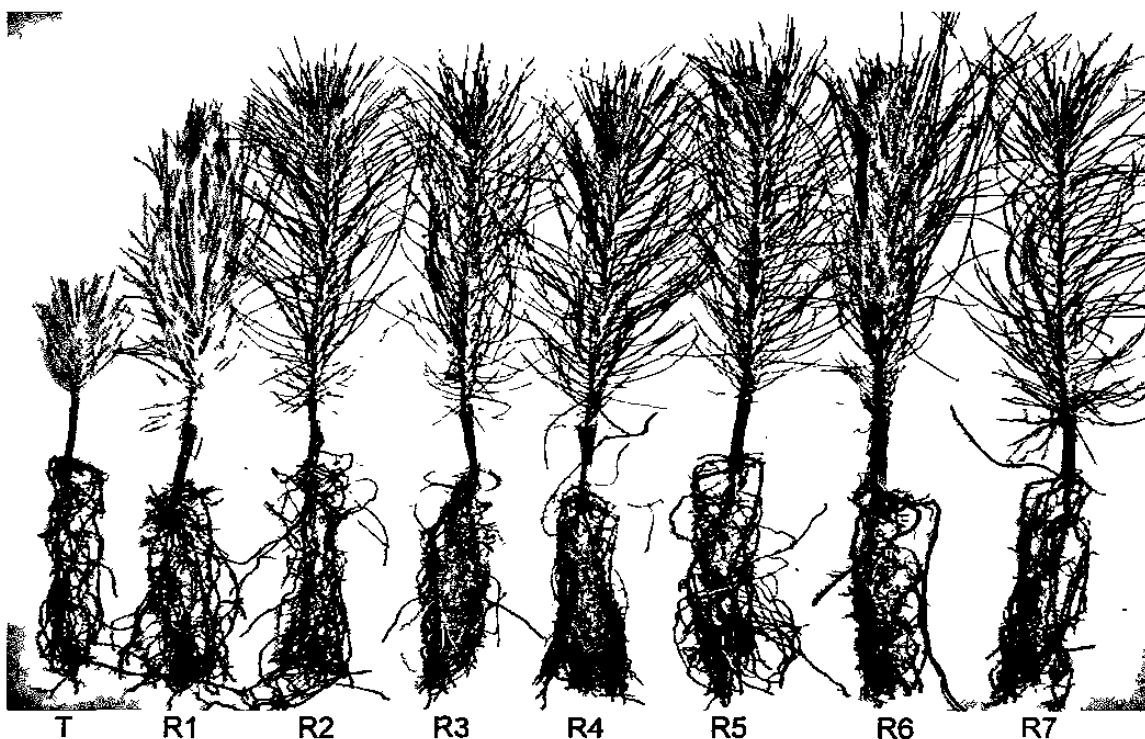


Figura 2.2 Aspecto morfológico de las plantas por tratamiento, a las 22 semanas de edad en la evaluación final.

En los resultados de cada fase de crecimiento de las plantas se aprecia que el diámetro y la producción de fitomasa total, variables trascendentales para definir la calidad de la planta, fueron inferiores durante todo el ciclo de producción en los tratamientos T y R1. En cambio, las rutinas compuestas por R5, R6 y R7 (basadas en Multicote™+ Peters Professional™) así como R2, en general sobresalieron en todas las evaluaciones realizadas (Figura 2.3 y Figura 2.4). Estos resultados, visualizados en forma conjunta, permiten apreciar la importancia que tiene el suministro de nutrimentos desde el inicio del crecimiento de las plantas, a pesar de que en la fase de establecimiento e incluso en la de crecimiento rápido, existieron mínimas diferencias debido el efecto de las fertilizaciones aplicadas.

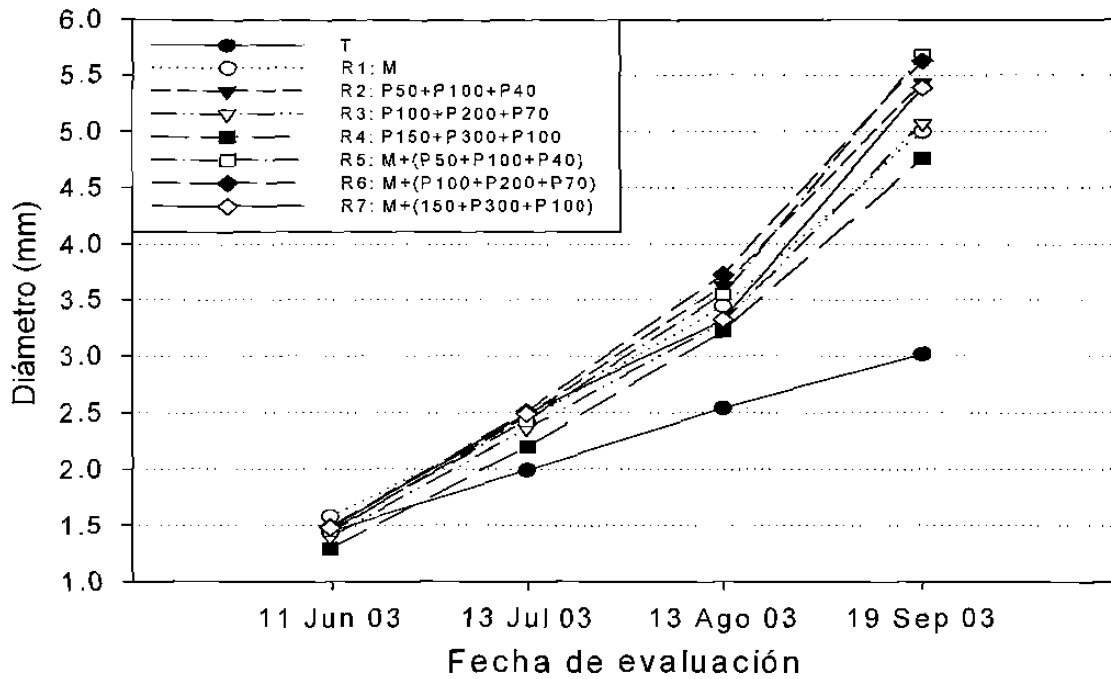


Figura 2.3. Diámetro por tratamiento en *Pinus engelmannii*, durante su crecimiento en vivero en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

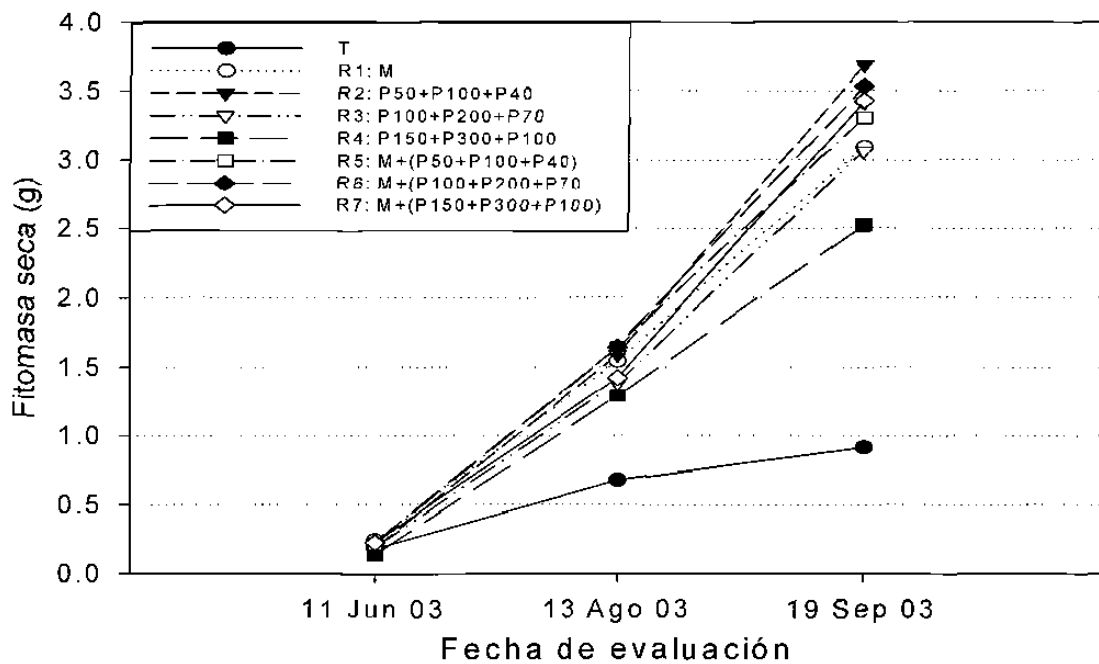


Figura 2.4 Producción de fitomasa total por tratamiento en *Pinus engelmannii*, durante su crecimiento en vivero en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

La calidad de los indicadores morfológicos dependen principalmente de la especie. Rose *et al.*, (1990); Johnson y Cline, (1991) y Barnett, (2002), recomiendan que en *Pinus taeda* L., *P. ponderosa* Laws. y *P. elliotti* Engelm, el diámetro sea mayor a 4 mm, incluso en *P. palustris* Mill. debe superar los 5.5 mm. Asimismo, la altura debe ser mayor a 15 cm. Para estos dos parámetros, con excepción del testigo y de la rutina de fertilización R1, compuesta por Multicote™ para la altura, todos los tratamientos evaluados tuvieron los valores mínimos recomendados (Cuadro 2.4). A mayor diámetro mejor soporte de la planta; además, se le considera como un buen predictor de la altura y supervivencia en el sitio de plantación. Por otro lado, la altura está correlacionada básicamente con el crecimiento inicial en el sitio de plantación (Thompson, 1985; Mexal y Landis, 1990; Johnson y Cline, 1991).

Si bien, los parámetros indicados son importantes en el establecimiento de plantaciones; otro criterio trascendente es la producción de fitomasa, donde en la parte aérea sobresalieron las rutinas de fertilización R2 y R6 con 2.89 y 2.77 g, respectivamente, mientras que en el sistema radical destacaron todos los tratamientos con valores de 0.75 a 0.86 g, con excepción del testigo y el tratamiento R4. La fitomasa total destacó en el tratamiento R2 con 3.69 g, siguiéndole los tratamientos con Multicote™+Peters Professional™, con pesos anhidro entre 3.30 y 3.53 g. El tamaño del sistema radical es importante debido a que tiene relación con el área de absorción del agua y nutrientes (González, 1995). Un sistema radical voluminoso favorece el crecimiento de las plantas después de la plantación (Rose *et al.*, 1990). Finalmente, la supervivencia final fue superior al 98% en todos los tratamientos, variable importante debido a que excesos de fertilizante pueden ocasionar toxicidad y la muerte en las plantas (Peñuelas y Ocaña, 1996).

En los resultados de los análisis foliares se encontró que los mayores niveles de asimilación de N-P-K, ocurrieron en los tres casos en las rutinas de fertilización R7 y R4, con excepción del potasio que también incluye al tratamiento R3 en el

grupo superior; sin embargo, en los tres casos sobresalió el tratamiento R7 al no estar ligado a los grupos estadísticos inferiores, tal como sucedió en los otros tratamientos. Posteriormente sobresalieron las rutinas de fertilización R6 y R3, seguidas por R5 y R2. Finalmente, la menor absorción de nutrientes ocurrió en los tratamientos R1 y T (Figura 2.5).

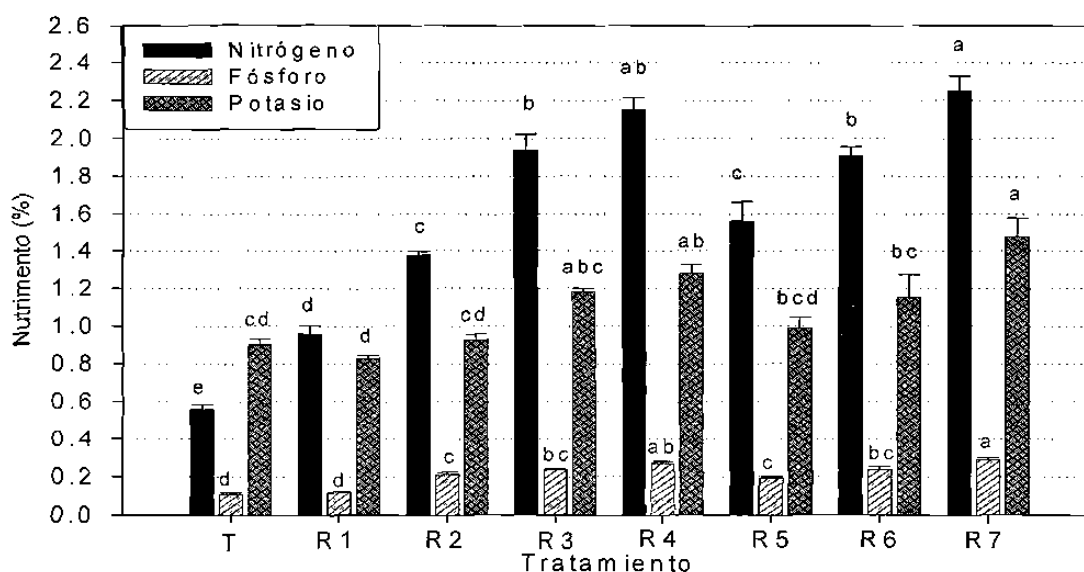


Figura 2.5 Valores medios de N-P-K asimilado en el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Dgo., Dgo. Letras diferentes para el mismo nutriente indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Los nutrientes N-P-K asimilados en el follaje de las plantas, con excepción del nitrógeno y el fósforo para los tratamientos T y R1, quedaron en los rangos recomendados por Landis (1985) y CEFORA (1994), los cuales son de 1.3 a 3.5% para el nitrógeno total, de 0.2 a 0.6% para el fósforo y de 0.7 a 2.5% para el potasio. El nitrógeno asimilado en las plantas en la fase de precondicionamiento, con relación a la de crecimiento rápido, fue menor debido a que las dosis se redujeron a menos de la mitad, mientras que las de fósforo y potasio se incrementaron en más de tres veces para favorecer la lignificación de las plantas.

Por otro lado, la asimilación de los nutrimentos Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu y Bo, quedó en el rango recomendado por Landis (1985) y CEFORA (1994), con excepción del Ca para la rutina R7, del Fe para R4, del Mn para R1 y del Cu para todos los tratamientos, el cual tuvo en todos los casos valores superiores al recomendado (Cuadro 2.5).

Cuadro 2.5. Valores medios de macro y micro nutrimentos asimilados en el follaje de plantas de *Pinus engelmannii* a 22 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Dgo., Dgo.

Rutina de Fertilización	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Bo (ppm)
T	0.34 a	0.18 a	162 ab	105 dc	50 ab	37 a	38 ab
R1 (M)	0.29 bc	0.14 b	131 b	74 d	36 b	33 ab	40 ab
R2 (P40)	0.28 bcd	0.11 bc	131 b	103 d	43 ab	31 ab	40 ab
R3 (P70)	0.24 cd	0.13 b	137 b	168 b	42 ab	24 b	45 a
R4 (P100)	0.24 cd	0.12 bc	204 a	210 a	60 a	25 ab	44 ab
R5 (M+P40)	0.29 bcd	0.11 bc	143 ab	114 c	45 ab	31 ab	37 ab
R6 (M+P70)	0.29 bcd	0.10 c	159 ab	159 b	50 ab	27 ab	36 b
R7 (M+P100)	0.31 ab	0.10 c	170 ab	192 ab	57 ab	31 ab	38 ab
Rango recomendado*	0.30-1.0	0.10-0.3	60-200	100-250	30-150	4-20	20-100

*Landis (1985) y CEFORA (1994). Letras diferentes para el mismo nutrimento indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En general, los resultados de los análisis foliares de los macro y micro nutrimentos asimilados en el follaje de las plantas tienen coincidencia con las variables respuesta de las plantas en las rutinas de fertilización basadas en ambos fertilizantes, al ser las que mejor asimilaron los nutrimentos y producir la planta de mejor calidad. En cambio, en los tratamientos R3 y R4, a pesar de que también asimilaron los nutrimentos en altas proporciones, el crecimiento de las plantas fue menor. En estos resultados destaca el tratamiento R2, ya que a pesar de que estuvo basado solamente en la adición de Peters Professional™ en la dosis

menor, los resultados finales destacan entre los mejores. Finalmente, donde los resultados también tienen coincidencia es en los tratamientos R1 y T, los cuales tuvieron los más bajos niveles de nutrientes y produjeron la planta de menor calidad.

Aunque al nitrógeno se le ha dado mucha importancia en el crecimiento en altura de las plantas, éste debe estar presente en la proporción adecuada con el fósforo y el potasio. Cantidades deficientes de potasio limitan el uso apropiado del nitrógeno (Van Steenis, 1999). El potasio contribuye a mejorar la lignificación, mientras que excesos de fósforo la desfavorecen en algunas especies (Ritchie, 1984); además, se retrasa el inicio del letargo (Van den Driessche, 1984). Por ello, es conveniente mantener altas dosis de potasio durante la producción de la planta (Alarcón, 1999).

Actualmente existe controversia con respecto a las cantidades de nitrógeno que deben suministrarse a las plantas durante su precondicionamiento. La literatura de hace más de una década recomienda utilizar concentraciones menores a 100 ppm (Barnett y Brisette, 1986; Landis *et al.*, 1989; Bigg y Schalau, 1990; CEFORA, 1994), para que disminuya su crecimiento y favorezca su lignificación. En cambio, investigaciones recientes de Boivin *et al.* (2002), Salifu y Timmer (2003), Dumroese (2003) y Murphy (2004) sugieren aplicar altos niveles de nitrógeno para que las plantas acumulen reservas, que servirán en el sitio de plantación para la formación de nuevos tejidos, incrementar la producción de raíces y propiciar el rompimiento temprano de la yema.

Debido a que en los resultados finales sobresalieron los tratamientos donde se fertilizó con Peters Professional™ en la rutina con las dosis más bajas (50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, respectivamente, aplicadas en las tres fases de crecimiento); así como la combinación de Multicote™ y Peters Professional™ en las tres rutinas de fertilización (R5, R6 y R7), la selección del tratamiento a utilizar requiere considerar criterios que permitan minimizar costos y

reduzcan el uso de productos agroquímicos; esto determina que el tratamiento donde sólo se aplicó Peters Professional™ sea el que mejor cumple con estos aspectos al corresponder a la dosis menor de dicho fertilizante, lo que implica utilizar menos fertilizante, disminuyendo los costos.

Los resultados de este experimento contrastan con los sistemas de fertilización que actualmente se utilizan en la mayoría de los viveros forestales de México, los cuales se basan en rutinas compuestas por un fertilizante granulado de liberación lenta, en dosis de 5 a 9 kg m⁻³, más la incorporación periódica de un fertilizante soluble basado en nitrógeno, en dosis de 25 a 75 ppm en la fase de crecimiento rápido, de 100 a 150 ppm en la fase de crecimiento rápido y de 30 a 50 ppm en la fase de precondicionamiento (Aldana y Aguilera, 2002).

2.6 CONCLUSIONES

Se recomienda utilizar la rutina de fertilización compuesta por Peters Professional™ con las dosis 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, aplicadas en las respectivas fases de crecimiento de las plantas, debido a que permitió producir planta de buena calidad e implica aplicar menos fertilizante. En el tratamiento sin fertilizar se produjo la planta de menor calidad.

Los nutrientes N-P-K asimilados por las plantas en la fase de crecimiento rápido y de precondicionamiento, con excepción del testigo y del Multicote™ en la última fase, fueron adecuados en los tratamientos evaluados y permitieron un apropiado crecimiento de las plantas.

2.7 LITERATURA CITADA

- ALARCÓN B., M. 1999. Crecimiento inicial y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes condiciones de fertilidad en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 107 p.
- ALDANA B., R.; AGUILERA R., M. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. CONAFOR-PRONARE. Guadalajara, Jal. 44 p.
- BARNETT, J.P.; BRISSETTE, J.C. 1986. Producing southern seedlings in containers. Gen. Tech. Rep. So-59. NO. USDA. Forest Service, Southern Experiment Station. 71 p.
- BARNETT, J.P. 2002. Longleaf: Why plant it?. Why use containers?. *In*: Barnett, J.P.; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J. (eds.) Proceedings of Workshops on growing longleaf pine in containers-1999 and 2001. Gen. Tech. Rep. SRS-56. Asheville, N.C. USDA. Forest Service, Southern Research Station. 63 p.
- BIGG, W.L.; SCHALAU, J.W. 1990. Mineral nutrition and target seedling. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. Aug. 13-17. 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. Roseburg, Oregon. USDA. Forest Service. pp: 139-160.
- BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. 1998. La planta ideal: revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 7(1 y 2):110-121.

- BOIVIN, JR.; MILLER, B.D.; TIMMER, V.R. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: Biomass and nutrient dynamics. *Ann. For. Sci.* 59:255-264.
- CARLSON, L.W. 1983. Guidelines for rearing containerized conifer seedlings in the Prairie Provinces. Inf. Rep. NOR-X-214E. Edmonton, AB. Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre. 64 p.
- CEFORA. 1994. Viveros y reforestación en México. *In: Curso internacional de entrenamiento. 4-22 junio 1994. CEFORA. NMSU. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México. México. 120 p.*
- DUMROESE. R. K.; LANDIS, T.D.; WENNY, D.L. 1998. Raising forest tree seedlings at home: Simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seeds. Moscow, Idaho: University of Idaho, Idaho. Forest, Wildlife and Range Experiment Station. Contribution Number 860. 56 p.
- DUMROESE, R.K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *In: Riley, L.E., Dumroese, R.K., Landis, T.D., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings RMRS-P-28. Odgen, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 31-36.*
- GONZÁLEZ K., V. 1995. Tipos de envase en viveros forestales *In: Viveros forestales. SAGAR-INIFAP. CENID-COMEF. Pub. Esp. N°. 3 México. D.F. pp 26-36.*
- JOHNSON, J.D.; CLINE, M.L. 1991. Seedling quality of southern pines. *In: Duryea, M.L. and Dougherty, P.M. (eds.) Forest Regeneration Manual. Lluver Academic Pub. Netherlands. pp: 143-159.*

- LANDIS, T.D. 1985. Mineral nutrition as an index of seedling quality. *In*: Duryea, M.L. (ed.). 1985. Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive capabilities of major tests. Workshop held. Oct. 16-18, 1984. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis. Oregon. U.S. pp 29-48.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. The container tree nursery manual. Agric. Handbk 674. Washington, D. C. USDA. Forest Service. 119 p.
- MARTÍNEZ G., A. 1988. Diseños experimentales. Trillas. México. pp 118-160.
- MEXAL, J.G.; LANDIS, T.D. 1990. Target seedlings concepts: Height and diameter. pp 17-36. *In*: Rose, R.; Campbell, S. J. and Landis, T.D. (eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. Fort Collins, Co. USDA. Forest Service. pp 17-36.
- MURPHY, R. 2004. Fertilization exponential vs nutrient loading. Consultado en: <http://www.lustr.ca/arti-cles/59>. Enero, 2004.
- PEÑUELAS R., J. L.; OCAÑA B., L. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-prensa. Madrid, España. 190 p.
- RITCHIE, G.A. 1984. Assessing seedling quality. *In*: Duryea, M.L. and Landis, T.D. (eds.) Forest nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. U.S. pp 243-259.

- ROSE, R.; CARLSON, W.C.; MORGAN, P. 1990. The target seedling concept. *In*: Rose, R., Campbell, S.J. and Landis, T.D. (eds.). Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. Gen. Tech. Rep. RM-200. Fort Collins, Co. USDA. Forest Service. pp 1-8.
- SALIFU, K.F; TIMMER, V.R. 2003. Nitrogen retranslocation response of young *Picea mariana* to Nitrogen-15 supply. *Soil Sci. Am. J.* 67:309-317.
- STARKEY, T. E. 2002. Irrigation and fertilization type, rate and frequency of application. *In*: Barnett, J.P; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J. (eds.) 2002. Proceedings: Growing longleaf pine in containers-1999 and 2001 workshops. Gen. Tech. Rep. SRS-XX. Asheville, NC. USDA. Forest Service, Southern Research Station. pp 30-34.
- THOMPSON, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation-what you can tell by looking. *In*: Duryea, M.L. (ed.). Proceedings: evaluation seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. Oregon State University. Forest Research Laboratory. Corvallis, Oregon. U.S. pp 59-71.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. 1984. Soil fertility in forest nurseries. *In*: Duryea, M.L. and Landis, T.D. (eds). Forestry nursery manual: Production of bareroot seedlings. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. U.S. pp 63-74.
- VAN STEENIS, E. 1999. Forest seedling nutrition trends. *In*: Landis, T.D.; Barnett, J.P., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-1998. Gen. Tech. Rep. SRS-25. Asheville, N.C. USDA, Forest Service, Southern Research Station: 104-107.

CAPÍTULO 3

ESTRÉS HÍDRICO EN *Pinus engelmannii* CARR., PRODUCIDO EN VIVERO¹

3.1 RESUMEN

Se evaluó el efecto del estrés hídrico en el potencial hídrico y en el crecimiento de plantas de *Pinus engelmannii* Carr. de cinco meses de edad, sometidas a dos tratamientos de riego (con y sin estrés hídrico). El experimento comprendió del 21 de septiembre al 27 de octubre de 2003, tiempo en el que se aplicaron tres ciclos de estrés hídrico. Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.01$) en el potencial hídrico a partir del tercer día después del riego. Las plantas sometidas a estrés hídrico alcanzaron valores de -1.96 a -2.29 MPa al final de cada ciclo de estrés hídrico, mientras que los del tratamiento sin estrés variaron entre -0.13 y -0.20 MPa. La respuesta morfológica de las plantas mostró dos vertientes bien definidas; en el tratamiento sin restricción de humedad las tasas de crecimiento fueron mayores en altura (20.7%), diámetro del cuello (69.4%) y producción total de fitomasa (144.1%); mientras que en la condición de estrés los incrementos fueron menores en altura (1.3%), diámetro del cuello (9.8%) y fitomasa total (73.1%). Se concluye que las plantas fueron sensibles a los niveles de estrés hídrico evaluados, lo que permitiría su manejo para favorecer su precondicionamiento.

Palabras clave: *Pinus engelmannii*, déficit de humedad, calidad de planta, crecimiento, fase de precondicionamiento

¹ Aceptado para su publicación en Diciembre de 2004 en la Revista Investigación Agraria. Serie: Sistemas y Recursos Forestales.

3.2 SUMMARY

The effect of water stress was evaluated in relation to the water potential and growth of five-month old seedlings of *Pinus engelmannii* Carr. The essay was conducted from september 21st to october 27th, 2003; in this period of time three water stress cycles were completed. Significant differences between water supply treatments were found ($p < 0.01$) in regard to the seedlings water potential after the third day of watering. The seedlings under water stress reached final water potentials from -1.96 to -2.29 MPa, while the seedlings without water stress showed values between -0.13 and -0.20 MPa. The morphological response of the seedlings presented two well-defined trends. First, the irrigated seedlings showed larger growth rates in height (20.7%), collar diameter (69.4%) and total phytomass production (144.1%). On the other hand, the seedlings under water stress showed smaller increments in height (1.3%), collar diameter (9.8%) and total phytomass (73.1%). It is concluded that the seedlings were sensible to the levels of water stress, therefore allowing their management to promote seedling hardening.

Keywords: *Pinus engelmannii*, water stress, seedlings quality, growth, preconditioning phase.

3.3 INTRODUCCIÓN

El riego es una de las prácticas culturales más importantes en la producción de planta, ya que ayuda a mantener un adecuado nivel del agua para que el crecimiento ocurra sin restricciones (Johnson, 1986; Landis *et al.*, 1989; Lopushinsky, 1990), al influir en la mayoría de los procesos fisiológicos, tales como la fotosíntesis, la respiración, la síntesis de compuestos químicos, la división y elongación celular, el transporte de elementos esenciales y la termorregulación foliar de las plantas, procesos que dependiendo del nivel de estrés hídrico alcanzado, pueden afectar el rendimiento de las plantas (CEFORA, 1994; Rojas, 2003). La cantidad y periodicidad de agua que debe aplicarse a las plantas es

variable y depende de diversos factores, entre los que destacan la edad, la época del año y las condiciones ambientales del sitio de producción (Starkey, 2002).

El precondicionamiento contribuye a mejorar la calidad de las plantas, previo a su establecimiento en campo y consiste en modificar las prácticas de cultivo en vivero, tales como: disminuir la cantidad de agua suministrada, reducir las dosis de nitrógeno y aumentar las de potasio, así como eliminar la sombra y el efecto de invernadero. En ese sentido, en la fase de precondicionamiento la función del agua en las plantas cambia, ya que aparte de servir para que realicen su metabolismo, al disminuir su aporte se induce estrés hídrico para disminuir el crecimiento en altura, promover la aparición de la yema apical e iniciar mecanismos de resistencia a temperaturas bajas extremas (Joly, 1985; Timmer y Armstrong, 1989; Landis *et al.*, 1992), lo que a su vez contribuye a incrementar la resistencia a déficits iniciales de humedad en el sitio de plantación (Peñuelas y Ocaña, 1996; Toral, 1997). Para provocar déficit hídrico se deja de regar durante períodos cortos de tiempo, hasta que las plantas comienzan a manifestar marchitez o alcanzan un estrés hídrico determinado (Landis *et al.*, 1989). Obviamente que el tiempo de restricción de humedad depende de las condiciones ambientales del sitio de producción, el tipo de sustrato y envase utilizado, así como la especie y sus características morfológicas.

El estrés hídrico como práctica de manejo en vivero ha sido poco estudiado en México; entre los casos más recientes destacan los trabajos de Cetina (1997), Cetina *et al.* (2001) y Cetina *et al.* (2002) en *Pinus greggii* Engelm.; Martínez *et al.*, (2002) en *Pinus leiophylla* Schiede et Cham. y Cornejo y Emmingham, (2003) en *Pinus durangensis* Mart, *Pinus arizonica* Engelm. y *Pinus engelmannii*; quienes resaltan la importancia que tiene el estrés hídrico en el metabolismo de las plantas. Sin embargo, para entender la respuesta de las plantas a las diferentes condiciones de producción en vivero y a las diversas características ecológicas de los sitios de plantación, es necesario profundizar sobre tópicos de esta naturaleza (Cornejo, 1999; Shibu *et al.*, 2003), de manera que contribuyan a

mejorar las tasas de supervivencia y crecimiento, principalmente en sitios con escasez de humedad (Scagel *et al.*, 1998).

Los objetivos del experimento tuvieron la finalidad de evaluar en vivero, durante la etapa de preacondicionamiento, el efecto del estrés hídrico en *Pinus engelmannii*, de cinco meses de edad, para: a) determinar los patrones de cambio del potencial hídrico en plantas con y sin estrés hídrico y, b) cuantificar su influencia en el crecimiento en altura, incremento en diámetro del cuello y producción de fitomasa.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Localización y características del área de estudio

El experimento se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), localizado en Durango, Dgo., México, a una altitud de 1830 m y a 24° 01' N y 104° 44' W. La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico de polietileno, protegido contra rayos ultravioleta y malla sombra del 35%. La temperatura y la humedad relativa se registraron diariamente a diferentes horas; además se cuantificaron los valores extremos cada día (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1 Temperatura y humedad relativa prevalencias durante el ensayo (21 de septiembre a 27 de octubre de 2003).

Tiempo (Horas)	Temperatura		Humedad relativa	
	Promedio (°C)	Error estándar	Promedio (%)	Error estándar
8:00	13.73	0.55	97.68	0.23
12:00	29.18	0.77	36.95	3.31
16:00	30.09	0.71	33.18	2.29
Máxima (diaria)	34.41	0.47	97.18	0.56
Mínima (diaria)	12.28	0.61	26.68	1.53

3.4.2 Condiciones de producción y siembra

La planta se produjo en charolas de poliestireno de 77 cavidades, caracterizadas por tener 170 cm^3 de volumen por cavidad. El sustrato consistió en una mezcla compuesta por turba al 55%, vermiculita al 24% y agrolita al 21%. La semilla utilizada fue recolectada en noviembre de 2002, de rodales naturales localizados en el ejido San Isidro, Durango, Dgo., México, a una altitud de 2483 m y a $23^\circ 40' 23'' \text{ N}$ y $105^\circ 02' 14'' \text{ W}$. La siembra se realizó el 31 de marzo de 2003, después de que la semilla se remojó en agua durante 24 horas y se desinfectó 10 minutos en una solución compuesta por nueve partes de agua y una parte de cloro comercial al 6%. Para evitar daños por Damping off la semilla fue impregnada con el fungicida Promyl™.

3.4.3 Aplicación de fertilizantes y fungicidas

Durante la preparación del sustrato se añadieron 5 kg m^{-3} del fertilizante granulado Multicote™, el cual tarda en liberarse de 9 a 11 meses, cuya formulación N-P-K (porcentaje de nitrógeno-porcentaje de P_2O_5 -porcentaje de K_2O) fue de 15:07:15. Aparte de la fertilización inicial en el sustrato, dos veces por semana se añadió el fertilizante soluble Peters professional™, caracterizado por tener diferentes proporciones de N-P-K en cada fase de crecimiento de las plantas. Durante la fase de establecimiento se aplicaron 100:250:202 ppm de N-P-K. En la fase de crecimiento rápido se añadieron 200:30:158 ppm de N-P-K y en la fase de preacondicionamiento se adicionaron 70:191:508 ppm de N-P-K. Para prevenir daños por Damping off, durante los primeros dos meses de crecimiento semanalmente se aplicaron en forma rotativa los fungicidas Captán™, Promyl™ y Tecto™, en dosis de 2.5, 1.5 y 1.0 g L^{-1} de agua, respectivamente.

3.4.4 Tratamientos utilizados y diseño experimental

Se evaluaron dos tratamientos: a) planta sin estrés, la cual fue regada diariamente; en esta condición el contenido gravimétrico del agua en el sustrato se mantuvo entre 322 y 369%, y b) planta sometida a estrés hídrico, donde el sustrato se regó solamente al finalizar cada ciclo de estrés hídrico, cuando las

yemas apicales de las plantas presentaron síntomas iniciales de marchitamiento, lo cual sucedió cada 10 días. El contenido gravimétrico de humedad en el sustrato varió desde el 323% en condición de saturación, hasta cerca del 40% al final cada ciclo de estrés hídrico. Se consideró como ciclo de estrés hídrico el tiempo que duró la planta sin regar, desde que estaban saturadas de humedad hasta que mostraron indicios de marchitamiento del brote terminal. Para tener representatividad de la información obtenida y determinar posible variación en el déficit hídrico, los ciclos se repitieron tres veces; ciclo uno: 21 de septiembre al 01 de octubre de 2003; ciclo dos: 04 al 14 de octubre de 2003 y ciclo tres: 17 al 27 de octubre de 2003. Durante cada ciclo se realizaron cinco evaluaciones del potencial hídrico.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, con tres repeticiones por tratamiento. En cada evaluación fueron seleccionadas en forma aleatoria cuatro plantas por repetición, esto hizo que se utilizaran 12 plantas por tratamiento y evaluación, y que durante los tres ciclos se hayan evaluado 180 plantas por tratamiento y 360 en total.

3.4.5 Evaluación

El ensayo fue evaluado desde dos enfoques; por un lado, se consideró la variación del potencial hídrico de las plantas en función de los tratamientos aplicados (con y sin estrés hídrico) y en la otra fase se determinó el efecto del potencial hídrico en su crecimiento morfológico. Cada ciclo se inició a partir de una condición de saturación de humedad del sustrato de ambos tratamientos. Posteriormente, las plantas sometidas a estrés hídrico dejaron de regarse hasta que mostraron indicios de marchitamiento, manifestado en el decaimiento del brote terminal, a los 10 días. Una vez terminado cada ciclo, todo el lote experimental fue regado en forma abundante hasta saturación durante dos días y medio, tiempo durante el cual las plantas volvieron a recuperar su nivel de humedad normal. Las evaluaciones se hicieron a las 5:00 a.m., momento durante el cual el potencial hídrico de las plantas está en equilibrio con el del sustrato y

proporciona bases estables para realizar comparaciones entre diferentes días (Landis *et al.*, 1989; Lopushinsky, 1990).

Las evaluaciones del potencial hídrico se hicieron en una cámara de presión Modelo 600 (PMS Instruments Co., Corvallis, Oregon) y la metodología desarrollada consideró las propuestas de Day y Walsh (1980) y Cleary *et al.* (2003). Los potenciales hídricos se obtuvieron del tallo a la altura del diámetro del cuello, punto donde se cortó con navaja y a partir de ahí se quitó la corteza de los primeros 4 cm para obtener una adecuada medición; además, en los siguientes 3 cm se eliminó el follaje para facilitar la inserción del tallo en la cámara de presión. Para conocer el efecto del estrés hídrico en el crecimiento de las plantas se realizaron evaluaciones morfológicas antes de iniciar los tratamientos de estrés hídrico y al final del experimento. En la evaluación inicial y final se extrajeron en forma aleatoria 15 plantas por tratamiento.

3.4.6 Variables evaluadas

a) potencial hídrico, se registró en el xilema de las plantas en MegaPascales (MPa), b) altura de la parte aérea, se midió desde la base del cuello hasta la yema apical, c) diámetro del cuello, se registró en la unión del tallo y raíz, d) peso seco de la parte aérea y del sistema radical, se cuantificó después de secar las muestras durante 72 horas en una estufa a 72 °C, e) relación peso seco de la parte aérea-peso seco del sistema radical, se obtuvo de dividir el peso seco de la parte aérea entre el peso seco de la raíz, f) índice de lignificación, consistió en determinar el porcentaje de peso seco, con relación al contenido de agua en las plantas, lo cual se obtuvo de dividir el peso seco entre el peso fresco, multiplicado por cien, y g) contenido gravimétrico del agua en el sustrato, se estimó a través del método propuesto por McDonald (1984) y Landis *et al.* (1989):

$$W (\%) = \frac{\text{Peso fresco del sustrato} - \text{Peso anhidro del sustrato}}{\text{Peso anhidro del sustrato}} \times 100$$

Donde: W (%) = Contenido gravimétrico del agua en el sustrato

3.4.7 Modelo experimental y análisis estadístico

Las variables estudiadas fueron analizadas a través del paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS). El potencial hídrico se analizó a través del procedimiento PROC MIXED, el cual separa los efectos en fijos y aleatorios, teniéndose como efectos fijos a los tratamientos y a las fechas de evaluación, así como a la interacción de ambos; como efectos aleatorios se tuvo a las repeticiones de cada tratamiento. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \tau\alpha_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

Donde: Y_{ij} = variable respuesta, μ = promedio general del experimento, τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento, α_j = efecto de la j -ésima fecha de evaluación j , $\tau\alpha_{ij}$ = interacción de tratamientos con fechas de evaluación ij , ε_{ij} = error aleatorio ij .

A las variables morfológicas se les realizaron análisis de varianza a través del procedimiento PROC ANOVA. El modelo utilizado fue:

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

Donde: Y_{ij} = variable respuesta, μ = promedio general que considera a las diferentes fuentes de variación, τ_i = efecto del i -ésimo tratamiento, ε_{ij} = error aleatorio ij .

Cuando se encontraron diferencias estadísticas entre tratamientos ($p < 0.01$), se realizaron pruebas de contrastes ortogonales al potencial hídrico de las plantas por fecha de evaluación y pruebas de medias de Tukey a las variables morfológicas al final de la evaluación.

3.5 RESULTADOS

3.5.1 Potencial hídrico de las plantas

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) para la interacción tratamiento x fecha en los tres ciclos de estrés hídrico. Los resultados entre tratamientos (con y sin estrés hídrico) por fecha de evaluación y por ciclo mostraron diferencias significativas ($p < 0.01$) a partir del tercer día (segunda evaluación) de cada ciclo. Conforme las plantas duraron más tiempo sin regar, las diferencias en el potencial hídrico se incrementaron paulatinamente y se acentuaron en la parte final de los tres ciclos, a los 10 días, cuando las plantas estuvieron sometidas a altos niveles de estrés hídrico (Figura 3.1).

El potencial hídrico tuvo una tendencia similar en los tres ciclos. En la planta regada continuamente sin ser sometida a estrés hídrico, los valores medios se mantuvieron estables, con ligeras variaciones entre -0.13 y -0.20 MPa (Figura 3.1); en tanto que el contenido de humedad promedio del sustrato fluctuó entre 322.7 y 368.5% (Figura 3.2). Cuando dejó de regarse durante tres días (segunda evaluación) el estrés hídrico en las plantas fue ligero al tener entre -0.27 y -0.34 MPa, mientras que el contenido gravimétrico de humedad del sustrato disminuyó drásticamente a menos de la mitad (132.8%).

Cuando el sustrato tenía entre 5 y 6 días sin regar (tercera evaluación) el potencial hídrico alcanzó valores entre -0.37 y -1.24 MPa y el contenido de humedad decreció, en promedio, a un 65.02%. En cambio, cuando no se regó entre 7 y 9 días (cuarta evaluación) el potencial hídrico fluctuó entre -0.81 y -1.96 MPa, mientras que el contenido de humedad se redujo a un 52.2%. Finalmente, cuando el sustrato dejó de regarse durante 10 días (última evaluación), el déficit hídrico alcanzó valores de -1.96 a -2.29 MPa y el contenido de humedad decreció hasta un 42.8% (Figura 3.1 y Figura 3.2). En la etapa final algunas plantas mostraron decaimiento inicial de la yema apical; sin embargo, volvieron a recuperarse del estrés hídrico al que estuvieron expuestas, una vez que se regaron en forma abundante.

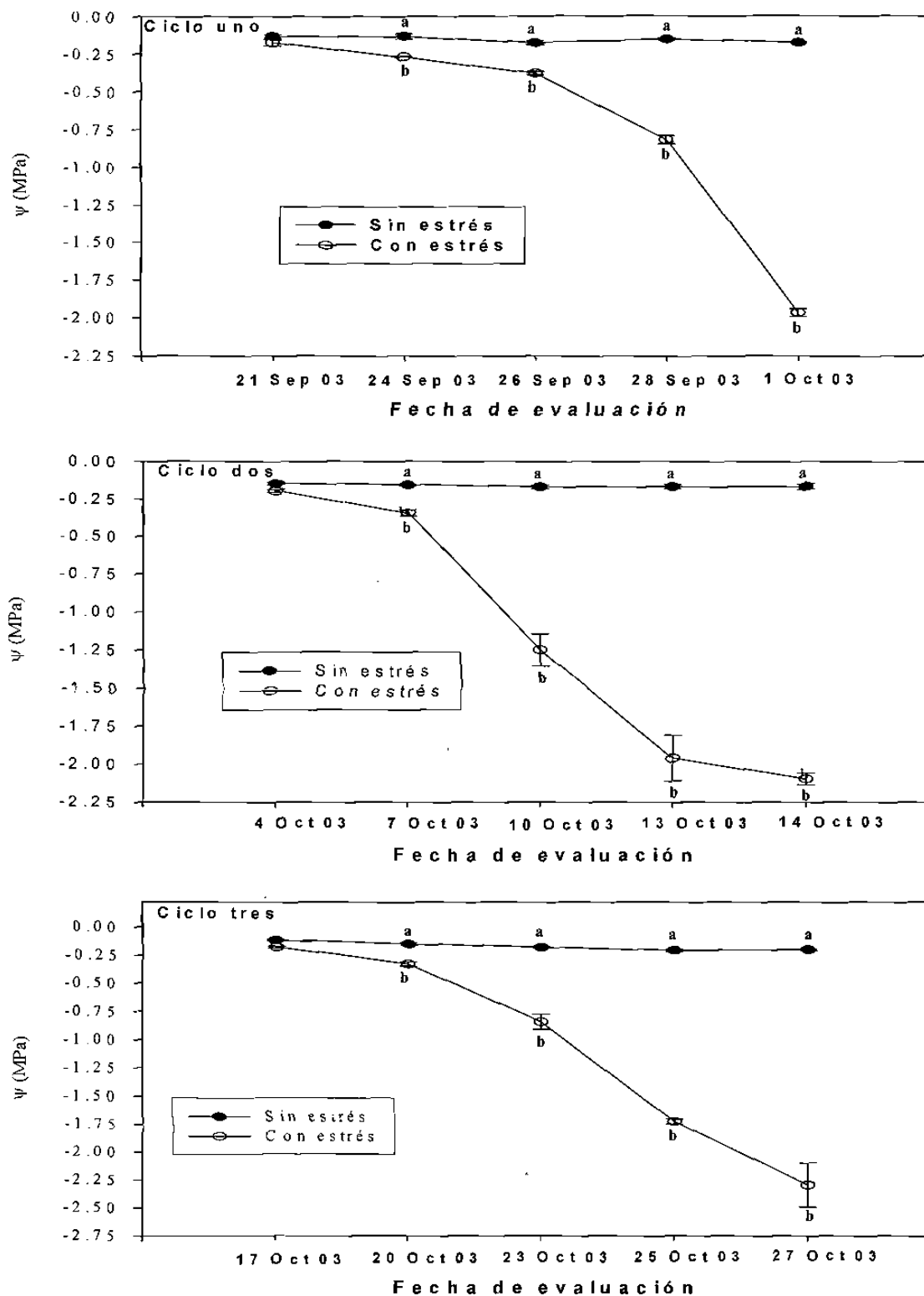


Figura 3.1 Potencial hídrico (Ψ) en las plantas por tratamiento durante los tres ciclos de estrés hídrico evaluados. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas ($p < 0.01$).

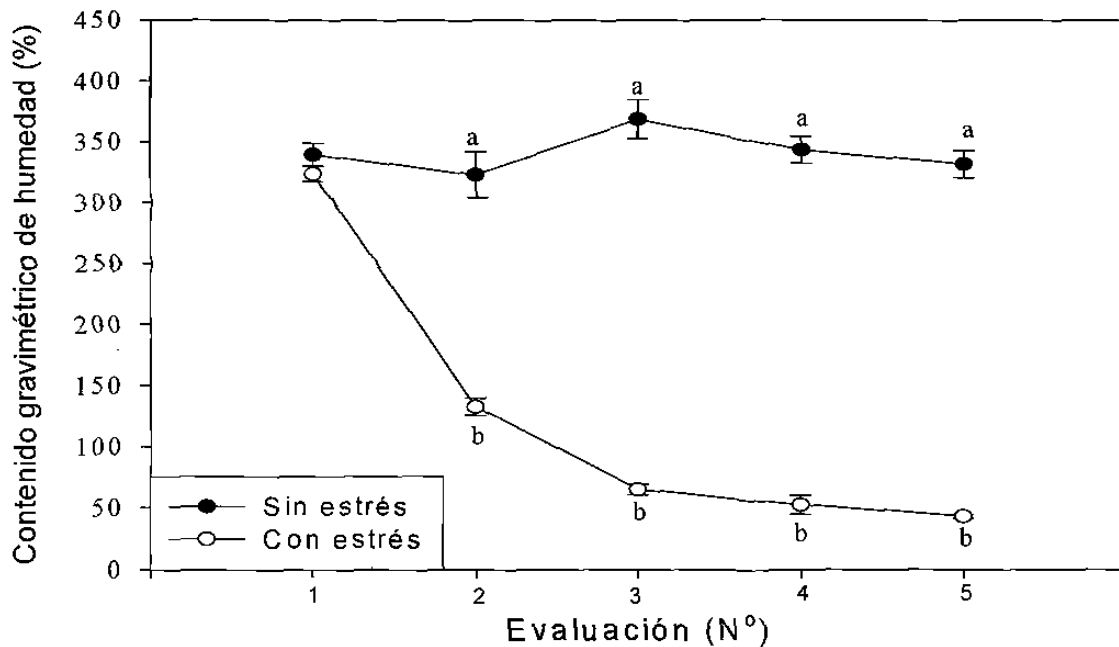


Figura 3.2 Contenido gravimétrico de humedad promedio del sustrato, por fecha de evaluación, en los tres ciclos de estrés hídrico evaluados. Letras diferentes para la misma evaluación indican diferencias significativas ($p < 0.01$).

Cuando la humedad del sustrato fluctuó entre el 280 y el 390%, el potencial hídrico de las plantas varió entre -0.11 y -0.25 MPa e incluso cuando el contenido de humedad disminuyó hasta cerca del 100%, el estrés hídrico de las plantas fue mínimo al disminuir el potencial hídrico de las plantas sólo hasta -0.34 MPa. En cambio, cuando el contenido de humedad disminuyó a menos del 100%, el déficit de humedad en las plantas aumentó en forma considerable, principalmente cuando fue cercano al 50%, y alcanzó valores de hasta -2.29 MPa en los niveles más bajos de contenido de humedad (Figura 3.3).

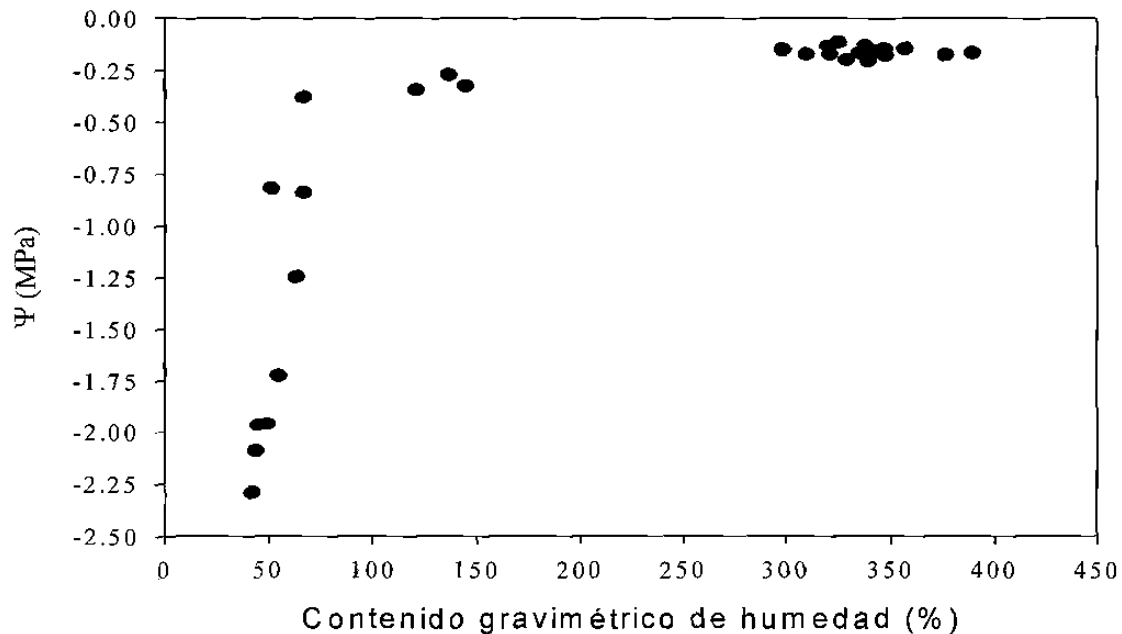


Figura 3.3 Variación del potencial hídrico de las plantas con relación al contenido gravimétrico de humedad en el sustrato.

3.5.2 Morfología de las plantas

Las plantas regadas continuamente (sin estrés) incrementaron en forma notable su crecimiento en altura y diámetro, así como la producción de fitomasa; en tanto que las sometidas a estrés hídrico tuvieron cambios menores en dichas variables. En el tratamiento sin restricción de humedad la altura se incrementó en 3.4 cm, lo que equivale a un 20.7%, mientras que cuando se les limitó la disponibilidad hídrica sólo aumentó 0.21 cm, lo que significó un 1.3% de incremento. Por otro lado, el diámetro del cuello fue más sensible en las plantas regadas diariamente al incrementar 2.90 mm, lo que implicó un incremento del 69.4%, mientras que en las sometidas a estrés hídrico tuvieron tan solo un acumulado de 0.41 mm de aumento, equivalente a un 9.8% (Cuadro 3.2).

La producción de fitomasa seca de los componentes parte aérea, sistema radical y total, también tuvo diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$), encontrándose que las plantas sometidas a estrés, a pesar de que tuvieron incrementos importantes, al aumentar un 51.6% en la parte aérea,

un 144.7% para el sistema radical y un 70.3% para el peso seco total, la planta que fue regada sin restricciones incrementó en más del doble dichos parámetros con un 117.2% para la parte aérea, un 297.1% para la raíz y un 152.2% para el peso seco total (Cuadro 3.2).

Cuadro 3.2 Resultados de las variables morfológicas en planta sin y con estrés hídrico al inicio del experimento (21 de septiembre de 2003) y al final del mismo (27 de octubre de 2003).

Variable	Valor inicial	Valor final		Incremento (%)	
		Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Altura del tallo (cm)	16.49±0.61	19.91±0.87 a	16.70±0.29 b	20.7	1.3
Diámetro (mm)	4.18±0.17	7.08±0.44 a	4.59±0.31 b	69.4	9.8
Peso seco parte aérea (g)	1.49±0.10	3.15±0.20 a	2.29±0.23 b	111.4	53.7
Peso seco raíz (g)	0.37±0.03	1.39±0.10 a	0.93±0.11 b	275.6	151.3
Peso seco total (g)	1.86±0.13	4.54±0.30 a	3.22±0.30 b	144.1	73.1
Relación peso seco: parte aérea-raíz	4.71±0.37	2.27±0.01 a	2.46±0.28 a	-107.5	-91.5
Índice de lignificación	16.99±0.23	21.21±0.53 b	29.16±0.50 a	24.8	47.8

Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.01$).

El cociente obtenido de la relación peso seco de la parte aérea con el sistema radical fue estadísticamente igual ($p > 0.05$) en la planta con y sin estrés hídrico. En la evaluación inicial, previo al inicio del experimento, la relación peso seco: parte aérea-raíz era de 4.71 ± 0.37 y disminuyó considerablemente en la evaluación final en ambos tratamientos, debido a que la producción de fitomasa se incrementó en mayor proporción en el sistema radical de las plantas (Cuadro 3.2).

El índice de lignificación se incrementó en mayor proporción en el tratamiento con estrés hídrico, al aumentar de 16.99 a 29,16%; en cambio, cuando no existió estrés hídrico el cambio fue de 16.99 a 21.21% (Cuadro 3.2). Estos resultados

muestran cómo la planta sin estrés siguió aprovechando el agua suministrada sin restricción y continuó su crecimiento; sin embargo, la proporción de fitomasa producida, con relación al agua contenida en las plantas, fue mayor en las plantas sometidas a estrés hídrico.

3.6 DISCUSIÓN

3.6.1 Potencial hídrico de las plantas

Los resultados obtenidos coinciden con Landis *et al.* (1989) quienes indican que cuando la humedad del sustrato se mantiene alta, las plantas no son afectadas por escasez de agua al estar fácilmente disponible, lo cual sucedió en ambos tratamientos en la primera evaluación de cada ciclo de estrés hídrico.

A pesar de que las especies tienen diferente sensibilidad al estrés hídrico, es recomendable regar cuando el potencial hídrico en la madrugada disminuye por debajo de -0.5 MPa (Landis *et al.*, 1989), condición que prevaleció en la planta sometida a estrés hídrico hasta el tercer día de haber dejado de regar. Potenciales hídricos entre -0.5 y -1.0 MPa se consideran moderados y mantener estos niveles en forma continua es adecuado cuando se requiere reducir el crecimiento, inducir el letargo, incrementar la resistencia al frío y favorecer la lignificación de las plantas (Lopushinsky, 1990). Cuando el estrés hídrico varía entre -1.0 y -1.5 MPa se restringe el crecimiento y el preacondicionamiento es variable; aunque, Cleary *et al.* (2003) manifiestan que en coníferas que pueden soportar altos niveles de estrés hídrico y valores de hasta -1.2 MPa no afectan al crecimiento.

Cuando el potencial hídrico varía entre -1.5 y -2.5 MPa se entiende que el estrés es severo y existe el riesgo que las plantas sufran daños, esto hace que la mayoría de las plantas cierren los estomas para evitar su desecación. Además, reducen las tasas de fotosíntesis y disminuye el crecimiento (Lopushinsky, 1990; CEFORA, 1994; Humara *et al.*, 2002; Cleary *et al.*, 2003; Thie y Manninen., 2003;

Rahman *et al.*, 2003). En este experimento, pese a que el estrés hídrico final fluctuó entre -2.0 y -2.3 MPa, las plantas no sufrieron daños físicos evidentes; igual sucedió con Cornejo (1999) quien sometió a la misma especie a estrés hídrico hasta -1.4 MPa. Si el déficit alcanza valores inferiores a -2.5 MPa, el estrés hídrico es extremo y las plantas pueden sufrir daños físicos o incluso morir (Landis *et al.*, 1989). Aunque, Villar *et al.* (1997a) y Villar *et al.* (1997b) encontraron que en *Pinus halepensis* Mill. se incrementó la resistencia a déficits de humedad al someterlas a estrés hídrico hasta -2.2 MPa.

La resistencia de las plantas al estrés hídrico también debe considerar la procedencia de la especie; estudios realizados por Cregg y Zhang (2001) en *Pinus sylvestris* L., Calamassii *et al.*, (2001) en *Pinus halepensis* y Martínez *et al.* (2002) en *Pinus leiophylla*, encontraron que la planta proveniente de sitios más secos, tiene mayor resistencia al estrés hídrico.

3.6.2 Morfología de las plantas

Los resultados finales de las variables crecimiento en altura, incremento en diámetro, producción de fitomasa e índice de lignificación, consideradas importantes para definir a la planta objetivo (Kooistra y Brazier, 1999), resaltan la importancia que tiene el riego durante su producción en vivero. A pesar de que las plantas estuvieron sometidas a estrés hídrico sólo durante tres ciclos, comprendidos en un lapso de 36 días, la respuesta de las mismas fue inmediata al haberse obtenido menores tasas de crecimiento. Sin duda, este tema ha sido ampliamente estudiado a nivel mundial en diversas especies del género *Pinus* y la mayoría de los resultados coinciden en el sentido de que el estrés hídrico es uno de los factores que más restringe el crecimiento de las plantas (McDonald, 1984; Joly, 1985; Seller y Johnson, 1985; O'Reilly *et al.*, 1989; Lopushinsky, 1990; Villar *et al.*, 1997a; Cetina, 1997; Cetina *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002; Humara *et al.*, 2002; Thie y Manninen, 2003; Rojas, 2003).

En cambio, Cornejo y Emmingham (2003) encontraron que, con excepción de *Pinus durangensis*, el estrés hídrico no influyó en el crecimiento en vivero de *Pinus engelmannii*, *Pinus durangensis*, *Pinus arizonica* y *Pinus ponderosa* Laws., resultados que se atribuyen en gran parte a que la evaluaciones se realizaron durante la estación de frío y al corto período de evaluación (dos meses y medio).

Los resultados presentados destacan la importancia que tiene preacondicionar las plantas a menores necesidades de agua, que sirva como herramienta de manejo para inducirlas a que entren en estado de letargo e incrementen su resistencia al frío y en consecuencia se aumenten las posibilidades de éxito en las plantaciones que se establezcan. En cambio, niveles de humedad abundantes pueden retardar el inicio del letargo e interrumpir la secuencia de eventos necesarios para que desarrollen resistencia al frío, y por lo tanto resulten más susceptibles a sufrir daños por estrés (Joly, 1985).

El restringir la humedad con el objeto de provocar estrés hídrico, es diferente a cuando se riega continuamente pero de forma deficitaria. Johnson (1986) menciona que cuando esto sucede se limita el crecimiento y la parte inferior del sistema radical carece de raicillas vivas debido a que el agua no alcanza a bajar hasta la parte final del cepellón. Por ello, cuando se someta planta a estrés hídrico es recomendable que cada cierto tiempo se humedezca el sustrato hasta que se sature.

Con relación a los parámetros de crecimiento evaluados, se considera que en general éstos fueron aceptables en ambos tratamientos. Así, la altura final quedó en el rango de 15 a 25 cm, recomendada por Prieto *et al.* (1999) para las coníferas de México. Mexal y Landis (1990) indican que cuando el diámetro está entre 5 y 6 mm es posible que se logren tasas de supervivencia superiores al 80%. En esta variable el diámetro en el tratamiento con estrés fue un poco menor a los 5 mm.

Los valores finales de las relaciones peso seco de la parte aérea y del sistema radical están en los rangos recomendados por Thompson (1985), quien indica que generalmente la fitomasa de la parte aérea es mayor al de la raíz y el cociente de esa relación no debe ser mayor a 2.5. La importancia de que exista un equilibrio en este índice radica, según Birchler *et al.* (1998) y Domínguez y Návora (2000) en que define el balance entre la parte transpirante y la parte absorbente de la humedad.

Aunque en la literatura se le ha dado poca atención a las funciones del sistema radical, éste es parte integral de la anatomía de las plantas y generalmente es más susceptible al frío y a la desecación que el tallo; por lo tanto, la condición fisiológica del sistema radical puede considerarse como criterio para definir la calidad (Ritchie, 1984). De ahí la importancia que tiene la producción de fitomasa radical y su relación con el tallo. En el caso de este estudio el incremento de peso seco del sistema radical con relación al de la parte aérea, fue mayor en ambos tratamientos, aspecto favorable para lograr un mayor equilibrio entre ambas variables.

3.7 CONCLUSIONES

La reducción del potencial hídrico hasta -2.29 MPa no provocó daños físicos a *Pinus engelmannii*; sin embargo, sí limitó su crecimiento en altura, diámetro del cuello y producción de fitomasa, en contraste con el tratamiento sin restricción de humedad, que se mantuvo a potenciales hídricos entre -0.13 y -0.20 MPa. En las plantas sometidas a sequía el índice de lignificación fue mayor, al reducir la succulencia debido a la restricción de humedad a que estuvieron sujetas.

3.8 LITERATURA CITADA

- BIRCHLER, T.; ROSE, R.W.; ROYO, A.; PARDOS, M. 1998. La planta ideal: Revisión del concepto, parámetros definitorios e implementación práctica. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 7(1 y 2):110-121.
- CALAMASSII, R.; DELLA, R. G.; FALUSI, M.; PAOLETTI, E.; STRATI, S. 2001. Resistance to water stress in seedlings of eight European provenances of *Pinus halepensis* Mill. Ann. For. Sci. 58:663-672.
- CEFORA. 1994. Viveros y reforestación en México. In: Curso internacional de entrenamiento. 4-22 Junio 1994. Centro de Forestación para las Américas. NMSU. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México.
- CETINA A., V. 1997. Tres tipos de manejo en vivero de *Pinus greggii* Engelm. y su efecto en la calidad de la planta. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 72 p.
- CETINA A., V. M.; ORTEGA D., M.L.; GONZÁLEZ H., V.A.; VARGAS H.,J.; COLINAS L., M.T.; VILLEGAS M.,A. 2001. Fotosíntesis y contenido de carbohidratos de *Pinus greggii* Engelm. en respuesta a la poda y al régimen de riego en vivero. Agrociencia 35:599-607.
- CETINA A., V.M.; GONZÁLEZ H., V.A.; ORTEGA D., M.L.; VARGAS H., J.; VILLEGAS M., A. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm., previamente sometidos a podas o sequía en vivero. Agrociencia 36:233-241.
- CLEARY, B.; ZAERR, J.; HAMEL, J.; 2003. Guidelines for measuring plant moisture stress with a pressure chamber. Consultado en: <http://www.pmsinstrument.com>. Agosto 2003.

- CORNEJO O., E. 1999. Regeneration aspects of three Mexican *Pinus* species field and greenhouse studies. Thesis Doctor of Philosophy. Department of Forest Science, College of Forestry. Oregon State University, Corvallis. Oregon, U.S. 218 p.
- CORNEJO O., E.; EMMINGHAM, W. 2003. Effects of water stress on seedling growth, water potential and stomatal conductance of four *Pinus* species. *Crop. Res.* 25(1):159-190.
- CREGG, B. M.; ZHANG, J.W. 2001. Physiology and morphology of *Pinus sylvestris* seedlings from diverse sources under cyclic drought stress. *Forest Ecology and Management.* 154:131-139.
- DAY, R.J.; WALSH, S.J. 1980. A manual for using the pressure chamber in nurseries and plantations. *Silv. Rept.* 1980-2. Lakehead University. School of forestry. Thunder Bay, Ontario, Canada.
- DOMÍNGUEZ C.,P.A.; NÁVAR CH., J.J. 2000. Einflus der Pflanzenqualität von *Pinus pseudostrobus* Lindl. Auf überlebensrate und Wuchsleitung be: Aufforstungen in der östlinchen Sierra Madre Mexikos. *Forstarchiv*, 71. Heft 1. 9-13.
- HUMARA, J.M.; CASARES, A.; MAJADA, J. 2002. Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management* 167:1-11.
- JOHNSON, J.D. 1986. Irrigation and its implications for seedling growth and development. *Proceedings of the Southern Forest Nursery Association.* July 22-24, 1986. Pensacola, Florida.

- JOLY, R.J. 1985. Techniques for determining seedling water status and their effectiveness in assessing stress. *In*: Duryea, M.L. (ed). 1985. Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major tests. Workshop held. October 16-18, 1984. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Or. U.S.
- KOOISTRA, C.; BRAZIER, D.; 1999. Seedling standars and need for them. *In*: Landis, T.D.; Barnett, J.P. Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 1998. Gen. Tech. Rep. SRS-25. Asheville, N.C.:USDA. Forest Service, Southern Research Station.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P.; 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, D.C. USDA. Forest Service. 119 p.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. 1992. Container nursery environment. Vol. 3. The Container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, D.C. USDA. Forest Service.
- LOPUSHINSKY, W. 1990. Seedling moisture status. *In*: Target Seedling Symposium: Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA. Forest Service. Fort Collins, Co. U.S.
- MARTÍNEZ T., T.; VARGAS H., J.J.; MUÑOZ O., A.; LÓPEZ U., J.; 2002. Respuesta al déficit hídrico de *Pinus leiophylla*: Consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* 36:365-376.

150010

- McDONALD, S.E. 1984. Irrigation in forest tree nurseries: Monitoring and effects on seedlings growth. *In*: Duryea, M.L. and Landis, T.D. (eds.) 1984. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis. Or. pp 107-122.
- MEXAL, J.G.; LANDIS, T.D. 1990. Target seedlings concepts: Height and diameter. pp. 17-36. *In*: Rose, R., S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.). Target seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western forest nursery associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA. Forest Service. Fort Collins, Co.
- O'REILLY, C.; ARNOTT, J.T.; OWENS, J.N. 1989. Effects of photoperiod and moisture availability on shoot growth, seedling morphology and cuticle and epicutular wax features of container-grown western hemlock seedlings. *Can. J. For. Res.* 19:122-131.
- PEÑUELAS R., J. L.; OCAÑA B.,L. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-prensa. Madrid, España. 190 p.
- PRIETO R., J.A.; VERA C., G.; MERLÍN B.,E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto técnico 12. INIFAP. SAGAR. Durango, Dgo., México. 23 p.
- RAHMAN, M.S.; MESSINA, M.G.; NEWTON, R.J. 2003. Performance of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) seedlings and micropropagated plantlets on an east Texas site. II. Water relations. *Forest Ecology and Management* 178:257-270.

- RITCHIE, G.A. 1984. Assessing seedling quality. *In*: Duryea, M.L. and Landis, T.D. (eds.) 1984. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Or. pp 243-259.
- ROJAS G., M. 2003. La resistencia a la sequía. *Ciencia UANL*. 6(3):326-331.
- SCAGEL, R.; MADILL, M.; KOOISTRA, C.; BOWDEN, R. 1998. Provincial Seedling Stock Type Selection and Ordering Guidelines. Province of British Columbia. Ministry of Forests. Canada. 71 p.
- SELLER, J.R.; JOHNSON, J.D. 1985. Photosynthesis and transpiration of loblolly pine seedlings as influenced by moisture-stress conditioning. *For. Sci.* (31)3:742-749.
- SHIBU, J.; MERRITT, C.; RAMSEY, C. L. 2003. Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedlings to light, water and nitrogen. *Forest Ecology and Management* 180:335-344.
- STARKEY, T.E. 2002. Irrigation and fertilization type, rate and frequency of application. *In*: Barnett, J.P.; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J., (eds.). 2002. Proceedings: Growing longleaf pine in containers-1999 and 2001 workshops. Gen. Tech. Rep. SRS. Asheville, N.C. USDA. Forest Service, Southern Research Station. pp 30-34.
- THIE, D.L.; MANNINEN, S.; 2003. Ozone and water deficit reduced growth of Aleppo pine seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*. 41:55-63.

- THOMPSON, B.E. 1985. Seedling morphological evaluation-what you can tell by looking. pp 59-71. *In*: Duryea, M.L. (ed). Proceedings: evaluation seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test. Oregon State University. Forest Research Laboratory. Corvallis, Or.
- TIMMER, V.R.; ARMSTRONG, G. 1989. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* seedlings at varying moisture regimes. Consultado en: <http://www.forestry.auburn.edu./sfnmc/class/fy614/irrigate.html>. Marzo 2004.
- TORAL I., M. 1997. Concepto de calidad de plantas en viveros forestales. Documento técnico No. 1. Programa de Desarrollo Forestal Integral de Jalisco. Fundación Chile. Consejo Agropecuario de Jalisco. Guadalajara, Jalisco, México.
- VILLAR S., P.; OCAÑA B., L.; PEÑUELAS R., J.L.; CARRASCO M., I.; DOMÍNGUEZ L., S. 1997a. Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de *Pinus halepensis* L. *In*: Actas del II Congreso Forestal Español. pp 673-678.
- VILLAR S., P.; OCAÑA B., L.; PEÑUELAS R., J.L.; CARRASCO M., I.; DOMÍNGUEZ L., S.; RENILLA E., I. 1997b. Relaciones hídricas y potencial de formación de raíces en plántulas de *Pinus halepensis* Mill. sometidas a diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico. *In*: Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales. No. 4:81-92.

CAPÍTULO 4

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus cooperi* BLANCO EN VIVERO¹

4.1 RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el efecto de dos tamaños de envase, tres rutinas de fertilización y tres frecuencias de riego, en el crecimiento y supervivencia de *Pinus cooperi* Blanco en vivero, se realizó un experimento en el Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Durango, Dgo. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas subdivididas y consistieron en: a) dos tamaños de envase: 80 y 170 cm³ de volumen, b) tres rutinas de fertilización, con diferentes proporciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), con dosis que variaron en las tres fases de crecimiento de las plantas y c) tres frecuencias de riego aplicadas cada 48, 96 y 168 horas durante la fase de preacondicionamiento. A los ocho meses de edad se encontró que la planta producida en el envase de 170 cm³ fue estadísticamente superior ($p < 0.05$) en las variables altura, diámetro y producción de fitomasa. En cambio, las rutinas de fertilización no tuvieron efectos significativos ($p > 0.05$) en las variables estudiadas. El riego cada 48 horas también influyó significativamente ($p < 0.05$) en las variables medidas. La supervivencia no mostró diferencias significativas ($p > 0.05$) a las fuentes de variación estudiadas.

Palabras clave: *Pinus cooperi*, tamaños de envase, fertilización, riego, planta objetivo.

¹ Enviado para su publicación a la Revista Chapingo. Serie: Ciencias Forestales y del Ambiente

4.2 SUMMARY

In order to evaluate the effect of three factors on survival and growth of *Pinus cooperi* Blanco seedlings, a study was conducted in the nursery of the Experimental Research Station "Valle del Guadiana-INIFAP", Durango, Dgo., México. Treatments were distributed according to split-split plot experimental design. The variables evaluated were: a) two container sizes: 80 y 170 cm³ of total volume, b) three fertilization routines with different nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) doses according to three seedling growth phases, and c) three irrigation frequencies: every 48, 96 and 168 hours in the preconditioning phase. After eight months of seedling growth, it was found that containers with a volume of 170 cm³ had a significant effect on plant growth. The fertilization routines did not have significant differences ($p>0.05$) in any of the measured variables. Finally, the irrigation schedules enhanced height and diameter growth and phytomass productivity when irrigated every 48 hours. Survival was not controlled by any of the studied sources of variation.

Key words: *Pinus cooperi*, container sizes, fertilization, irrigation, target seedling.

4.3 INTRODUCCIÓN

La tecnología para cultivar planta forestal en contenedores rígidos en Durango ha sido desarrollada durante la última década. Hasta principios de 1990 prevaleció el sistema tradicional, caracterizado por producir planta en condiciones ambientales de intemperie, en bolsas de polietileno con volúmenes de 300 a 800 cm³ y con sustratos compuestos por tierra de monte, mantillo de encino y arena de río, entre otros (Prieto *et al.*, 1999). Este sistema de producción contrasta con el de contenedores rígidos, que considera ambientes controlados, contenedores elaborados a base de poliestireno o plástico con volúmenes de 50 a 250 cm³ y sustratos artificiales, con un mínimo de nutrimentos (Landis *et al.*, 1990).

El proceso de cambio del sistema tradicional al de contenedores rígidos ha sido lento y difícil; en muchos casos se ha generalizado para diversas regiones y/o

especies, lo que ha ocasionado deficiencias en el proceso productivo, manifestado en las características morfológicas y fisiológicas de la planta. Por ello, Landis (2002) indica que es necesario generar tecnología que responda a necesidades específicas, que favorezca la supervivencia y crecimiento de las plantaciones establecidas, objetivo final de los programas de producción de planta. Las prácticas de manejo en vivero, realizadas adecuadamente, contribuyen a lograr que las plantas adquieran los atributos morfológicos y fisiológicos requeridos en el sitio de plantación (Scagel *et al.*, 1998).

Diversos aspectos técnicos tienen relación con el proceso productivo de planta en vivero. El envase define el espacio de crecimiento del sistema radical de las plantas y para optimizar costos se busca minimizar el volumen, sin que se afecte el crecimiento (Landis *et al.*, 1990; Bainbridge, 1994). El tamaño óptimo del envase debe considerar las características morfológicas de la planta a producir, así como el entorno donde será plantada (Barnett y Brisette, 1986). Actualmente existen en el mercado una gran diversidad de tipos de envases, la selección del mismo deberá considerar aspectos de tipo biológico y económico.

Mientras tanto, la nutrición influye en los procesos fisiológicos de las plantas, por lo que se requiere que los nutrientes se proporcionen en la cantidad y periodicidad adecuada. Esto debido a que los sustratos turba, agrolita, vermiculita y corteza compostada, utilizados como medio de crecimiento, son pobres en contenido nutritivo, pero adecuados por sus características físico-químicas y estructurales, lo que hace que el aporte de nutrientes se realice a través de la incorporación de fertilizantes (Oliet *et al.*, 1999). La concentración de los nutrientes minerales en la solución del medio es fundamental en la fertilización de las plantas, concentraciones bajas limitan el crecimiento de las plantas; en cambio, altos niveles pueden afectar su calidad (Landis *et al.*, 1989).

La fase de preacondicionamiento tiene la finalidad de incrementar la cantidad de tejido leñoso de las plantas, previo a su establecimiento en campo

(Joly, 1985), lo cual se logra mediante la aplicación integrada de una serie de prácticas culturales, tales como la disminución de las tasas de riego, la modificación de la fertilización (Boivin *et al.*, 2002), donde considere la disminución del nitrógeno, el incremento del potasio y la eliminación del efecto de invernadero. La restricción de humedad al medio de crecimiento de las plantas, previo a su establecimiento en campo, permite reducir el crecimiento de las plantas, propicia la aparición de la yema apical e incrementa la lignificación, lo que favorece su preacondicionamiento.

Debido a que los aspectos anteriores son importantes en la producción de planta, el objetivo de este experimento fue evaluar el efecto de: a) dos tamaños de envase, b) tres rutinas de fertilización y c) tres frecuencias de riego en la fase de preacondicionamiento, en el crecimiento y supervivencia de *Pinus cooperi* Blanco en vivero.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1 Condiciones de producción y siembra

El experimento se realizó en el Campo Experimental Valle del Guadiana, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Durango, Dgo., a 24° 01' N y 104° 44' W, a una altitud de 1830 m. La planta se produjo en un invernadero cubierto con plástico y malla sombra del 35%. Durante la fase de preacondicionamiento se eliminó el efecto de invernadero y se dejó a las plantas en condiciones ambientales de intemperie.

El sustrato utilizado consistió en una mezcla compuesta por turba al 55%, vermiculita al 24% y agrolita al 21%. La siembra se realizó el 30 de noviembre de 2001, después de que la semilla se remojó en agua durante 24 horas y se desinfectó 10 minutos en una solución compuesta por nueve partes de agua y una parte de cloro comercial al 6%. Para evitar daños por Damping off la semilla fue impregnada con el fungicida Promyl™.

4.4.2 Tratamientos evaluados y diseño experimental

Envases. Se utilizaron dos tamaños de envase contenidos en charolas de poliestireno de 35 x 60 cm de ancho y largo, respectivamente: a) envase de 80 cm³ de volumen, con 10.4 cm de largo y 3.6 cm de diámetro superior y b) envase de 170 cm³ de volumen, con 15.6 cm de largo y 4.3 cm de diámetro superior.

Fertilización. Se evaluaron tres rutinas de fertilización basadas en Multicote™ y Peters professional™. Multicote™ es un fertilizante granulado que tarda en liberarse de 9 a 11 meses, cuya formulación N-P-K (porcentaje de nitrógeno-porcentaje de P₂O₅-porcentaje de K₂O) fue de 15:07:15 y se añadió a la tres rutinas de fertilización durante la preparación del sustrato en dosis de 5 kg m⁻³.

En cambio, Peters Professional™ es soluble en agua y se caracteriza por tener diferentes proporciones de N-P-K en cada fase de crecimiento que caracterizan a las plantas en vivero: a) fase de establecimiento: Peters iniciador™ (7:40:17 N-P-K), b) fase de crecimiento rápido: Peters desarrollo™ (20:7:19 N-P-K), y c) fase de preacondicionamiento: Peters finalizador™ (4:25:35 N-P-K). Dichas proporciones de N-P-K sirvieron de base para calcular las dosis evaluadas (Cuadro 4.1) mediante la fórmula (Landis *et al.*, 1989):

$$\text{Cantidad de fertilizante (g L}^{-1}\text{)} = \frac{\text{partes por millón deseadas}}{\text{contenido del nutrimento (\%)}} \times 0.1$$

Cuadro 4.1 Dosis de fertilización de N-P-K, en partes por millón (ppm), utilizadas por fase de crecimiento de las plantas.

Rutina de fertilización	Establecimiento	Crecimiento rápido	Preacondicionamiento
R1	50:125:101*	100:15:79	50:136:363
R2	75:187:151	175:27:138	75:205:545
R3	100:249:202	250:38:197	100:272:726

*Peters professional™

Las características de cada fase de crecimiento son (Landis *et al.*, 1989; Dumroese *et al.*, 1998): a) fase de establecimiento, comprende desde la germinación hasta que la raíz principal crece el largo del envase, aplicada del 22 de diciembre de 2001 al 27 de febrero de 2002, b) fase de crecimiento rápido, ocurre a partir de que inician su crecimiento en altura hasta que se logra la altura objetivo, evaluada del 1 de marzo al 7 de junio de 2002, y c) de preacondicionamiento, se considera desde que cesa el crecimiento en altura hasta que sale del vivero, estudiada del 10 de junio al 25 de julio de 2002. Las fertilizaciones se aplicaron cada 72 horas.

Riego. Este factor se evaluó sólo durante la fase de preacondicionamiento y consistió en regar las plantas en tres intervalos de tiempo: a) cada 48 horas, con un contenido de humedad del sustrato (CH) entre el 335 y el 173%, b) cada 96 horas, con un CH del 333 al 87% y c) cada 168 horas, con un CH del 346 al 69%. Los CH máximos corresponden a la condición de saturación de humedad del sustrato al inicio de los ciclos de estrés hídrico, en tanto que los CH mínimos se obtuvieron al finalizar cada ciclo de estrés. Después de terminar cada ciclo el sustrato se mantuvo saturado de humedad durante 24 horas.

El contenido gravimétrico de humedad se determinó mediante el método propuesto por McDonald (1984) y Landis *et al.* (1989):

$$CH(\%) = \frac{\text{Peso fresco del sustrato} - \text{Peso anhidro del sustrato}}{\text{Peso anhidro del sustrato}} \times 100$$

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas subdivididas. Cada tratamiento estuvo compuesto por cuatro repeticiones. La parcela grande consideró a la frecuencia de riegos, la mediana a las rutinas de fertilización y la pequeña a los tamaños de envase. El efecto de la parcela grande se evaluó sólo en la fase de preacondicionamiento.

4.4.3 Variables evaluadas

Al final de cada fase de crecimiento se seleccionaron en forma aleatoria ocho plantas por unidad experimental, a las que se les evaluó: a) altura de la parte aérea, se midió desde la base del cuello hasta la yema apical, b) diámetro del cuello, se registró en la unión del tallo y raíz y c) producción de fitomasa seca de la parte aérea, del sistema radical y total, se cuantificó después de secar las muestras durante 72 horas en una estufa a 72 °C. Además, en la evaluación final se determinó: a) supervivencia, con el fin de normalizar los datos éstos fueron transformados a la función arco seno y b) asimilación de nutrimentos, mediante análisis foliares se determinaron las cantidades de N-P-K absorbido en el follaje de las plantas.

4.4.4 Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo experimental utilizado fue (Martínez, 1988):

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \tau_j + \eta_k + \delta_l + (\tau\eta)_{jk} + (\tau\delta)_{jl} + (\eta\delta)_{kl} + (\tau\eta\delta)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = variables respuesta, μ = promedio general de las diferentes fuentes de variación, β_i = efecto del i-ésimo bloque, τ_j = efecto del j-ésimo tratamiento sobre la parcela grande, η_k = efecto del k-ésimo tratamiento sobre la parcela mediana, δ_l = efecto del l-ésimo tratamiento sobre la parcela chica, $(\tau\eta)_{jk}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo tratamiento, $(\tau\delta)_{jl}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento, $(\eta\delta)_{kl}$ = efecto de la interacción entre el k-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento, $(\tau\eta\delta)_{jkl}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento, el k-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento; ε_{ijkl} = error aleatorio.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza realizados a través del paquete Statistical Analysis System (SAS), utilizándose el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$), se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró que las interacciones de los factores evaluados: tamaño de envase, rutinas de fertilización y frecuencia de riegos, no fueron significativas ($p>0.05$) en las tres fases de crecimiento de las plantas: establecimiento, crecimiento rápido y preacondicionamiento. Esto significa que cada factor influyó de manera independiente en el crecimiento de las plantas, resultados que se presentan y discuten a continuación.

4.5.1 Fase de establecimiento

Tamaños de envase. El tamaño de envase no tuvo efectos significativos ($p>0.05$) en las variables evaluadas (Figura 4.1), lo que indica que a las 12 semanas de edad de las plantas el volumen en los envases no fue un factor limitativo para el crecimiento del sistema radical, parte que más crece después de la germinación debido a la necesidad que tienen las plantas para establecerse en el sustrato (Johnson y Cline, 1991).

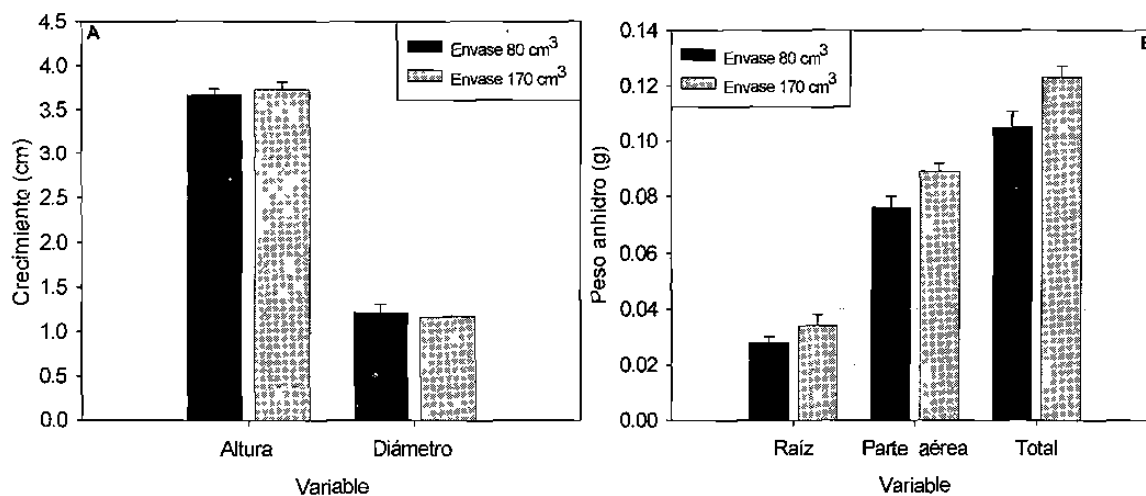


Figura 4.1 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en plantas de *Pinus cooperi* a 12 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

En cambio, Landis *et al.* (1990) encontraron que el volumen del envase influyó en la producción de fitomasa de *Pinus contorta* Dougl. después de la

séptima semana de edad. Por su parte, CEFORA (1994) señala que en *Pinus caribaea* Mor., el efecto del tamaño de envase se manifestó a partir de la décima semana, con una menor producción de fitomasa en envases de 41 a 350 cm³ de volumen con relación a envases de 740 cm³. En este experimento no existieron diferencias debido posiblemente a que la especie *Pinus cooperi* tuvo un crecimiento lento después de la germinación, tal como lo muestran los resultados, debido a que parte de esta fase ocurrió en invierno.

Rutinas de fertilización. Las dosis de nutrimentos aplicadas solo tuvieron efectos significativos ($p < 0.05$) en la variable altura, pero sin mostrar grandes diferencias entre los tratamientos evaluados (Figura 4.2). Aunque el crecimiento de las plantas en las variables evaluadas no fue significativo, con excepción de la altura, esta fase es importante debido a que es cuando el sistema radical se establece en el medio de crecimiento y las plantas están listas para formar nuevos tejidos en las regiones meristemáticas e iniciar la fase de crecimiento rápido (Timmer y Armstrong, 1989).

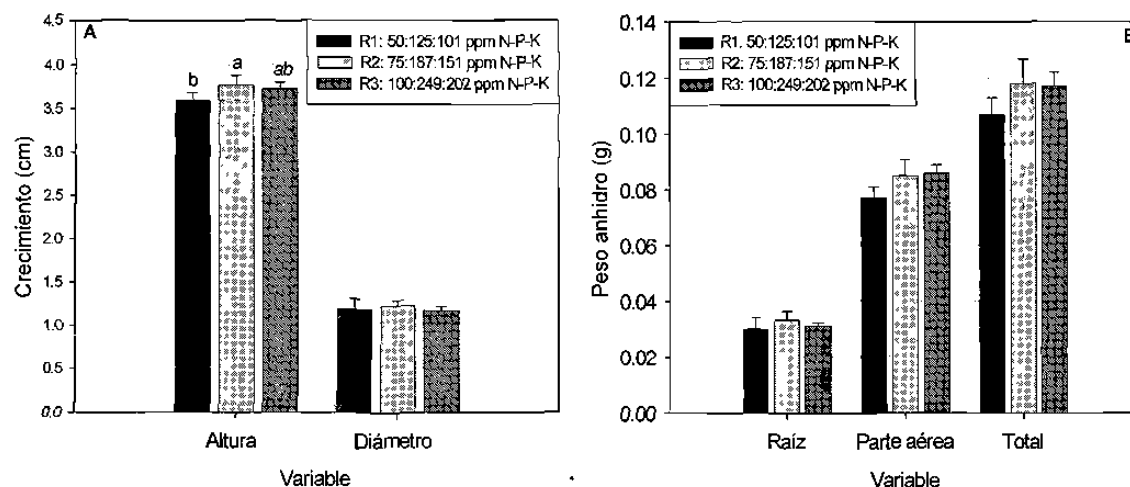


Figura 4.2 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de *Pinus cooperi* a 12 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Si bien, existe controversia sobre la conveniencia de suministrar fertilizante en la fase de establecimiento de las plantas, investigadores como Landis *et al.* (1989) y Starkey (2002) recomiendan aplicar dosis bajas de nitrógeno (50 ppm). Por su parte, Dumroese *et al.* (1998) señalan que el programa de fertilización debe iniciar dos a tres semanas después de la germinación, en dosis de 33 a 65 ppm de nitrógeno. También debe considerarse que el añadir fósforo favorece el crecimiento del sistema radical. Para esta fase las dosis de fósforo superaron en más del doble al nitrógeno en las tres rutinas de fertilización.

4.5.2 Fase de crecimiento rápido

Tamaños de envase. El tamaño de envase tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) sólo en la variable producción de fitomasa del sistema radical, con los resultados más favorables en el envase de mayor volumen (Figura 4.3). Aunque la diferencia en volumen entre envases fue de 90 cm^3 , el espacio disponible en el envase con menor volumen (80 cm^3) no restringió el crecimiento en las demás variables, a pesar de que las plantas tenían 24 semanas de edad.

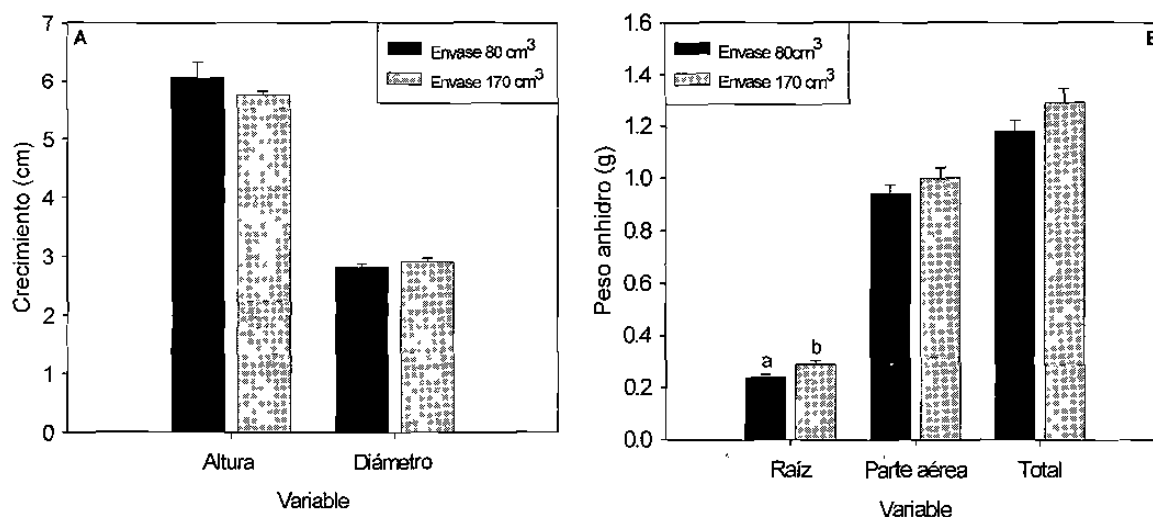


Figura 4.3 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en plantas de *Pinus cooperi* a 25 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Rutinas de fertilización. En este factor sólo existieron diferencias estadísticas en la variable diámetro del cuello, con superioridad en las dosis baja e intermedia ($p < 0.05$) (Figura 4.4). Las dosis de fertilización en esta fase variaron de 100 a 250 ppm de nitrógeno, valores que están en el rango de 60 a 260 ppm de nitrógeno recomendado por Landis *et al.* (1989), Dumroese *et al.* (1998), Aldana y Aguilera (2002) y Starkey (2002). Aunque, dichos investigadores señalan que las fertilizaciones deben ser diarias, en este caso las aplicaciones fueron cada 72 horas, lo que hizo que disminuyera la cantidad de fertilizante total suministrado por período de tiempo.

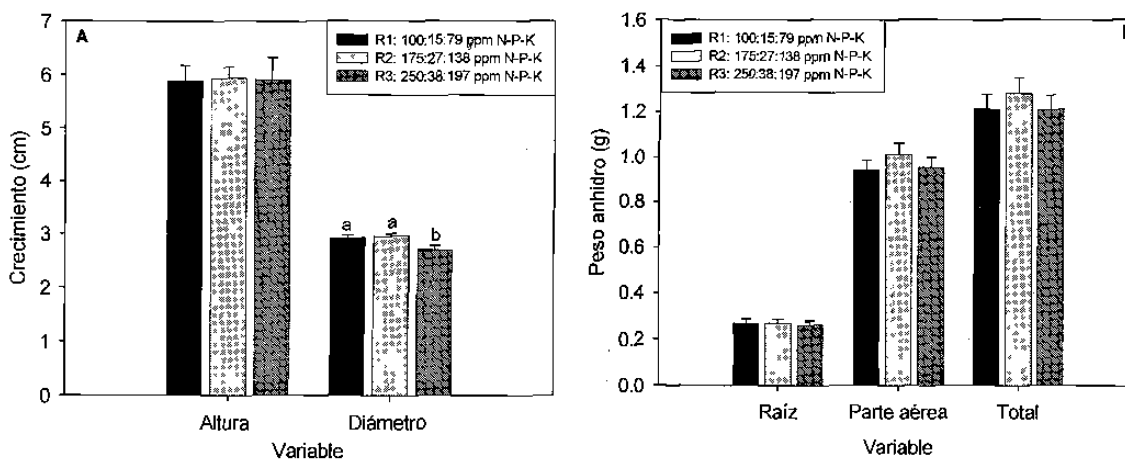


Figura 4.4 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de *Pinus cooperi* a 25 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

4.5.3 Fase de precondicionamiento

Tamaños de envase. Las variables evaluadas tuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$), con excepción de la supervivencia que fue superior al 98% en ambos tamaños de envase, obteniéndose los resultados más favorables en el envase de 170 cm³ de volumen (Figura 4.5), el cual tuvo más del doble de espacio disponible para el crecimiento del sistema radical. Además, la parte aérea de la planta producida en el envase de 170 cm³ tuvo menor densidad (395 plantas m⁻²) con relación al envase de 80 cm³ (574 plantas m⁻²), lo que posiblemente favoreció su

crecimiento, al tener menos competencia por luz y disponer de más espacio para el crecimiento del área foliar.

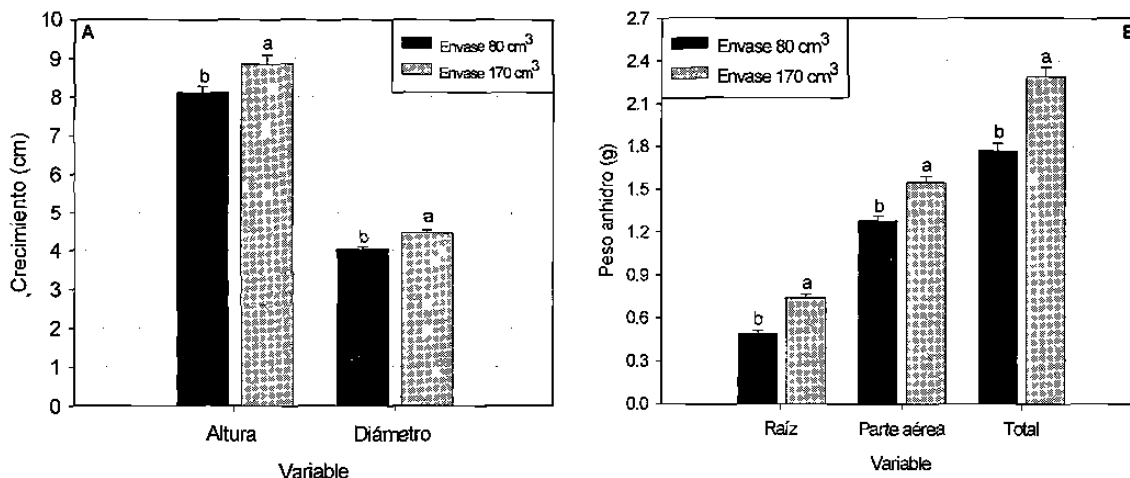


Figura 4.5 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por tamaño de envase, en *Pinus cooperi* a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Pese a que en las fases de establecimiento y crecimiento rápido, el efecto del tamaño de envase no fue significativo en las variables evaluadas ($p > 0.05$), con excepción del peso seco de la raíz en la fase de crecimiento rápido, los resultados de la fase de precondicionamiento resaltan la importancia que tiene el volumen del envase en el crecimiento del sistema radical y en consecuencia de toda la planta, para que adquieran los atributos morfológicos requeridos para su establecimiento apropiado en campo (Figura 4.6).

Aunque existen diversas opiniones respecto a las características que debe reunir un envase, investigadores como Landís *et al.* (1990); Braindridge (1994); Peñuelas y Ocaña (1996); Domínguez (1997); Domínguez *et al.* (2000) y Mullan y White (2001) coinciden en que el volumen del envase es trascendental en el crecimiento de las plantas en vivero y en campo, al tener relación directa con el

crecimiento del sistema radical, medio a través del cual las plantas absorben la humedad y nutrientes en el sitio de plantación, además de servir de sostén.

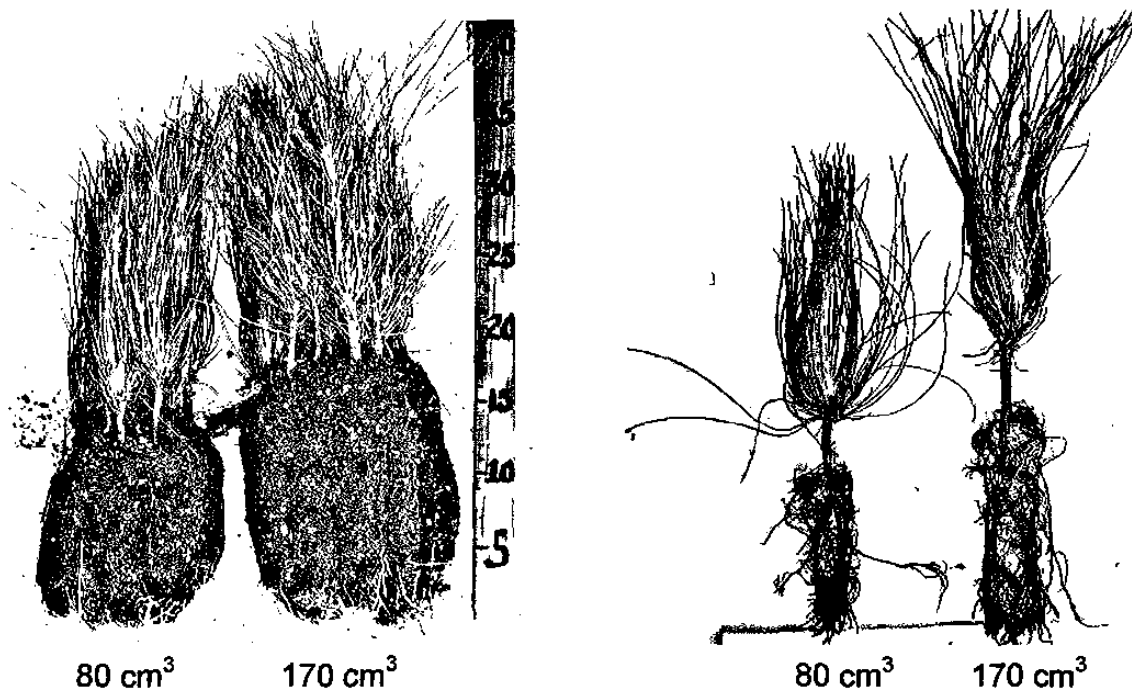


Figura 4.6 Características morfológicas de la planta a las 31 semanas de edad, producida en envases de 80 y 170 cm³ de volumen en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP. Dgo., Dgo.

En México se han realizado algunos experimentos para determinar el efecto del tamaño de envase en el crecimiento de las plantas y entre ellos pueden señalarse el de León (1999), quien produjo planta de *Pinus cooperi* en envases de 65, 80, 121 y 170 cm³ de volumen y encontró que el envase de mayor volumen fue el que más favoreció el crecimiento de las plantas. Por su parte, Olivas y Pineda (2000) produjeron planta de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus patula* Schl et. Cham en envases 100, 156 y 262 cm³ de volumen y determinaron que el envase de 156 cm³ permitió producir planta de buena calidad a un costo aceptable. En tanto, Quiñones (2001), evaluó en *Pinus greggii* y *Pinus engelmannii* cinco tamaños de envase, con volúmenes de 93 a 262 cm³ y encontró que el envase de mayor volumen destacó sobre los demás; aunque, en los envases de 100 y 130 cm³ se produjo planta con aceptables atributos morfológicos.

Rutinas de fertilización. Los resultados de la rutinas de fertilización evaluadas no mostraron diferencias significativas en las variables evaluadas ($p>0.05$) (Figura 4.7), al tener características morfológicas similares (Figura 4.8). Dichos resultados coinciden con los obtenidos en las fases de establecimiento y crecimiento rápido, evaluadas anteriormente, excepto por la altura en la fase de establecimiento y del diámetro del cuello en la fase de crecimiento rápido. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Rodríguez y Duryea (2003), quienes también no encontraron diferencias en la supervivencia y crecimiento de *Pinus palustris* Mill, debido al efecto de la fertilización. En cambio, Avitia (2001) fertilizó a *Pinus engelmannii* y *Pinus durangensis* Mart. con tres dosis y la rutina más favorable fue cuando fertilizó con 75:187:151 ppm de N-P-K, 175:27:138 ppm de N-P-K y 75:205:545 ppm de N-P-K, aplicadas en las fases de establecimiento, crecimiento rápido y precondicionamiento, respectivamente.

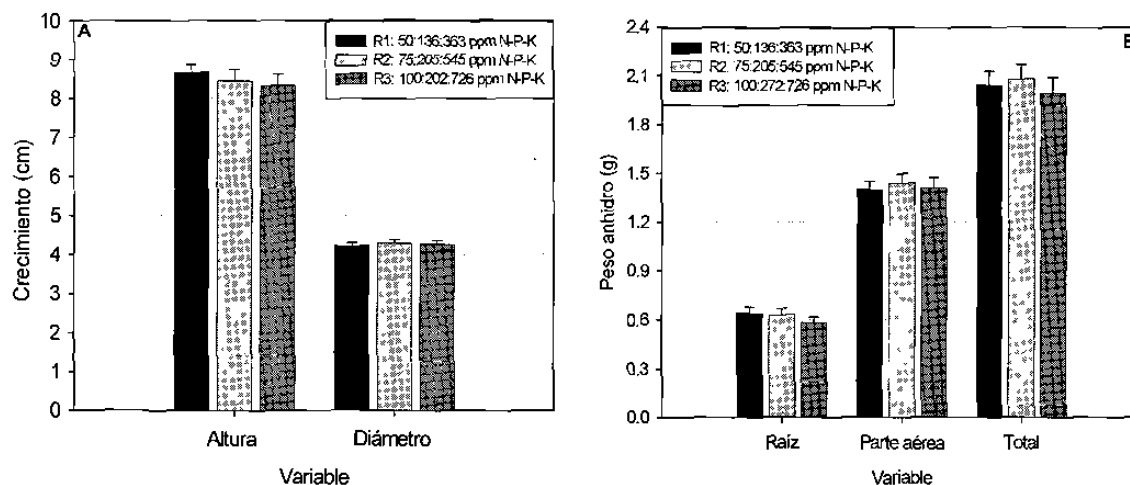


Figura 4.7 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por rutina de fertilización, en plantas de *Pinus cooperi* a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

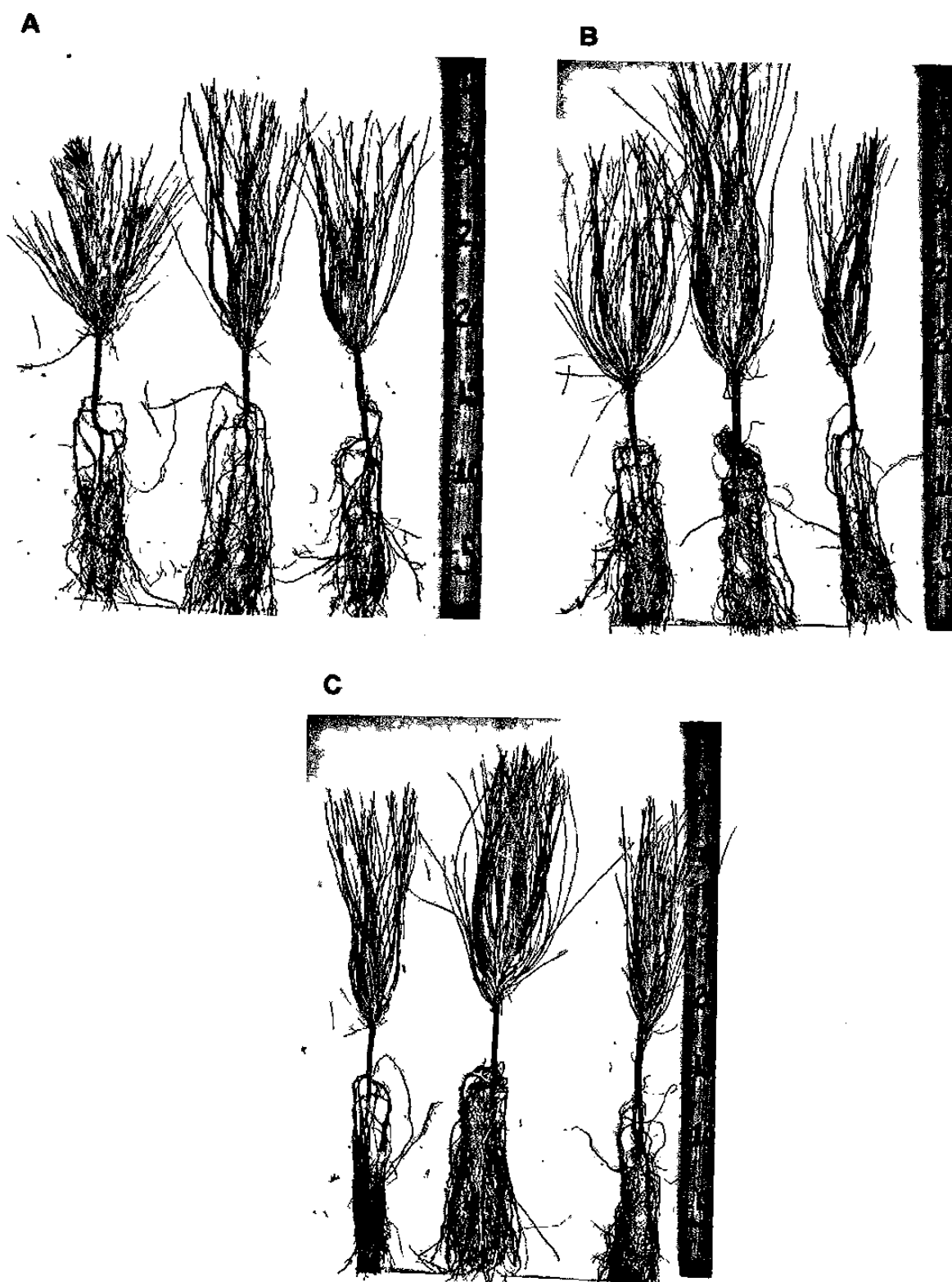


Figura 4.8 Aspecto morfológico de las plantas a las 31 semanas de edad por rutina de fertilización evaluadas al finalizar la fase de precondicionamiento: A) 50:136:363 ppm N-P-K, B) 75:205:545 ppm N-P-K y C) 100:272:726 ppm N-P-K.

Alarcón (1999) fertilizó a *Pinus greggii* Engelm. con cuatro dosis de nitrógeno (84 a 210 ppm), combinadas con cuatro niveles de potasio (39 a 390 ppm) y las mejores respuestas se lograron en las dosis con 168 ppm de N + 273 ppm de K y 84 ppm de N + 273 ppm de K. Domínguez *et al.* (2000), señalan que la aplicación de 150:70:30 ppm de N-P-K fue la dosis que más favoreció el crecimiento de *Pinus pinea* L. Henderson *et al.* (1994) fertilizaron dos veces por semana planta de *Pinus banksiana* Lamb. en dosis de 0, 50, 100, 120, 140, 200, 600 ppm de nitrógeno y en forma exponencial en el nivel intermedio y máximo, y sólo las dos dosis más bajas tuvieron un decremento significativo en altura, diámetro y peso seco total de las plantas.

Con relación a los nutrimentos N-P-K asimilados en el follaje de las plantas, los valores de las tres dosis, con excepción del nitrógeno para la dosis menor, estuvieron en el rango recomendado por Landis *et al.* (1989) y CEFORA (1994), quienes indican que el nitrógeno total debe estar entre 1.3 y 3.5%, el fósforo entre 0.2 y 0.6% y el potasio entre 0.7 y 2.5% (Figura 4.9). Sin embargo, los porcentajes de nutrimentos obtenidos de los análisis foliares, principalmente del nitrógeno y el fósforo, están en el límite inferior recomendado. Esto indica que las dosis de nutrimentos, principalmente la baja e intermedia, deben aumentarse para favorecer el crecimiento de las plantas. Lo anterior explica la ausencia de diferencias en la planta producida debido al efecto de las rutinas de fertilización utilizadas. Además, Dumroese (2003) recomienda incrementar las dosis de nitrógeno en la fase de precondicionamiento, para que las plantas adquieran reservas de nutrimentos que le servirán durante su establecimiento.

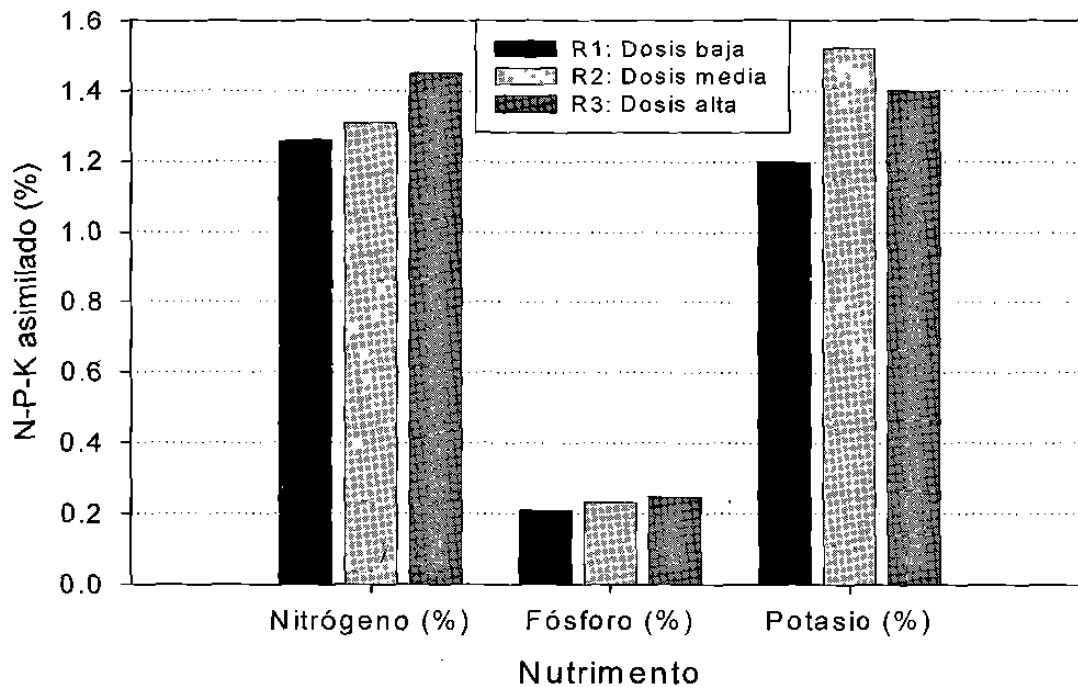


Figura 4.9 Niveles de nutrientes asimilados por las plantas de *Pinus cooperi* a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo.

Frecuencia de riegos. El factor frecuencia de riegos de las plantas mostró diferencias significativas para las variables evaluadas ($p < 0.01$) (Figura 4.10), con excepción de la supervivencia que fue superior al 98% en todos los tratamientos. Las pruebas de medias de Tukey ubicaron en el nivel superior a la planta regada cada 48 horas. Esto indica que el crecimiento de las plantas continuó normalmente cuando el contenido de humedad del medio de crecimiento fluctuó entre 335 y 173%. En cambio, cuando se regó cada 96 horas (333 a 87% de contenido de humedad) y cada 168 horas (346 a 69% de contenido de humedad), el crecimiento de las plantas se redujo debido a la restricción de humedad a que estuvieron sujetas.

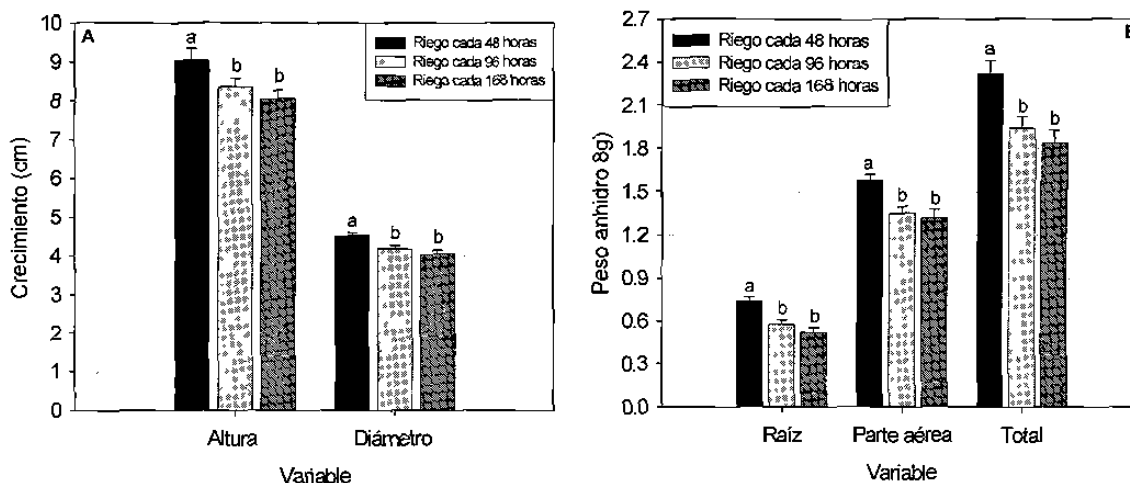


Figura 4.10 Crecimiento en altura y diámetro (A), y producción de fitomasa (B) por frecuencia de riego, en plantas de *Pinus cooperi* a 31 semanas de edad, producidas en el vivero del Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP, Dgo., Dgo. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Es importante destacar que en la fase de precondicionamiento el objetivo es incrementar el índice de lignificación de las plantas, para que tengan mayores probabilidades de supervivencia en el sitio de plantación. Rojas (2003) indica que cuando existe deficiencia de agua en las plantas, los procesos fisiológicos disminuyen su eficacia. En ese sentido, Timmer y Armstrong (1989) señalan que en la fase de precondicionamiento la función del agua cambia, ya que aparte de servir para que las plantas realicen su metabolismo, la reducción de humedad en el medio de crecimiento propicia que exista estrés hídrico, condición que favorece una disminución del crecimiento y propicia que las yemas entren en estado de letargo.

4.6 CONCLUSIONES

El tamaño de envase influyó en el crecimiento de las plantas a partir de la fase de precondicionamiento, con los mejores resultados en el envase de 170 cm^3 de volumen.

Las rutinas de fertilización evaluadas no mostraron diferencias significativas en las variables evaluadas durante las tres fases de crecimiento de las plantas.

La frecuencia de riego influyó en el crecimiento de las plantas y la frecuencia cada 48 horas, en la fase de preacondicionamiento, fue la que menos limitó el crecimiento de las plantas.

4.7 LITERATURA CITADA

- ALARCÓN B., M. 1999. Crecimiento inicial y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm. bajo diferentes condiciones de fertilidad en invernadero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 107 p.
- ALDANA B., R.; AGUILERA R., M. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. PRONARE. CONAFOR. Documento técnico. Guadalajara, Jal. 44 p.
- AVITIA S., V. 2001. Evaluación de dos tipos de fertilizantes, en tres rutinas, en la producción de dos especies de pino en sistema tecnificado. Tesis Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. 57 p.
- BAINDBRIDGE, D. A. 1994. Container optimization-field data support container innovation. *In*: Landis, T.D.; Dumroese, R.K., Tech. coords. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-257. Fort Collins, Co. USDA. Forest Service.
- BARNETT, J.P.; BRISSETTE, J.C. 1986. Producing Southern Pine Seedlings in Containers. New Orleans, Louisiana. Gen. Tech. Rep. SO-59. USDA. Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 71 p.

- BOIVIN, J.R.; MILLER, B.D.; TIMMER, V.R. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: biomass and nutrients dynamics. *Ann. For. Sci.* 59:255-264.
- CEFORA, 1994. Viveros y reforestación en México. *In: Curso internacional de entrenamiento. 4-22 junio 1994. CEFORA-NMSU. Servicio Forestal de los Estados Unidos. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre en México.*
- DOMÍNGUEZ L., S. 1997. Ensayo de diferentes tipos de contenedores para *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster* y *Pinus pinea*: Resultados de vivero. *In: Actas del III Congreso Forestal Español. Mesa 3:189-194. Pamplona, España.*
- DOMÍNGUEZ L., S.; CARRASCO M. I.; HERRERO S., N.; OCAÑA B., L.; NICOLÁS P., J.L.; PEÑUELAS R., J.L. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de plantas de *Pinus pinea* en campo. *Actas del Primer Simposio sobre el pino piñonero. Vallaolid, España. pp. 203-209.*
- DUMROESE R. K.; LANDIS, T.D.; WENNY, D.L. 1998. Raising forest tree seedlings at home: Simple methods for growing conifers of the Pacific Northwest from seeds. Moscow, Idaho: University of Idaho, Idaho. Forest Wildlife and Range Experiment Station. Contribution Number 860. 56 p.
- DUMROESE, R.K. 2003. Hardening fertilization and nutrient loading of conifer seedlings. *In: Riley, L.E., Dumroese, R.K., Landis, T.D., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings RMRS-P-28. Odgen, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 31-36.*

- HENDERSON, G.S.; SMITH, W.; NICKS, B. 1994. Effects of contrasting fertilizer regimes on greenhouse growth and outplant performance of containerized jack pine. *In*: Landis, T.D.; Dumroese, R. K., Tech. coords. Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. July 11-14; Williamsburg, VA. Gen. Tech. Rep. RM-GTR-257. Fort Collins, Co. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station. pp 130-138.
- JOLY, R.J. 1985. Techniques for determining seedling water status and their effectiveness in assessing stress. *In*: Duryea, M.L. (ed). Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon. U.S.
- JOHNSON, J.D.; CLINE, M.L. 1991. Seedling quality of southern pines. *In*: Duryea, M.L. and Dougherty, P.M. (eds.) Forest Regeneration Manual. Lluver Academic Pub. Netherlands. pp 143-159.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD S.E.; BARNETT J.P. 1989. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. The container tree nursery manual. Agric. Handbk 674. Washington, D. C. USDA. Forest Service. 119 p.
- LANDIS, T.D.; TINUS R.W.; McDONALD S.E.; BARNETT J.P. 1990. Containers and growing media. Vol. 2. The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, D.C. USDA. Forest Service. 88 p.
- LANDIS, T.D. 2002. The target seedling concept. A tool for better communication between nurseries and their customeers. *In*: Riley, L.E.; Dumroese, R.K.; Landis, T.D., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings RMRS-P-28. Odgen, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 31-36.

- LEÓN B., P. 1999. Evaluación de 20 mezclas de sustratos y cuatro tamaños de envase en la producción de *Pinus cooperi* Blanco en sistema tecnificado. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo.
- MARTÍNEZ G., A. 1988. Diseños experimentales. Trillas. México. pp 118-160.
- McDONALD, S.E., 1984. Irrigation in forest tree nurseries: Monitoring and effects on seedlings growth. *In*: Duryea, M.L. and Landis, T.D. (eds.). Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Oregon State University. Corvallis, Or. U.S. pp 107-122.
- MULLAN, G.D.; WHITE, P.J. 2001. Seedling quality: Making informed choices. Bushcare and the Department of Conservation and Land Management. Wheathelt Region.
- OLIET, J.; SEGURA, M.L.; DOMÍNGUEZ, F.M.; BLANCO, E.; SERRADA, R.; LÓPEZ A., M.; ARTERO, F. 1999. Los fertilizantes de liberación controlada lenta aplicados a la producción de planta forestal de vivero. Efecto de dosis y formulaciones sobre la calidad de *Pinus halepensis* Mill. Invest. Agr.: Sist. Recur. For. Vol. 8(1)207-228.
- PEÑUELAS R., J.L.; OCAÑA., B.L. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- PINEDA O., T; OLIVAS G., E.J. 2000. Análisis de la calidad de brinzales de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus patula* Schl et. Cham, producidos en tres tamaños de envases rígidos. Tesis Licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

- PRIETO R. J.A.; VERA C. G.; MERLÍN B.E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto técnico 12. INIFAP. SAGAR. Durango, Dgo., México. 23 p.
- QUIÑONES M., L.A. 2001. Crecimiento y sobrevivencia de *Pinus greggii* Engelm. y *Pinus engelmannii* Carr., producidos en cinco tipos de envase en sistema tecnificado. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. 55 p.
- RODRÍGUEZ T., D.A.; DURYEY, M.L. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. *Agrociencia* 37:299-307.
- ROJAS G., M. 2003. La resistencia a la sequía. *Ciencia UANL*. 6(3):326-331.
- SCAGEL R.; MADILL M.; KOOISTRA C.; BOWDEN R. 1998. Provincial Seedling Stock Type Selection and Ordering Guidelines. Province of British Columbia. Ministry of Forests. Canada. 71 p.
- STARKEY, T.E. 2002. Irrigation and fertilization type, rate and frequency of application. *In*: Barnett, J.P.; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J., (eds.). *Proceedings: Growing longleaf pine in containers. 1999 and 2001 workshops*. Gen. Tech. Rep. SRS. Asheville, N.C. USDA. Forest Service, Southern Research Station. pp 30-34.
- TIMMER, V.R.; ARMSTRONG, G. 1989. Growth and nutrition of containerized *Pinus resinosa* seedlings at varying moisture regimes. Consultado en: <http://www.forestry.auburn.edu/sfnmc/class/fy614/irrigate.html>. Marzo 2004.

CAPÍTULO 5

EFECTO DEL TAMAÑO DE ENVASE Y DEL RIEGO EN VIVERO, EN LA SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE *Pinus cooperi* BLANCO PLANTADO EN DOS SITIOS¹

5.1 RESUMEN

Con el objetivo de evaluar en campo planta producida en vivero en: a) dos tamaños de envase (80 y 170 cm³) y b) regada en la fase de preacondicionamiento en tres intervalos de tiempo (riego cada 48, 96 y 168 horas), en agosto de 2002 se plantó en dos sitios ubicados en el predio particular El Carmen, Durango, Dgo. y en Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. Los tratamientos fueron distribuidos en un diseño experimental de bloques al azar, con un arreglo en parcelas subdivididas. Cada parcela estuvo compuesta por 25 plantas. Las variables evaluadas fueron: supervivencia, crecimiento en diámetro y altura, y producción de fitomasa. A los 18 meses de plantado se encontró que el envase de 170 cm³ de volumen favoreció mejor el crecimiento de las plantas en diámetro con 9.26 mm y producción total de fitomasa con 19.0 g. El riego cada 96 horas resultó superior estadísticamente ($p < 0.05$) en el diámetro con 9.17 mm y producción de fitomasa con 17.9 g. Las variables supervivencia y altura no tuvieron diferencias significativas ($p > 0.05$) en los factores tamaño de envase y frecuencia de riegos. El factor sitio de plantación sólo tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) en la supervivencia y crecimiento en altura. La supervivencia fue mayor en el sitio El Carmen, Dgo. con 85.6%, mientras que el crecimiento en altura sobresalió en Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. con 18.5 cm.

¹ Se enviará para su publicación a la Revista Madera y Bosques

Palabras clave: *Pinus cooperi*, tamaños de envase, riego, plantación, dos sitios, supervivencia, crecimiento.

5.2 SUMMARY

The objective of this study was to evaluate seedling performance on field conditions. The seedlings were produced under the following routines in nursery: a) two containers sizes: 80 and 170 cm³ of volume and b) three irrigation frequencies: every 48, 96 and 168 hours. In august 2002 the seedlings were planted at two sites located in predio particular El Carmen, Durango, Dgo. and Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. Split-split plot experimental design was established at the two sites. Each experimental unit had 25 seedlings. Seedling survival, height and diameter growth and phytomass production were evaluated during 18 months. The container with a volume of 170 cm³ had a significant effect ($p < 0.05$) on diameter growth with 9.26 mm and phytomass production of 19.0 g. The irrigation frequencies every 96 hours had significant differences ($p > 0.05$) in diameter growth with 9.17 mm and phytomass production with 17.9 g. Seedling survival and height growth had not significant differences ($p > 0.05$) between container sizes and frequencies irrigation. Site of plantation had significant differences ($p < 0.05$) in survival and height growth. The best survival rate was found in El Carmen, Dgo. with 85.6% and the best height growth was observed in Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. with 18.5 cm.

Key words: *Pinus cooperi*, container sizes, irrigation, plantation, two sites, survival, growth.

5.3 INTRODUCCIÓN

Diversos factores influyen en la supervivencia y crecimiento de las plantas en campo, principalmente durante su adaptación después de plantado y entre ellas destacan las características morfológicas y fisiológicas de las plantas, la especie,

las condiciones del sitio, así como su preparación, la fecha de plantación y las técnicas de plantación (Burdett, 1990; Shiver *et al.*, 1990; Beyeler, 1996). Si las plantas presentan estándares de calidad deficientes, la supervivencia y/o el crecimiento disminuye, lo que propicia incremento en los costos y el tiempo requerido para que la plantación prospere (Duryea, 1985; Landis, 2002).

Por ello, el establecimiento de plantaciones requiere que las fases previas, tales como el manejo de germoplasma y la producción de planta sean desarrolladas adecuadamente. Desafortunadamente, en muchos casos los logros alcanzados en los programas de reforestación son poco alentadores, debido principalmente a que el germoplasma es de mala calidad genética, el manejo de las especies en vivero es inadecuado, las especies y/o procedencias son inapropiadas, la preparación del sitio es insuficiente, el plantado es deficiente y el seguimiento a las plantaciones es mínimo (Mexal, 1996; CONAFOR, 2004a). Estadísticas recientes indican que en México las tasas de supervivencia en plantaciones de un año de edad son inferiores al 75% (CONAFOR, 2004b); incluso otras fuentes las ubican en menos del 50% (CONAFOR, 2004a).

Las técnicas de producción permiten definir el tipo de planta que se requiere producir y aunque la calidad de la planta trata de ser descrita en vivero, ésta sólo puede ser evaluada en campo (Burdett, 1990; Landis *et al.*, 1994; Scagel *et al.*, 1998). A través del tiempo las técnicas de producción han variado, buscándose siempre mejorar la calidad de la planta en función de la experiencia tenida (Dumroese, 2002). La definición de las características morfológicas y fisiológicas de la planta objetivo a producir debe considerar las características edáficas y climáticas del sitio de plantación (Scagel *et al.*, 1998).

En la mayoría de las plantaciones se carece de control y seguimiento del origen de la planta y su desarrollo una vez establecida en campo, lo que impide conocer las causas de éxito o fracaso de las plantaciones. Este experimento se realizó con el objetivo de evaluar en campo el efecto, en la supervivencia y

crecimiento, de planta de *Pinus cooperi* Blanco producida en vivero en: a) dos tamaños de envase y b) regada en la fase de preacondicionamiento en tres intervalos de tiempo. Además, se evaluó la influencia que tiene el sitio de plantación en la supervivencia y crecimiento de las plantas durante 18 meses, al plantarse en dos localidades distantes entre sí a 75 km.

5.4 MATERIALES Y MÉTODOS

5.4.1 Características de las áreas de estudio

Predio Particular El Carmen, Dgo., Dgo. El sitio se encuentra ubicado a 47 km de la Ciudad de Dgo., Dgo., a 23° 54' 57'' N y 104° 56' 58'' W y a 2383 m de altitud (Figura 5.1). La precipitación media anual durante el período de estudio, agosto 2002 a marzo 2004, fue de 914 mm, mientras que la temperatura media anual fue de 12.6 °C. La vegetación arbórea adyacente al sitio está compuesta por un bosque abierto de *Pinus engelmannii*, *Pinus cooperi* y *Quercus* spp. El sitio tiene exposición Este, con una pendiente ligera menor al 3%.

Santa Lucía, Ejido Pueblo Nuevo, Pueblo Nuevo, Dgo. El sitio se localiza 35 km al Suroeste del poblado El Salto, Pueblo Nuevo, Dgo., a 23° 36' 10'' N y 105° 32' 10'' W y a 1924 m de altitud (Figura 5.1). La precipitación media anual es de 1270 mm y la temperatura media anual es de 16 °C. La vegetación arbórea está compuesta por un bosque de pino-encino y las especies dominantes son: *Pinus oocarpa*, *Pinus michoacana*, *Pinus durangensis* y *Quercus* spp. El sitio tiene exposición Este, con una pendiente del 15%.

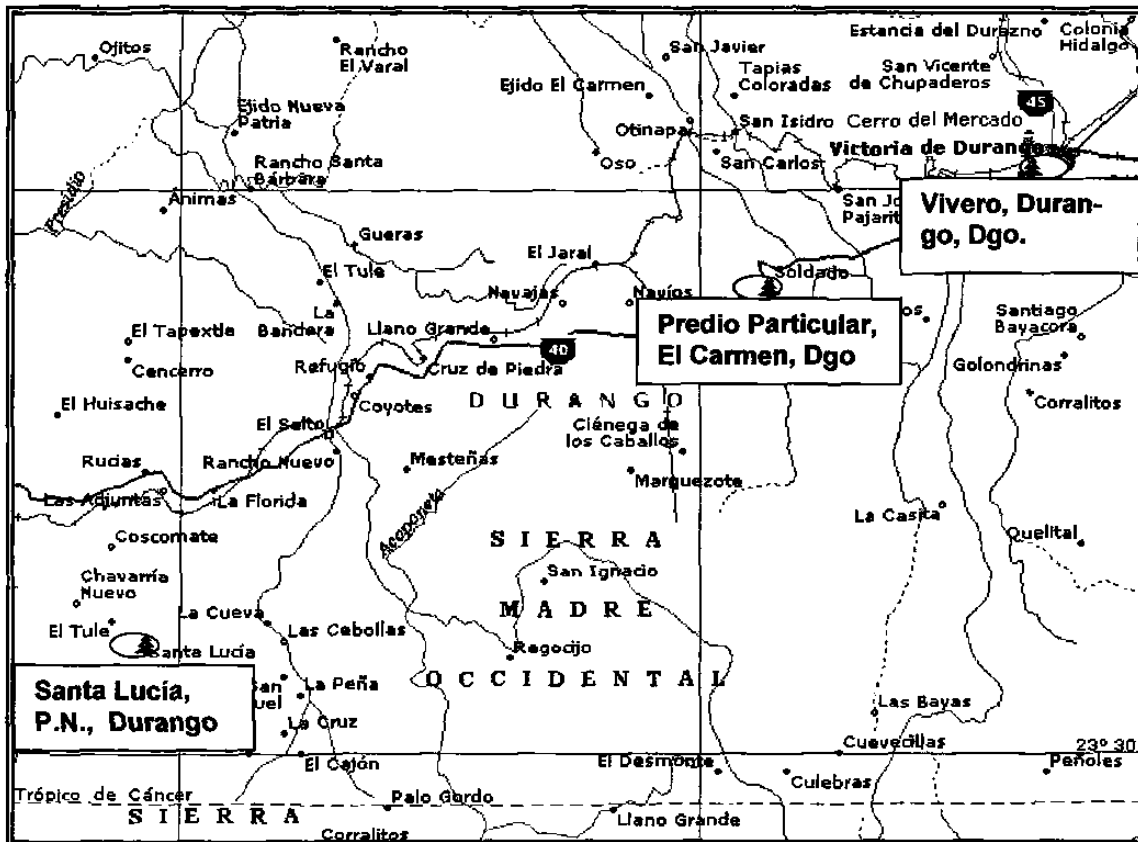


Figura 5.1 Ubicación de los sitios donde se produjo la planta y se plantó: Durango, Dgo, Predio Particular el Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.

5.4.2 Tratamientos evaluados y diseño experimental

Durante 18 meses se evaluó en campo planta producida en vivero proveniente del experimento "Factores que influyen en la producción de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero", descrito en el Capítulo 4 de la tesis, donde se dio seguimiento en campo a los factores:

Envases. Se produjo planta en dos tamaños de envase, contenidos en charolas de poliestireno de 35x60 cm de ancho y largo, respectivamente: a) envase de 80 cm³ de volumen, con 10.4 cm de largo y 3.6 cm de diámetro superior, y b) envase de 170 cm³ de volumen, con 15.6 cm de largo y 4.3 cm de diámetro superior.

Riego. Durante la fase de precondicionamiento de las plantas se regó en tres intervalos de tiempo: a) cada 48 horas, con un contenido de humedad del sustrato (CH) entre el 335 y el 173%, b) cada 96 horas, con un CH del 333 al 87%, y c) cada 168 horas, con un CH del 346 al 69%. Los CH máximos corresponden a la condición de saturación de humedad del sustrato al inicio de los ciclos de estrés hídrico, en tanto que los CH mínimos se obtuvieron al finalizar los ciclos de estrés. Después de terminar cada ciclo el sustrato se regó en forma abundante hasta saturación durante 24 horas.

Sitios de plantación. A las 8 meses de edad de las plantas, éstas se plantaron en dos localidades: a). Predio Particular El Carmen, Dgo., Dgo. y b). Santa Lucía, Ejido Pueblo Nuevo, Pueblo Nuevo, Dgo. Para determinar las características físico-químicas más importantes del suelo en los sitios de plantación, se colectaron muestras y se analizaron en laboratorio (Cuadro 5.1).

Cuadro 5.1 Características físico-químicas de los sitios de plantación.

Característica	Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.	El Carmen, Dgo., Dgo.
pH	7.57	7.38
Conductividad eléctrica (dSm ⁻¹)	0.41	0.48
Materia orgánica (%)	4.62	1.84
Nitrógeno (N-NO ³ mg kg ⁻¹)	9.3	10.2
Fósforo (mg kg ⁻¹)	25	6
Potasio (mg kg ⁻¹)	538	360
Arena (%)	31	47
Limo (%)	30	39
Arcilla (%)	39	14
Clase textural	franco arcilloso	franco

Fuente: Laboratorio CENID-RASPA. INIFAP.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de bloques completamente al azar con un arreglo de subparcelas divididas. La parcela grande correspondió a los sitios de plantación, la mediana a los regímenes de humedad y la pequeña a los tamaños de envase. Cada unidad experimental estuvo compuesta por 25 plantas, con cuatro repeticiones por tratamiento.

5.4.3 Modelo experimental y análisis estadístico

El modelo experimental utilizado fue (Martínez, 1988):

$$Y_{ijkl} = \mu + \beta_i + \tau_j + \eta_k + \delta_l + (\tau\eta)_{jk} + (\tau\delta)_{jl} + (\eta\delta)_{kl} + (\tau\eta\delta)_{jkl} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde: Y_{ijkl} = variables respuesta, μ = promedio general de las diferentes fuentes de variación, β_i = efecto del i-ésimo bloque, τ_j = efecto del j-ésimo tratamiento sobre la parcela grande, η_k = efecto del k-ésimo tratamiento sobre la parcela mediana, δ_l = efecto del l-ésimo tratamiento sobre la parcela chica, $(\tau\eta)_{jk}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el k-ésimo tratamiento, $(\tau\delta)_{jl}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento, $(\eta\delta)_{kl}$ = efecto de la interacción entre el k-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento, $(\tau\eta\delta)_{jkl}$ = efecto de la interacción entre el j-ésimo tratamiento, el k-ésimo tratamiento y el l-ésimo tratamiento; ε_{ijkl} = error aleatorio.

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza realizados a través del paquete Statistical Analysis System (SAS), utilizándose el procedimiento PROC GLM. Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$) se realizaron pruebas de comparación de medias de Tukey.

5.4.4 Preparación del sitio

La preparación del sitio consistió en: a) eliminar la maleza con azadones para facilitar la plantación y evitar competencia inicial, b) delimitar las parcelas experimentales con cuerda y cal para ubicar los tratamientos de acuerdo al diseño

experimental y c) hacer las cepas con talacho y pala, cuyas dimensiones aproximadas fueron de 15 cm de diámetro y 20 cm de profundidad.

5.4.5 Manejo de la planta y plantación.

Previo al transporte de la planta del vivero al sitio de plantación, ésta fue extraída de la charola donde fue producida y en grupos de 10 plantas el cepellón fue envuelto en papel periódico; posteriormente cada paquete fue cubierto con plástico adherente para evitar que las plantas perdieran humedad y se deshidrataran. La identidad de los tratamientos se mantuvo con etiquetas adheridas a cada grupo de plantas.

La plantación se realizó durante la primera quincena del mes de agosto de 2002, con una diferencia de una semana entre sitios (Figura 5.2). La distribución de la planta se hizo en función de los tratamientos y el diseño experimental descrito anteriormente.

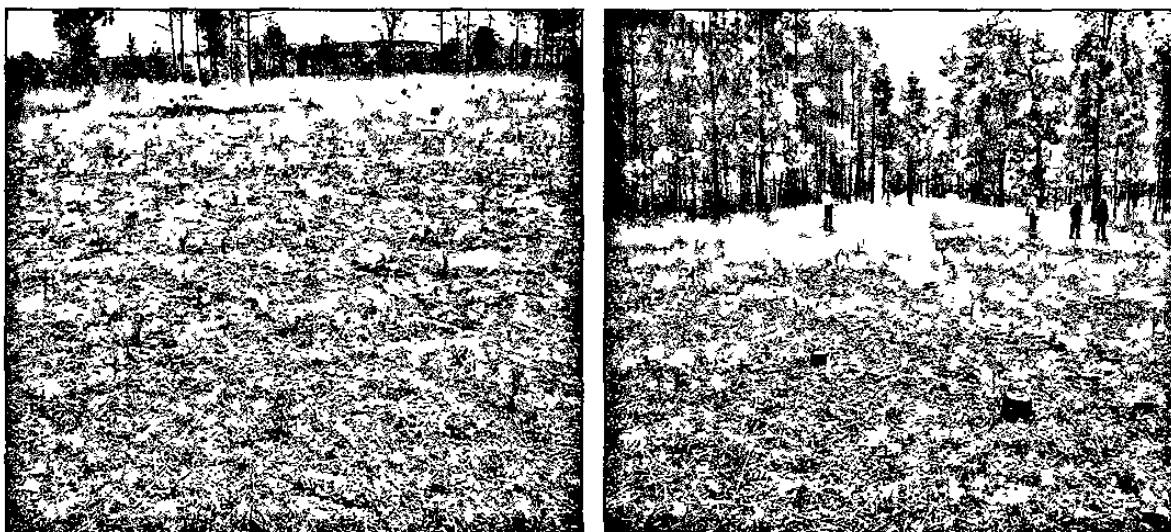


Figura 5.2 Aspecto de los sitios después de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. (izquierda) y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. (derecha).

5.4.6 Variables evaluadas

A partir de la plantación se realizaron tres evaluaciones cada seis meses hasta los 18 meses. Las variables registradas fueron: a) supervivencia, se

cuantificó el porcentaje de plantas vivas por parcela experimental. Con el fin de normalizar los datos, éstos fueron transformados a la función arco seno, b) altura de la parte aérea, se midió de la base del tallo hasta la yema apical. Este parámetro se cuantificó con una regla graduada en milímetros, c). diámetro del cuello, se evaluó en la base del tallo con un vernier digital con aproximación a centésimas de milímetro, y d) producción de fitomasa, se estimó sólo en la evaluación final, a los 18 meses de plantado. Para ello, en forma aleatoria se extrajeron cuatro plantas por unidad experimental, las cuales fueron separadas en parte aérea y sistema radical y secadas durante 72 horas en una estufa a 72 °C. La determinación del peso seco se realizó en una balanza digital con aproximación a centésimas de gramo.

5.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de las variables supervivencia, diámetro, altura y producción de fitomasa, señalan que no existieron diferencias significativas ($p > 0.05$) en las interacciones de los factores tamaños de envase, frecuencia de riegos y sitios de plantación. A continuación se presentan y discuten los resultados de cada factor.

5.5.1 Tamaños de envase

La supervivencia de las plantas a los 6, 12 y 18 meses de plantado, no mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) por el efecto de los envases utilizados durante la producción de planta en vivero (Figura 5.3). A los 6 meses de plantado la supervivencia fluctuó entre el 91.4 y el 94.4%, en tanto que a los 12 meses dichos porcentajes variaron entre el 82.8 y el 84.3% y a los 18 meses se mantuvo entre el 75.6 y el 76.8%.

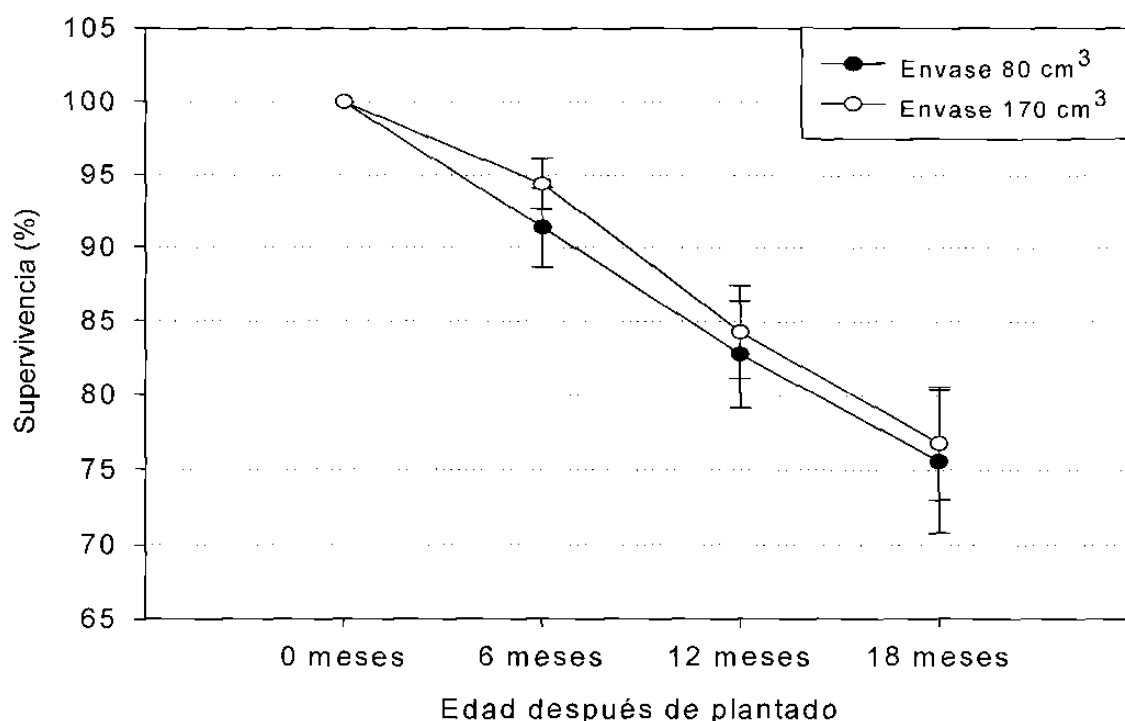


Figura 5.3 Supervivencia a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase.

Aunque la supervivencia durante el período de evaluación disminuyó cerca de un 24%, las causas de mortalidad no son atribuibles al tamaño del cepellón con que se plantaron, pese a que la diferencia en volumen entre los envases utilizados fue de 90 cm³. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Cañellas *et al.* (1999) y Navarro (2003) quienes en experimentos realizados en forma separada con *Pinus pinea* L. y *Pinus greggii* Engelm., respectivamente, encontraron que el tamaño de envase no influyó en la supervivencia de las plantas después de dos años de plantado. En tanto, Moreno (2000) señala que debido a los altos índices de supervivencia que se han obtenido en los diferentes tipos de envases disponibles en el mercado, el énfasis de su funcionalidad se ha enfocado más a los índices de crecimiento de las plantas.

En cambio, el diámetro del cuello sí tuvo diferencias significativas ($p < 0.05$) debido a los tamaños de envase utilizados en vivero, efecto manifestado desde la

fase de vivero y que continuó en campo a los 6, 12 y 18 meses de plantado, con superioridad del envase de 170 cm³ de volumen (Figura 5.4). Las diferencias en diámetro entre tratamientos se mantuvieron aproximadamente en un 10% a los 6 y 12 meses de plantado y se incrementaron a un 19% a los 18 meses de plantado. Estos resultados resaltan la importancia que tiene el tamaño del sistema radical en el crecimiento en diámetro de las plantas, variable que tiene relación con la robustez y supervivencia de las plantas en campo (Mexal y Landis, 1990).

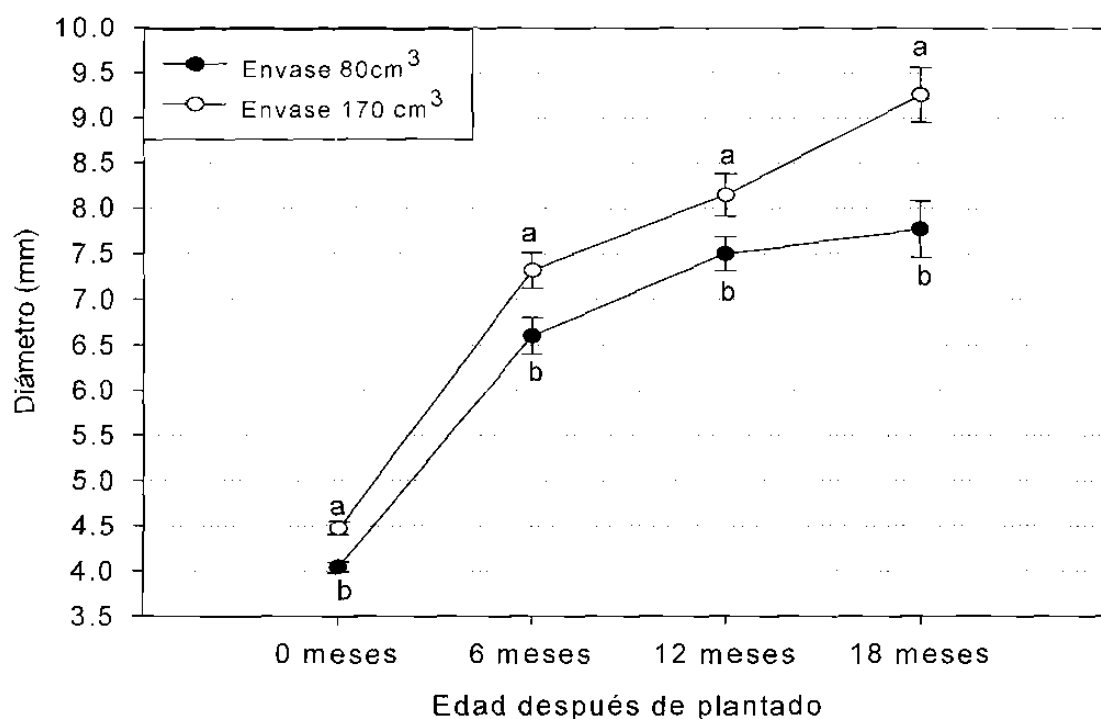


Figura 5.4 Diámetro del cuello a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación significan diferencias estadísticas (Tukey; $p < 0.05$).

Respecto al crecimiento en altura, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al tamaño de envase utilizado en vivero sólo a los 6 y 12 meses de plantado, con los mejores resultados en el envase de 170 cm³. A los 18 meses de plantado el efecto del tamaño del envase desapareció, al tenerse menos de 1 cm de diferencia en altura entre los tratamientos evaluados (Figura 5.5). El incremento en altura durante los últimos seis meses de evaluación disminuyó

notablemente en la planta producida en el envase de 170 cm³ de volumen, debido posiblemente a que la planta utilizó los carbohidratos para crecer en diámetro, variable que sobresalió en la planta producida en dicho envase. Además, el crecimiento en altura tuvo poca respuesta en campo en ambos envases, ya que en 18 meses incrementó sólo 8 cm, valor similar al obtenido durante su producción en vivero. Sin embargo, la planta creció en forma robusta, lo que la favoreció contra posibles daños ocasionados por vientos fuertes y roedores.

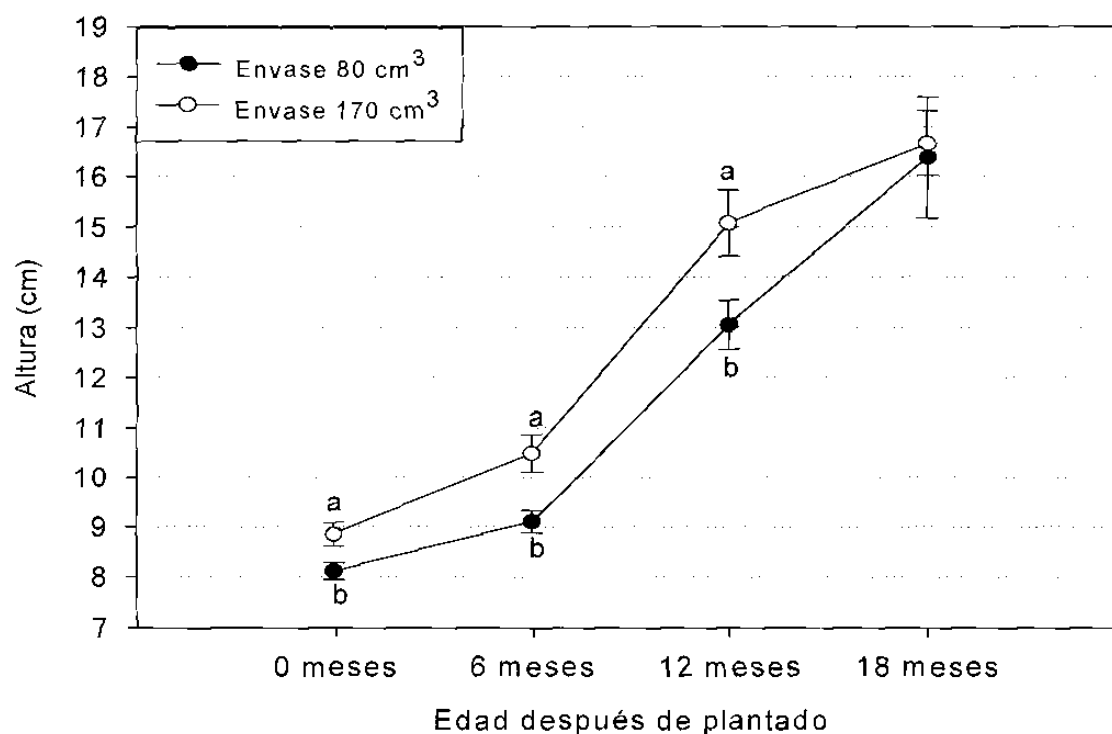


Figura 5.5 Altura a los 6, 12 y 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

La producción de fitomasa de la raíz, de la parte aérea y total, a los 18 meses de plantado tuvo efectos significativos ($p < 0.05$) debido al tamaño del envase utilizado en vivero, obteniéndose los mejores resultados en el envase de 170 cm³ de volumen (Figura 5.6), al superar en cerca del 30% al envase de 80 cm³ de volumen, al tener diferencias de 1.67 g en la raíz, de 3.11 g en la parte aérea y de 5.5 g en la fitomasa total.

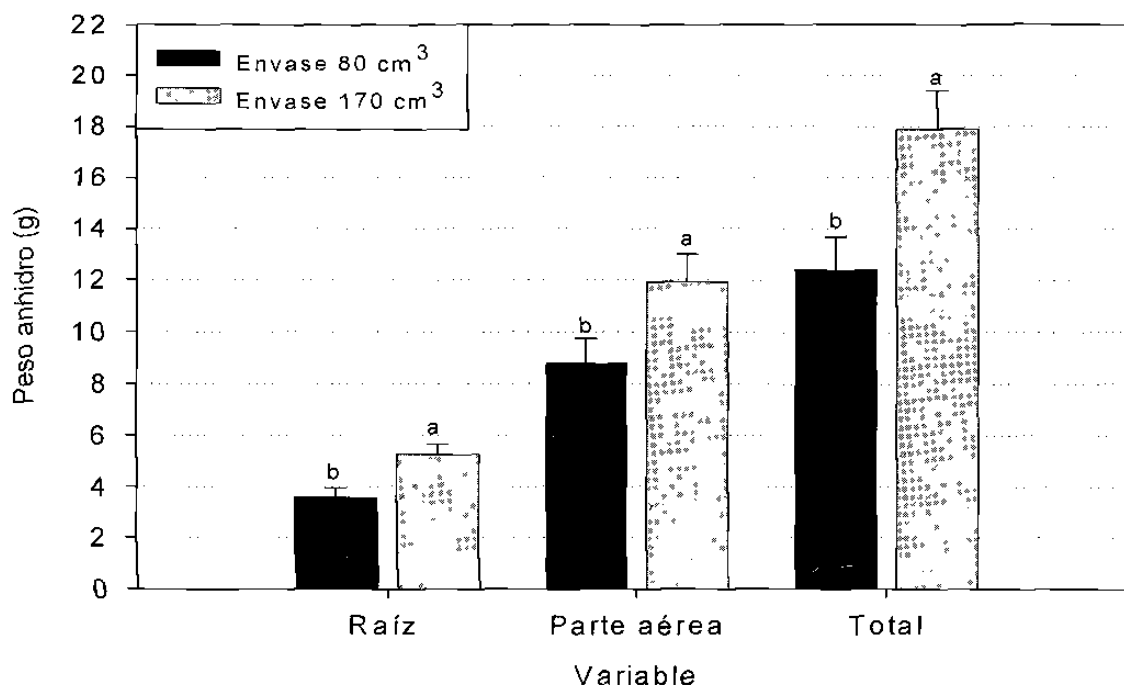


Figura 5.6 Producción de fitomasa en *Pinus cooperi* a los 18 meses de plantado, de planta producida en dos tamaños de envase. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Jones *et al.*, (2002) produjeron planta de *Pinus contorta* var. *latifolia* Dougl en los envases tipo Cooperblocks™, AirBlock™ y Styroblocks™, de 80 cm³ de volumen cada uno, cuyas diferencias básicas radican en el diseño que tienen para la poda aérea de las raíces y encontraron que en la fase de vivero el envase tipo AirBlock™ favoreció más el crecimiento de las plantas. Sin embargo, en campo las diferencias desaparecieron después de dos estaciones de crecimiento. Dichos investigadores consideran que cuando la planta producida está sana, las características del sitio de plantación son el factor más importante para lograr su adecuado establecimiento.

Los resultados de este experimento ubican al envase de 170 cm³ de volumen como el mejor, reflejado en un mayor crecimiento de la planta en los sitios de plantación. Al respecto, Cañellas *et al.* (1999), Navarro (2003), Domínguez *et al.* (2000) y Villar *et al.* (2001), evaluaron en campo planta producida en envases de

50 a 700 cm³ de volumen y coinciden que los envases de mayor volumen favorecen más el crecimiento de las plantas. Barnett *et al.* (2002) indican que el volumen del envase es importante debido a que favorece el crecimiento del sistema radical, lo que permite que la planta se establezca más rápido en campo. Por su parte, Domínguez *et al.* (2000) señalan que en España se ha experimentado con más de 25 modelos de envases y se ha encontrado que el volumen es la variable de mayor correlación con la supervivencia y el crecimiento de la planta en campo, seguida por la densidad, que a su vez tiene relación con el diámetro y la altura de las plantas.

La selección del envase, aparte de considerar su funcionalidad en el crecimiento biológico de las plantas, debe tomar en cuenta los costos de producción. En el envase de 170 cm³ de volumen los costos de producción superan en cerca de un 20% al envase de 80 cm³ de volumen (Aldana y Aguilera, 2002). Sin embargo, el envase de 170 cm³ es una buena alternativa, ya que favoreció un crecimiento adecuado de las plantas en vivero, reflejado en un establecimiento apropiado de la planta en el sitio de plantación, objetivo final de cualquier programa de reforestación.

5.5.2 Frecuencia de riegos

La supervivencia de las plantas no fue afectada por las frecuencias de riego aplicadas durante la fase de precondicionamiento de las plantas en vivero. A los seis meses de plantado la supervivencia fluctuó entre el 91.7 y el 95.1%, en tanto que a los 12 meses de plantado disminuyó entre el 81.5 y el 84.7% y finalmente a los 18 meses de plantado se redujo entre el 69.4 y el 78.5% (Figura 5.7). Un aspecto a destacar es que conforme transcurrió el tiempo, el rango de la supervivencia aumentó dentro de tratamientos, debido posiblemente al efecto del ambiente en los sitios de plantación. Los resultados de supervivencia, debido al efecto del estrés hídrico, coinciden con los de Villar *et al.* (2000) quienes evaluaron en campo planta de *Pinus pinea* sometida a estrés hídrico en la fase de vivero, sin

encontrar diferencias significativas en la supervivencia de las plantas con respecto a la planta regada sin restricciones.

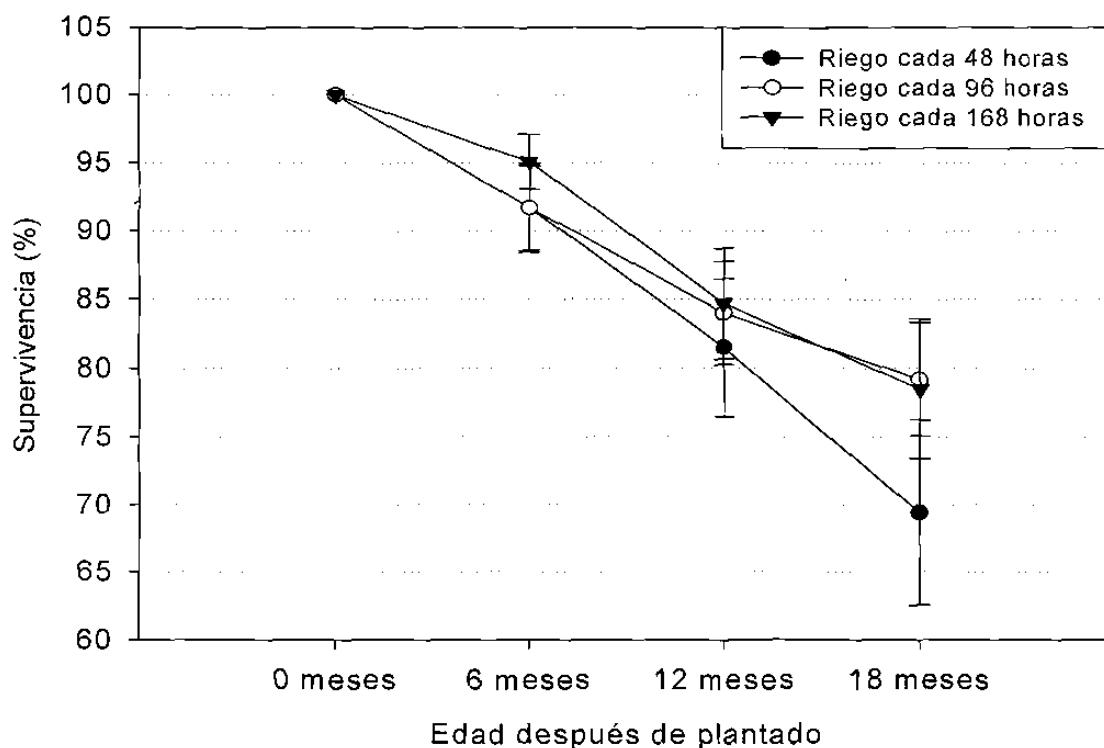


Figura 5.7 Supervivencia de *Pinus cooperi* a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de precondicionamiento.

Burdett (1990), Margolis y Brand (1990) y Villar *et al.* (1997) señalan que después de plantado pueden ocurrir altas tasas de mortalidad de la planta, causada principalmente por escasez de humedad debido a precipitación insuficiente, contacto inadecuado del cepellón con el suelo y temperaturas bajas; por ello, el precondicionamiento de las plantas contribuye a que aumenten las probabilidades de supervivencia cuando existen restricciones de humedad en el sitio de plantación, situación que al parecer no fue crítica hasta los 18 meses en los sitios donde se plantó, ya que la supervivencia no fue afectada en forma drástica debido al efecto de los tratamientos evaluados.

En cambio, el diámetro del cuello de las plantas sometidas a tres frecuencias de riego durante la etapa de precondicionamiento en vivero, sí mostró diferencias estadísticas ($p < 0.05$) a los 6, 12 y 18 meses de plantado. Sin embargo, el tratamiento que mejor favoreció el crecimiento en diámetro del cuello de las plantas en vivero (riego cada 48 horas), fue superado por la frecuencia de riego cada 96 horas (Figura 5.8).

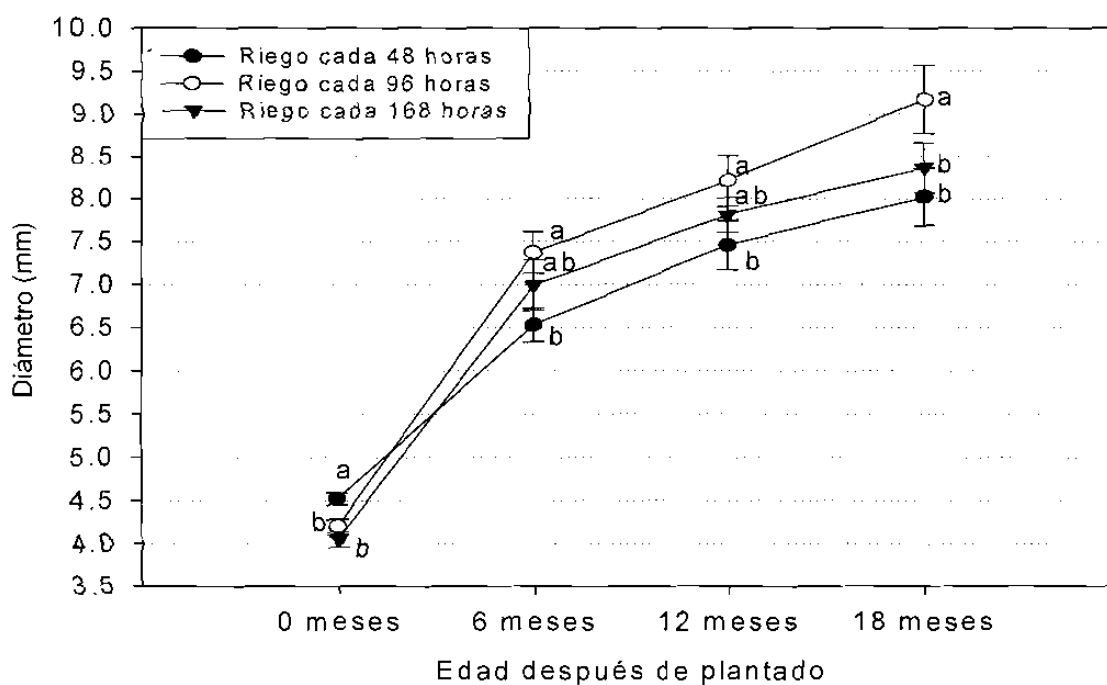


Figura 5.8 Diámetro del cuello a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de precondicionamiento. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Pese a que la planta producida en vivero manifestó diferencias en el crecimiento de las plantas en altura, dicho efecto desapareció a los 6 meses de plantado y volvió a manifestarse a los 12 meses con superioridad de la planta regada cada 96 y 168 horas. Sin embargo, en la evaluación final los resultados nuevamente fueron similares estadísticamente (Figura 5.9). Las diferencias en altura entre tratamientos nunca fueron mayores a los 2 cm.

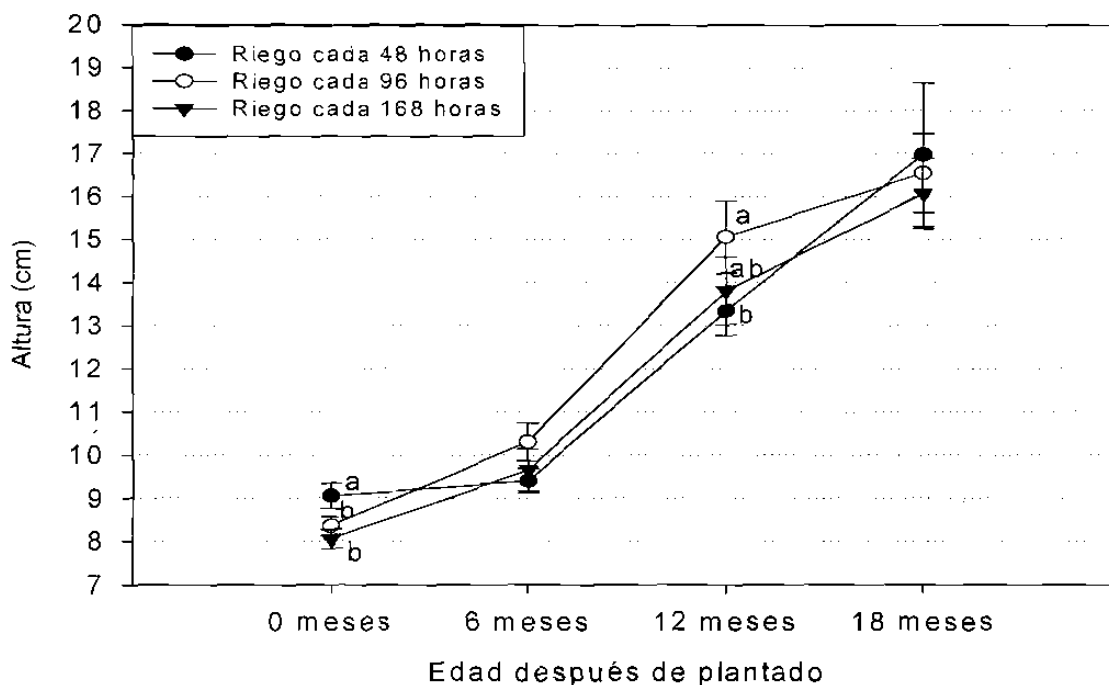


Figura 5.9 Altura de las plantas a los 6, 12 y 18 meses de plantado, por régimen de riego en vivero en la fase de precondicionamiento. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

La producción de fitomasa del sistema radical, de la parte aérea y total de las plantas, a los 18 meses de plantado, manifestaron diferencias significativas ($p < 0.05$) debido al efecto de las frecuencias de riego utilizadas en la fase de precondicionamiento en vivero, con los mejores resultados cuando se regó cada 96 horas (Figura 5.10).

Los resultados de producción de fitomasa coinciden en forma consistente con los obtenidos en la variable diámetro y al respecto puede considerarse que la restricción de humedad en vivero propició que disminuyera el crecimiento en diámetro y la producción de fitomasa al finalizar la fase de precondicionamiento. Sin embargo, una vez que se plantó en campo, en condiciones iguales para los tres tratamientos, el crecimiento de la planta se reactivó y superó al de las plantas regadas cada 48 horas, el cual resultó superior en vivero; incluso las diferencias en producción de fitomasa se incrementaron conforme pasó el tiempo. Lo anterior

pone de manifiesto la importancia del manejo del riego durante la fase de precondicionamiento de las plantas, donde deben evitarse excesos de humedad para evitar que la planta siga creciendo sin restricción.

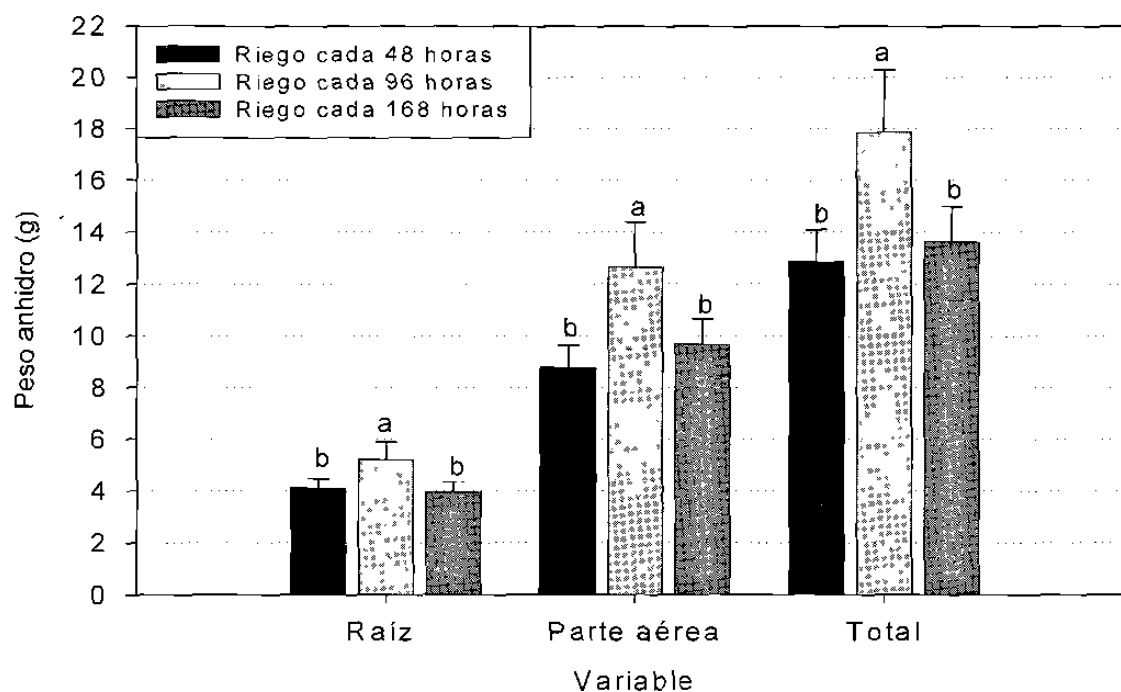


Figura 5.10 Producción de fitomasa en *Pinus cooperi*, por régimen de riego en vivero en la fase de precondicionamiento, a los 18 meses de plantado. Letras diferentes para la misma variable indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Peñuelas (2004) concluye que después de diversas experiencias sobre la aplicación de estrés hídrico moderado (hasta -1.0 MPa), para mejorar el precondicionamiento de las plantas, se carece de evidencias que indiquen la existencia de diferencias en el crecimiento de las plantas debido al efecto del estrés hídrico. En cambio, cuando el estrés hídrico supera a -1.0 MPa, la planta pierde vigor y disminuye su capacidad para producir nuevas raíces e incluso si el estrés es extremo el crecimiento en campo disminuye. Por otro lado, Villar *et al.* (2000) sometieron a *Pinus pinea* a estrés hídrico en vivero, lo que provocó reducción en el crecimiento de las plantas tanto en vivero como en campo al año de plantado. Cetina *et al.* (2002) sometieron planta de *Pinus greggii* a sequía, con

riegos en vivero cada 2, 14 y 28 días y después de 10 meses de plantado en campo encontraron que la sequía impuesta en vivero propició una reducción en el crecimiento de las plantas e incrementó la mortalidad.

El preacondicionamiento de las plantas en vivero requiere de la aplicación integrada de diversas prácticas culturales entre las que destaca la reducción de humedad, la modificación de la rutina de fertilización (Boivin *et al.*, 2002), con una disminución del nitrógeno y un aumento del potasio, así como la eliminación del efecto de invernadero para que la planta vaya aclimatándose a las condiciones ambientales naturales.

La aplicación del estrés hídrico a planta de pino se ha realizado en diversas especies de pino y en diferentes condiciones, con resultados diversos (Villar *et al.*, 1997; Cetina *et al.*, 2002; Martínez *et al.*, 2002; Humara *et al.*, 2002; Thie y Manninen, 2003; Cornejo y Emmingham, 2003). Por ello, debe evitarse generalizar esta práctica cultural, ya que las necesidades fisiológicas de las plantas varían en función de la especie, de las condiciones de producción y de las características del sitio de plantación. Esto crea la necesidad de generar sistemas de manejo en función de las condiciones de producción de cada vivero y de las características de los sitios de plantación.

5.5.3 Condiciones del sitio.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en la supervivencia de las plantas a los 6, 12 y 18 meses de plantado debido al efecto del sitio de plantación, con los porcentajes más altos en el sitio El Carmen, Dgo., Dgo. con un 85.6% a los 18 meses de plantado. En cambio, en el sitio de Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., la supervivencia fue del 65.0%, lo que hace una diferencia del 20.6% entre ambos sitios (Figura 5.11).

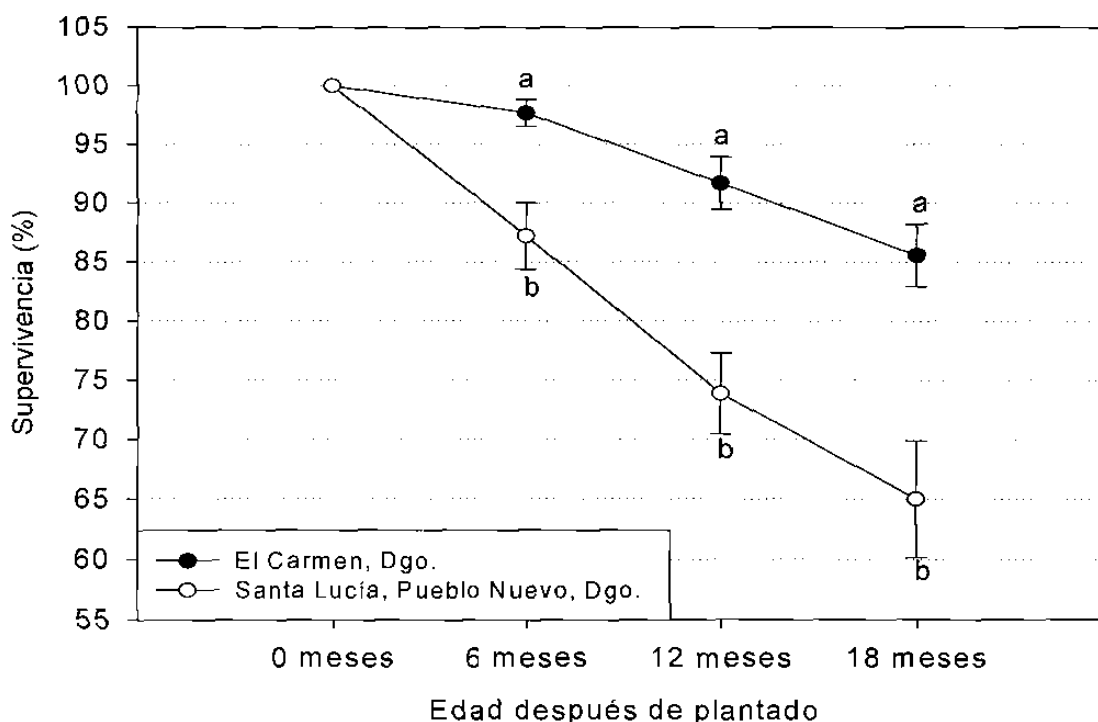


Figura 5.11 Supervivencia a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Las diferencias en supervivencia entre ambos sitios pueden deberse básicamente a las condiciones climáticas prevalecientes en ambos sitios. En Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., a pesar de que la precipitación anual es mayor con 1200 mm, el período de lluvias al igual que el sitio de El Carmen, Dgo., Dgo., se concentra sólo de junio a septiembre y en el resto del año, salvo diciembre y enero con lluvias ocasionales, la humedad es escasa. Asimismo, la altitud del sitio está cerca del límite de distribución inferior de la especie con 1924 m y su exposición hacia la vertiente del Océano Pacífico hace que el sitio sea más cálido, con una temperatura media anual de 16°C, esto propicia mayor evapotranspiración del follaje, lo que hace que las plantas pierdan humedad más rápido y en consecuencia el riesgo de mortalidad sea mayor. Además, en los bosques cercanos al área de estudio no se encontró esta especie en forma natural, lo que pudo propiciar inadaptación de las plantas al sitio de plantación.

El crecimiento del diámetro del cuello de las plantas fue similar estadísticamente ($p>0.05$) a los 6, 12 y 18 meses de plantado (Figura 5.12). Los mayores incrementos en diámetro del cuello se obtuvieron en ambos sitios a los seis meses de plantado con porcentajes del 60.5 y el 67.3% El Carmen, Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., respectivamente; posteriormente, a los 12 y 18 meses de plantado, los incrementos en diámetro en ambos sitios, con respecto a la evaluación anterior fueron menores al 13%.

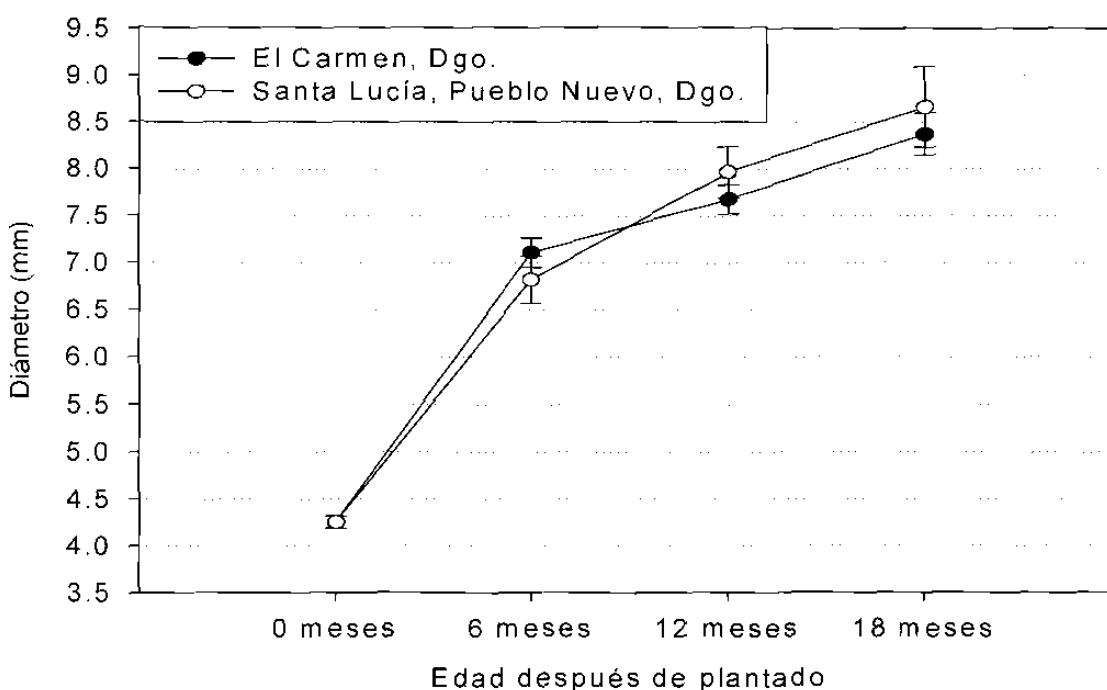


Figura 5.12 Diámetro del cuello de las plantas por sitio de plantación a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.

La variable altura mostró diferencias significativas ($p<0.05$) debido al efecto del sitio de plantación a partir de los 6 meses de plantado (Figura 5.13), con mejores crecimientos en el sitio ubicado en Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Durango. Un aspecto que pudo haber influido positivamente en el crecimiento de las plantas en altura, fueron las mejores condiciones climáticas de temperatura y precipitación, que prevalecieron en el sitio, con relación al sitio de El Carmen, Dgo., Dgo.

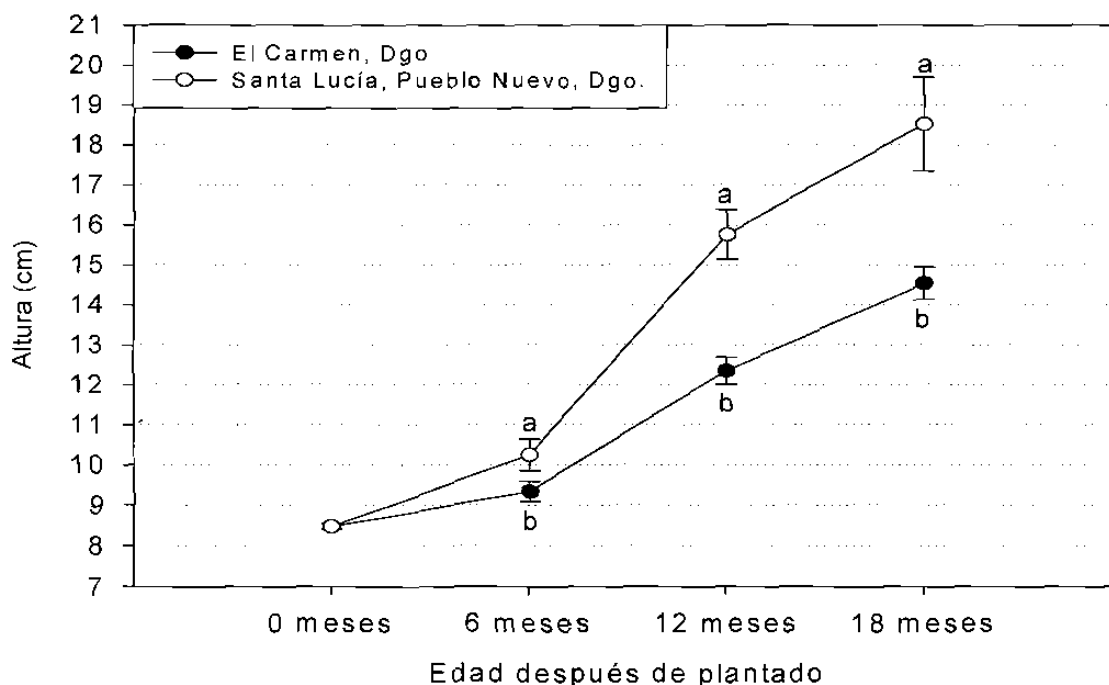


Figura 5.13 Altura de las plantas por sitio de plantación a los 6, 12 y 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. Letras diferentes para la misma fecha de evaluación indican diferencias significativas (Tukey; $p < 0.05$).

Aunque, los incrementos en altura de la planta desde su establecimiento hasta los 18 meses de plantado fueron menores a los 11 cm en ambos sitios, dichos valores tienen coincidencia con los obtenidos por Cornejo (1999) quien plantó *Pinus arizonica* Engelm., *Pinus durangensis* Mart. y *Pinus engelmanni* Engelm., en dos sitios ubicados en el Tarahumar, Tepehuanes, Durango. Uno de los sitios correspondió a un terreno abandonado al cultivo agrícola, mientras que el otro sitio se ubicó en un área de uso forestal rodeada de bosque. Se encontró que el crecimiento en altura de las plantas durante dos ciclos de crecimiento, fueron menores a los 12 cm, con excepción de *Pinus arizonica* que creció 16.5 cm. Los incrementos mayores se obtuvieron en el sitio abandonado al cultivo agrícola.

La producción de fitomasa del sistema radical, de la parte aérea y total resultó estadísticamente igual ($p > 0.05$) en los sitios El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., por lo que a pesar de las diferencias climáticas y

edáficas entre ambos sitios, éstas no influyeron en la producción de fitomasa en las plantas (Figura 5.14).

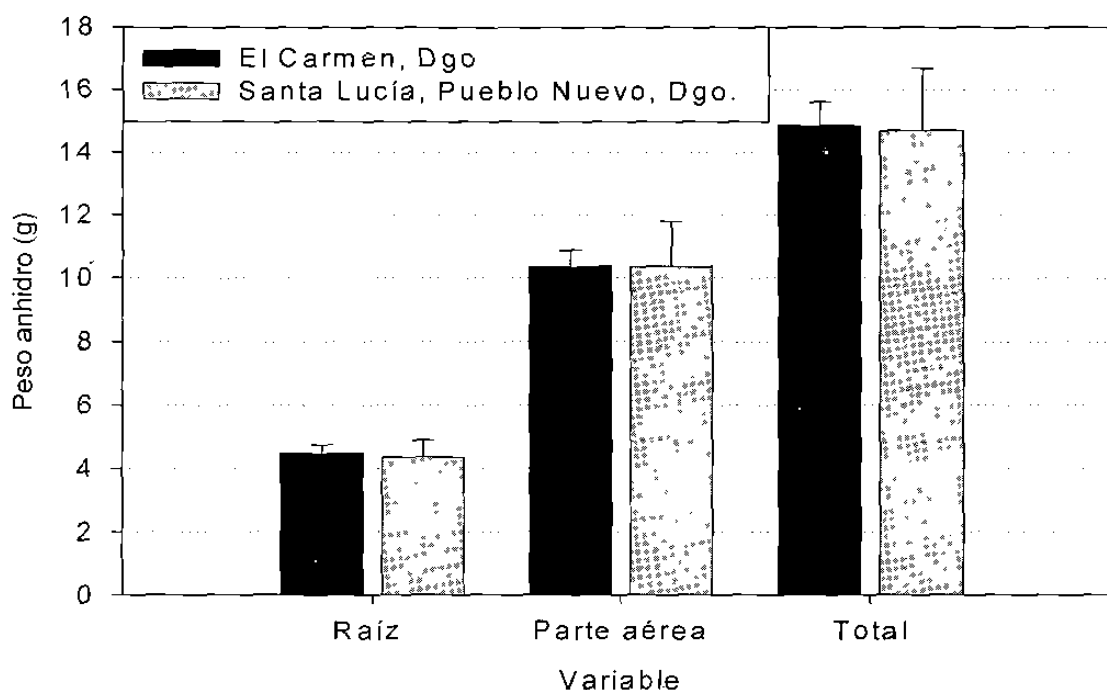


Figura 5.14 Producción de fitomasa seca de *Pinus cooperi* a los 18 meses de plantado en El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo.

Pese a que las características climáticas y edáficas de los sitios de plantación tienen algunas diferencias, explicadas anteriormente, la respuesta de las plantas fue similar en ambos sitios, con excepción de la supervivencia y el crecimiento en altura. Lo anterior puede explicarse en el sentido de que *Pinus cooperi* requiere más tiempo para incrementar sus atributos morfológicos, pues desde la fase de vivero la planta creció en forma lenta.

Tuttle *et al.* (1987) y Tuttle *et al.* (1988) señalan que en *Pinus taeda* L. la supervivencia a los dos años de plantado tuvo una relación negativa con respecto a la altura al plantarse, lo cual se acentuó más en los sitios de pobre calidad. También, se apreció que plantas de la misma altura prosperaron mejor cuando el diámetro fue mayor. Por su parte, Escobar *et al.*, (2000) plantaron tres especies en

diferentes condiciones de sitio respecto a pendiente y exposición y encontraron que las plantas de diámetro mayor tuvieron un incremento mayor en altura y diámetro en el sitio de plantación. Asimismo, indican que en sitios sin limitantes de humedad el diámetro pierde su capacidad como atributo para predecir la supervivencia.

5.6 CONCLUSIONES

El envase de 170 cm³ de volumen, utilizado en la producción de planta en vivero, fue el que más favoreció el crecimiento de las plantas en diámetro y producción de fitomasa a los 18 meses de plantado. Las variables altura y supervivencia no tuvieron diferencias significativas debido al efecto de los tamaños de envase utilizados.

La frecuencia de riego cada 96 horas durante la fase de preacondicionamiento en vivero, fue la que más favoreció el crecimiento de las plantas en altura y producción de fitomasa de la raíz, de la parte aérea y total, a los 18 meses de plantado.

El efecto de las condiciones climáticas y edáficas de los sitios evaluados, sólo influyó en la supervivencia y en el crecimiento en altura de las plantas a los 18 meses de plantado. En el sitio El Carmen, Dgo., Dgo. destacó en supervivencia con un 80% y fue superior en un 19.6% al sitio de Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo. En cambio, en el sitio Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., el crecimiento en altura sobresalió con 18 cm.

5.7 LITERATURA CITADA

- ALDANA B., R.; AGUILERA R., M. 2002. Procedimientos y cálculos básicos útiles en la operación de viveros que producen en contenedor. PRONARE. CONAFOR. Documento técnico. Guadalajara, Jal. 44 p.
- BARNETT, J.P. 2002. Longleaf: Why plant it?. Why use containers?. *In*: Barnett, J.P.; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J. (eds.) Proceedings of Workshops on growing longleaf pine in containers-1999 and 2001. Gen. Tech. Rep. SRS-56. Asheville, N.C. USDA. Forest Service, Southern Research Station. 63 p.
- BEYELER, J. 1996. Effect of planting methods on field performance of black spruce five years after planting. Forest Research Report 62. Cooperation Agreement for Forestry Development. Nova Scotia. Department of Natural Resources. Nova Scotia, Canada.
- BOIVIN, J.R.; MILLER, B.D.; TIMMER, V.R. 2002. Late-season fertilization of *Picea mariana* seedlings under greenhouse culture: biomass and nutrients dynamics. *Ann. For. Sci.* 59:255-264.
- BURDETT, A.N. 1990. Physiological processes in plantation establishment and the development of specifications for forest planting stock. *Can. J. For. Res.* 20:415-427.
- CAÑELLAS, I.; FINAT, L.; BACHILLER, A.; MONTERO, G. 1999. Comportamiento de planta de *Pinus pinea* en vivero y campo: Ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.* Vol. 8(2):335-359.

- CETINA A., V.M.; GONZÁLEZ H., V.A.; ORTEGA D., M.L.; VARGAS H., J.; VILLEGAS M., A. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm., previamente sometidos a podas o sequía en vivero. *Agrociencia* 36:233-241.
- CONAFOR. 2004a. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales (PNMRGF). SEMARNAT-CONAFOR. Zapopan, Jalisco. 35 p.
- CONAFOR. 2004b. Evaluaciones PRONARE 2000, 2001. Consultado en: http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/evaluaciones/index.html. Julio 2004.
- CORNEJO O., E. 1999. Regeneration aspects of three Mexican *Pinus* species field and greenhouse studies. Thesis Doctor of Philosophy. Department of Forest Science, College of Forestry. Oregon State University, Corvallis. Oregon, U.S. 218 p.
- CORNEJO O., E.; EMMINGHAM, W. 2003. Effects of water stress on seedling growth, water potential and stomatal conductance of four *Pinus* species. *Crop. Res.* 25(1):159-190.
- DOMÍNGUEZ L., S.; CARRASCO M., I.; HERRERO S., N.; OCAÑA B., L. NICOLÁS P., J.L.; PEÑUELAS R., J.L. 2000. Las características de los contenedores influyen en la supervivencia y crecimiento de plantas de *Pinus pinea* en campo. In: *Actas del Primer Simposio sobre el pino piñonero*. Vallaolid, España. pp 203-209..

- DUMROESE, R.K. 2002. An outside perspective on growing longleaf pine thoughts from a nursery manager in the Pacific Northwest. Barnett, J.P.; Dumroese, R.K.; Moorhead, D.J. (eds.). Proceedings of Workshops on growing longleaf pine in containers 1999 and 2001. Gen. Tech. Rep. SRS-56. Asheville, N.C. USDA. Forest Service, Southern Research Station. 63 p.
- DURYEA, M.L. 1985. Evaluating seedling: Importance to reforestation. *In*: Duryea, M.L. (ed). Evaluating seedling quality: Principles, procedures and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis, Oregon, U.S.
- ESCOBAR R., R.; BASSABER E., C.; SÁNCHEZ O., M.; ESCOBAR S., A. 2000. Efectos de la exposición, ubicación de la pendiente y calidad de plantas en tres especies de interés forestal en Chile. *In*: Primer Congreso Nacional de Reforestación. CONAFOR. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- HUMARA, J.M.; CASARES, A.; MAJADA, J. 2002. Effect of seed size and growing media water availability on early seedling growth in *Eucalyptus globulus*. *Forest Ecology and Management* 167:1-11.
- JONES, M.D.; KIISKILA, S.; FLANAGAN A. 2002. Field performance of pine stock types: Two-year results of a trial on interior lodgepole pine seedlings grown in Styroblocks, Cooperblocks or Airblocks. Vol. 2. Num. 1. B.C. Journal of Ecosystems and Management. 12 p.
- LANDIS, T.D.; TINUS, R.W.; McDONALD, S.E.; BARNETT, J.P. 1994. Nursery planning, development and management. Vol 1. The container tree nursery manual. Agric. Handbk. 674. Washington, D.C. USDA. Forest Service. 188 p.

- LANDIS, T.D. 2002. The target seedling concept. A tool for better communication between nurseries and their customeers. *In*: Riley, L.E., Dumroese, R.K., Landis, T.D., Tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations. 2002. Proceedings. RMRS-P-28. Odgen, UT. USDA. Forest Service, Rocky Mountain Research Station. pp 31-36.
- MARGOLIS, H.A.; BRAND, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20:375-390.
- MARTÍNEZ G., A. 1988. Diseños experimentales. Trillas. México. pp 118-160.
- MARTÍNEZ T., T.; VARGAS H., J.J.; MUÑOZ O., A.; LÓPEZ U., J. 2002. Respuesta al déficit hídrico de *Pinus leiophylla*: Consumo de agua y crecimiento en plántulas de diferentes poblaciones. *Agrociencia* 36:365-376.
- MEXAL, J.G. ; LANDIS, T.D. 1990. Target seedlings concepts: Heigth and diameter. pp. 17-36. *In*: Rose, R.; S.J. Campbell and T.D. Landis (eds.). Target seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western forest nursery associations. August 13-17, 1990. Gen. Tech. Rep. RM-200. USDA. Forest Service. Fort Collins, Co. U.S.
- MEXAL, J.G. 1996. Forest nurseries activities in Mexico. *In*: Landis, T.D.; South, D.D., Tech. coords. National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Asociations, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-389. Portland, Oregon. USDA. Forest Service, Pacific Northwest Research Station. pp 228-232.

- MORENO T., R.E. 2000. Observaciones de un viverista y productor de planta forestal en la región del Pacífico Noroeste de Estados Unidos. *In*: Primer Congreso Nacional de Reforestación. Dirección General del Programa Nacional de Reforestación. SEMARNAP. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- NAVARRO C., J. 2003. Efecto del tamaño de envase en la sobrevivencia y crecimiento de *Pinus greggii* Engelm., en plantación. Tesis Licenciatura. Escuela de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. 46 p.
- PEÑUELAS R., J.L. 2004. El Centro Nacional de Mejora Forestal "El Serranillo": Diez años buscando la calidad de la planta forestal para las actuaciones en ámbito mediterráneo". Consultado en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/ponencias/1414.pdf>. Enero 2004.
- SCAGEL, R.; MADILL, M.; KOOISTRA, C.; BOWDEN, R. 1998. Provincial Seedling Stock Type Selection and Ordering Guidelines. Province of British Columbia. Ministry of Forests. Canada. 71 p.
- SHIVER, B.D.; BORDERS, B.E.; PAGE, H.H.; RAPER, S.M. 1990. Effect of some seedling morphology and planting quality variables on seedlings survival in the George Piedmont. *South J. Appl. For.* 14(3):109-114.
- THIE, D. L.; MANNINEN, S. 2003. Ozone and water deficit reduced growth of Aleppo pine seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry.* 41:55-63.
- TUTTLE, C.L.; SOUTH, D.B.; GOLDEN, M.S.; MELDAHL, R.S. 1987. Relationship between initial seedling height and survival and growth of loblolly pine seedlings planted during a drougthy year. *Ala. Agric. Exp. Station 1.* pp. 139-143.

- TUTTLE, C.L.; SOUTH, D.B.; GOLDEN, M.S.; MELDAHL, R.S. 1988. Initial *Pinus taeda* seedling height relationships with early survival and growth. Can. J. for. Res. 18:867-871.
- VILLAR S., P.; OCAÑA B., L.; PEÑUELAS R., J.L.; CARRASCO M., I.; DOMÍNGUEZ L., S. 1997. Efecto de diferentes niveles de endurecimiento por estrés hídrico en el contenido de nutrientes y la resistencia a la desecación de plántulas de *Pinus halepensis* L. In: Actas del II Congreso Forestal Español. pp 673-678.
- VILLAR S., P.; PEÑUELAS R., J.L.; CARRASCO M., I. 2000. Influencia del endurecimiento por estrés hídrico y la fertilización en algunos parámetros funcionales relacionados con la calidad de la planta de *Pinus pinea*. In: Actas del Primer simposio sobre el pino piñonero. Vallaolid, España. pp 211-218.
- VILLAR S.,P.; GARRACHÓN, S.; DOMÍNGUEZ L. S.; PEÑUELAS R., J.L.; SERRADA, R.; OCAÑA, L. 2001. Desarrollo en campo, arquitectura radical y estado hídrico seis años después de la plantación de brinzales de *Pinus pinea* cultivados en diferentes tipos de contenedores. In: Actas del III Congreso Forestal Español. Granada, España. pp. 797-803.

CAPÍTULO 6

IMPLICACIONES DE LOS RESULTADOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA

En la medida que se mejoren los procesos productivos involucrados en los programas de reforestación, las tasas de supervivencia y crecimiento de las plantaciones se incrementarán y contribuirán a disminuir el deterioro ocasionado a los ecosistemas forestales por causas diversas. Por ello, la etapa de vivero es importante en la cadena productiva y los resultados obtenidos demuestran que un apropiado manejo técnico, permite producir planta con los atributos morfológicos y fisiológicos requeridos para garantizar su establecimiento en campo. Aunque los aspectos estudiados: fertilización, estrés hídrico y tamaño de envase, comprenden sólo una parte del proceso productivo, éstos son importantes en la producción de planta y su aplicación adecuada contribuye a mejorar su calidad.

El suministro eficaz de nutrimentos favorece el crecimiento de las plantas, tal como sucedió cuando se fertilizó con Peters Professional™ en dosis de 50:125:101, 100:15-79 y 40:109:290 ppm de N-P-K, aplicadas en las respectivas fases de crecimiento de las plantas; así como la combinación de Multicote™ (5 kg m⁻³ de sustrato) y Peters Professional™ (en tres rutinas de fertilización). De estos resultados sobresale Peters Professional™ en la dosis indicada anteriormente, ya que implica menos costo.

Debido a la trascendencia que tiene la nutrición de las plantas durante su producción en vivero, considerada como la segunda práctica cultural en importancia después del riego, el tema debe seguirse explorando para generar rutinas específicas a nivel de especie y sitio. Asimismo, existen nuevas interrogantes respecto a la conveniencia de fertilizar en forma constante en cada fase de crecimiento de las plantas o aumentar las dosis de fertilización en forma

exponencial conforme crecen las plantas. También, la literatura reciente maneja nuevas hipótesis donde se sugiere incrementar las dosis de nitrógeno en la fase de preacondicionamiento, para generar reservas nutritivas que la planta utilizará después de plantada para formar tejido nuevo, incrementar la producción de raíces y propiciar el rompimiento de la yema.

Con respecto al estrés hídrico aplicado en las plantas, como herramienta de manejo para favorecer su preacondicionamiento, se encontró que la restricción de humedad disminuyó el crecimiento de las plantas en forma significativa, lo cual se comprobó en *Pinus cooperi* cuando la planta dejó de regarse hasta siete días y en *Pinus engelmannii* que duró hasta diez días sin regar. Sin embargo, en la primera especie el riego cada cuatro días en vivero, en la fase de preacondicionamiento, favoreció más el crecimiento de las plantas en campo. *Pinus engelmannii* sólo se evaluó en vivero, pero los resultados demostraron que el riego es fundamental en el crecimiento de las plantas y cuando se restringe puede utilizarse para favorecer el preacondicionamiento de las plantas, práctica poco común en los viveros forestales de México. Esta práctica cultural adquiere mayor relevancia cuando la humedad es escasa en los sitios de plantación.

Con relación a la evaluación de los envases de 80 y 170 cm³ de volumen, se encontró que el envase de mayor volumen favoreció más el crecimiento de las plantas en vivero, efecto que continuó en campo durante los 18 meses de evaluación. Pese a que los costos de producción en vivero, cuando se utiliza envase de 170 cm³, son mayores en cerca de un 20%, se considera una buena alternativa ya que garantiza producir planta de buena calidad, reflejada en una apropiada supervivencia y crecimiento de las plantas en campo, objetivo final de cualquier programa de reforestación. Aunque en el mercado existen una gran variedad de tipos y tamaños de envases, la selección del envase tiene implicaciones de tipo biológico y económico. Desde el punto de vista biológico los envases de mayor tamaño favorecen un mejor crecimiento de las plantas, pero deben tomarse en cuenta los costos de producción, por lo que se busca

seleccionar envases que permitan un buen crecimiento del sistema radical, sin que los costos de producción se incrementen considerablemente.

En la etapa de campo se plantó en dos sitios: El Carmen, Dgo., Dgo. y Santa Lucía, Pueblo Nuevo, Dgo., y a pesar de que las características climáticas son distintas, el primero ubicado en un bosque de transición y el segundo en un bosque de coníferas, los resultados sólo fueron diferentes en las variables supervivencia y crecimiento en altura; el resto de variables no tuvo diferencias significativas. Los resultados similares obtenidos en ambos sitios pudo deberse a a las buenas características morfológicas de las plantas y a que no existieron factores marcadamente desfavorables que afectaran a las plantas en los sitios de plantación. Sin embargo, es conveniente que se siga evaluando la respuesta de la planta en diferentes condiciones del sitio.

Finalmente, aunque los resultados obtenidos aportan conocimientos que contribuirán a mejorar los procesos productivos, el campo de investigación en viveros y plantaciones forestales aún es muy amplio en los temas abordados, ya que las respuestas de las plantas pueden variar en función de la especie y las condiciones de producción. Debe recalarse que la producción de planta y establecimiento de plantaciones forestales requiere de la aplicación integrada de los diversos componentes técnicos que integra la cadena productiva, por lo que si alguno de ellos se aplica en forma deficiente, es posible que los resultados no sean los esperados.

