



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA INICIAL DE *Pinus hartwegii* Lindl. EN ÁREAS QUEMADAS DEL AJUSCO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES

P R E S E N T A

VERÓNICA ORTEGA BARANDA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, Diciembre 2003

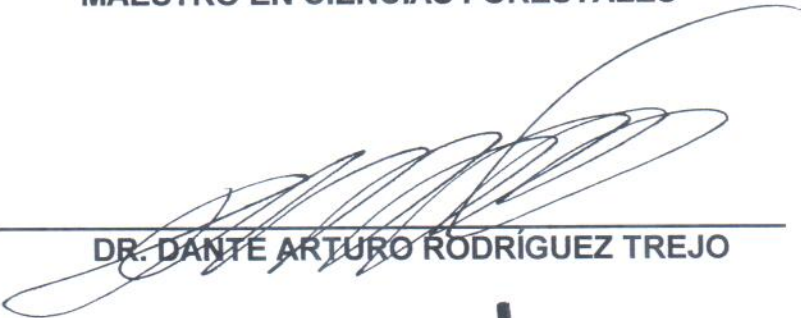


**CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA INICIAL DE *Pinus hartwegii*
Lindl. EN ÁREAS QUEMADAS DEL AJUSCO**

Tesis realizada por Verónica Ortega Baranda bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MUSÁLEM SANTIAGO

ASESOR:

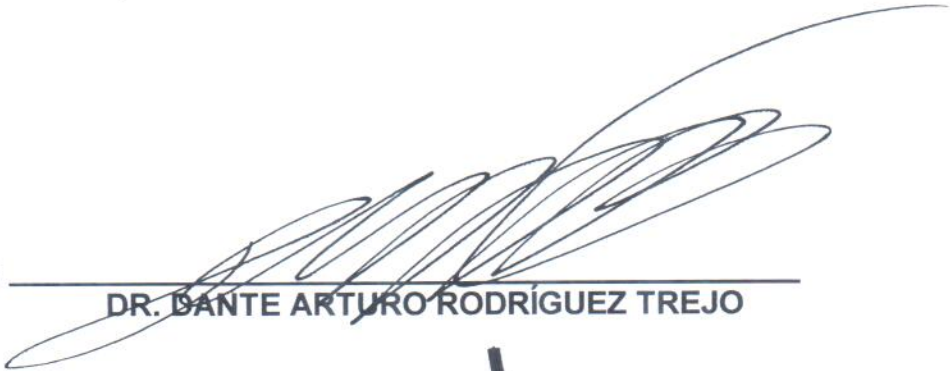


DR. DIODORO GRANADOS SÁNCHEZ

**CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA INICIAL DE *Pinus hartwegii*
Lindl. EN ÁREAS QUEMADAS DEL AJUSCO**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Verónica Ortega Baranda autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias Forestales, estuvo constituido por:

DIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



DR. MIGUEL ÁNGEL MUSÁLEM SANTIAGO

ASESOR:



DR. DIODORO GRANADOS SÁNCHEZ

A G R A D E C I M I E N T O S

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Dirección General de Investigación y Postgrado.

Personal docente del programa de Postgrado de la División de Ciencias Forestales.

Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por ser parte importante en mi formación de postgrado y a la elaboración de dicha investigación.

Dr. Miguel Ángel Musalem por sus valiosos comentarios y revisión a la investigación.

Dr. Diodoro Granados Sánchez por las sugerencias realizadas a la investigación.

Dr. Amparo Borja de la Rosa, por su amistad y apoyo brindado en todo momento.

Las brigadas contra incendios forestales de CORENA, por su valiosa ayuda en la realización de las quemas prescritas, así como en el establecimiento de la plantación.

Personal del vivero de San Luis Tlaxialtemalco (CORENA) del Departamento del Distrito Federal, al Ing. Salvador Castro Zavala, Gerente del vivero y al Ing. Celerino Cigarrero Clavería.

La presente investigación forma parte de los siguientes proyectos, dirigidos por el Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, y fue apoyada en diferentes momentos por las siguientes instituciones:

- **Proyecto de instalación (CONACYT): Ecología de la restauración en áreas afectadas por incendios forestales.**
- **Subproyecto, 2 Proyecto 03100515 (UACH): Impacto del fuego y restauración en el pinar de *Pinus hartwegii*.**

D E D I C A T O R I A

**A todas las personas especiales que forman parte de mi vida y que le dan
un toque mágico a mi ser.**

“Los amo”

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en la Ciudad de México, el 7 de mayo de 1972. Realizó los estudios de primaria en 1984 en la Escuela Leona Vicario, San Lorenzo, Estado de México, en 1987 curso la Secundaria en la escuela "Gral. José María Morelos y Pavón, Ecatepec de Morelos, Estado de México; en 1991 obtuvo el certificado de vocacional en el Instituto Politécnico Nacional, C.E.C.Y.T. "Miguel Othón de Mendizabal", México, D.F., para el año de 1996 terminó la licenciatura en Ingeniero Forestal con orientación en Silvicultura, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Edo. de México.

Para el año de 1997 fue responsable de aplicar el inventario de Plantaciones de *Tamaris chinensis* en el Ex-Lago de Texcoco, contratado por el INIFAP. En 1998 se desempeñó como Subdelegado de Fomento a la Producción Forestal de la R-VIII, Jilotepec, Secretaría de Desarrollo Agropecuario, PROBOSQUE, realizando las actividades de Asesoría técnica en aprovechamientos forestales, Proyectos productivos forestales y asesoría a industria forestal.

En enero de 2001 empezó los Estudios de Maestría en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.

Verónica Ortega Baranda

**CALIDAD DE PLANTA Y SUPERVIVENCIA INICIAL DE *PINUS HARTWEGII*
Lindl. EN ÁREAS QUEMADAS DEL AJUSCO
Diciembre 2003**

RESUMEN

Bajo la dirección de Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

Se estudió el efecto de dos calidades de planta de *Pinus hartwegii* (chica, con un diámetro ≤ 7 mm, y grande, con un diámetro ≥ 8 mm) en áreas quemadas a diferente intensidad y en distinta época: quema prescrita a baja intensidad (en contra de viento y pendiente) e incendio confinado (a favor de viento y pendiente). Estas quemas se aplicaron tanto el 21 de marzo de 2002 como el 29 de mayo de 2002. La plantación se realizó en julio del mismo año. Se encontró que la supervivencia a seis meses fue mayor en el testigo y en el área quemada de manera prescrita en marzo, con 93% y 88%, que mostraron diferencias con respecto al tratamiento de incendio confinado y a la quema prescrita de mayo, que tuvieron valores de 61% y 59%. La planta grande mantuvo mayores diámetro y biomasa, y en los sitios quemados el crecimiento de su raíz fue menor que en el área no quemada, dada la mayor disponibilidad de nutrientes de esta última. La concentración de nutrientes, N, P y K, tendió a reducirse hacia el invierno en todos los tratamientos, pero en todos los caso se tuvieron valores significativamente menores que los del testigo.

Palabras clave: *Pinus hartwegii*, planta, quema prescrita, plantación.

Verónica Ortega Baranda

**SEEDLING QUALITY AND INITIAL SURVIVAL OF *PINUS HARTWEGII* Lindl.
IN BURNED AREAS IN THE AJUSCO
December 2003**

ABSTRACT

Under the direction of Dr. Dante Arturo Rodriguez Trejo

The effect of two qualities of *Pinus hartwegii* seedlings (small, with a diameter $\leq$ 7 mm, and large, with a diameter $\geq$ 8 mm) in areas burned at different intensities and different season was studied: prescribed burning at low intensity (wind and slope backwards) and confined forest fire (in the same direction as slope and wind). These burns were applied on March 21 and May 29, 2002. Seedling planting was carried out in July of the same year. It was found that the survival, six months after planting, was greater in the control area and in the prescribed area burned in March, with 93% and 88%, respectively. Such figures were different from the ones for the confined forest fire in May in which the prescribed burn showed values equal to 61% and 59%. The large plant had a larger diameter and biomass. Its root growth was less in the burned areas, because of the higher nutrient availability. The concentration of N, P and K, tended to decrease toward winter in all treatments, but in any case had significantly lower values in comparison to the control.

Key words: *Pinus hartwegii*, seedlings, prescribed burning, Plantation.

ÍNDICE GENERAL

	Página
APROBACIÓN DE LA TESIS DE GRADO	ii
APROBACIÓN DEL EXAMEN EN GRADO	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
DATOS BIOGRÁFICOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE GENERAL	ix
LISTA DE CUADROS O TABLAS	xiv
LISTA DE FIGURAS	xv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA	5
4.1 Especie en estudio	5
4.1.1 Distribución	5
4.1.2 Clima	5
4.1.3 Topografía	6
4.1.4 Suelos	6
4.1.5 Geología	6
4.1.6 Marco ecológico	6
4.1.7 Importancia	6
4.2 Quemas prescritas y uso del fuego	7
4.2.1 Quemas prescritas	7
4.2.1.1 Importancia de las quemas prescritas	8

4.2.2 El fuego y el ciclo de nutrientes	10
4.2.2.1 Mecanismos en la pérdida de nutrientes	10
4.2.2.2 Reacción de los nutrientes al fuego	12
4.2.2.2.1 Nitrógeno	15
4.2.2.2.2 Fósforo	16
4.2.2.2.3 Potasio	18
4.2.2.3 El fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo	19
4.2.2.4 El fuego y los microorganismos	19
4.3 Calidad de planta	20
4.3.1 Altura	24
4.3.2 Diámetro	24
4.3.3 Biomasa total	25
4.3.4 Biomasa de la parte aérea	25
4.3.5 Biomasa de la raíz	25
4.3.6 Arquitectura de la raíz	26
4.3.7 Estado sanitario	26
4.3.8 Concentración de nutrientes	26
4.3.9 Variables morfológicas y fisiológicas en la supervivencia de los brinzales	27
4.3.10 Importancia de la calidad de planta	29
5. MATERIALES Y MÉTODOS	31
5.1 Descripción del área de estudio	31
5.1.1 Localización	31
5.1.2 Clima	31
5.1.3 Orografía	33
5.1.4 Topografía	34
5.1.5 Geología	34
5.1.6 Hidrología	34
5.1.7 Edafología	34
5.1.8 Vegetación	36
5.1.9 Fauna	38
5.2 Establecimiento del experimento	38
5.2.1 Quema prescrita e incendios confinados	40
5.2.2 Material de plantación	42

5.2.3 Plantación	44
5.3 Obtención de datos	44
5.3.1 Medición de variables al momento de la plantación	44
5.3.1.1 Diámetro	46
5.3.1.2 Altura	46
5.3.1.3 Longitud de la raíz principal	46
5.3.1.4 Número de raíces laterales	46
5.3.1.5 Análisis de biomasa	46
5.3.1.6 Concentración de nutrientes en el follaje	47
5.3.2 Medición de variables a los seis meses de establecida la plantación	47
5.3.2.1 Laboratorio	47
5.3.2.2 Campo	48
5.3.2.2.1 Supervivencia	48
5.3.2.3 Variables derivadas	48
5.3.2.3.1 Tasa relativa de crecimiento (TRC)	48
5.3.2.3.2 Peso relativo (PR)	48
5.3.2.3.3 Porcentaje de incremento	49
5.4 Diseño experimental	49
5.5 Modelo estadístico	49
5.5.1 Prueba de hipótesis	51
5.6 Análisis estadístico	52
6. RESULTADOS Y DISCUSION	53
6.1 Supervivencia	53
6.2 Diámetro	56
6.2.1 Crecimiento	56
6.2.1.1 Tasa relativa de crecimiento en diámetro	58
6.2.1.2 Porcentaje de incremento en diámetro	58
6.2.2 Diferencias en diámetro a través del tiempo	58
6.3 Raíz principal	62
6.3.1 Biomasa de la raíz principal	62
6.3.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíz principal	62

6.3.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de raíz principal	62
6.3.1.3 Peso relativo de la raíz principal	64
6.3.2 Diferencia de biomasa de la raíz principal a través del tiempo	64
6.4 Raíces laterales	68
6.4.1 Biomasa de raíces laterales	68
6.4.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíces laterales	70
6.4.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de raíces laterales	70
6.4.1.3 Peso relativo de raíces laterales	70
6.4.2 Diferencia de biomasa de raíces laterales a través del tiempo	70
6.5 Acículas	73
6.5.1 Biomasa inicial de acículas	73
6.5.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de acículas	73
6.5.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de acículas	73
6.5.1.3 Peso relativo de acículas	73
6.5.2 Diferencia de biomasa de acículas a través del tiempo	73
6.6 Tallo y yema	74
6.6.1 Biomasa inicial del tallo y yema	74
6.6.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa del tallo y yema	74
6.6.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa del tallo y yema	74
6.6.1.3 Peso relativo del tallo y yema	77
6.6.2 Diferencia de biomasa de tallo y yema a través del tiempo	77
6.7 Parte aérea	77
6.7.1 Biomasa inicial de la parte aérea	77
6.7.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de la parte aérea	77
6.7.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de la parte aérea	81
6.7.1.3 Peso relativo de la parte aérea	81
6.7.2 Diferencia de biomasa de la parte aérea a través del tiempo	81

6.8 Parte subterránea	81
6.8.1 Biomasa inicial de la parte subterránea	81
6.8.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de la parte subterránea	84
6.8.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de la parte subterránea	84
6.8.1.3 Peso relativo de la biomasa subterránea	84
6.8.2 Diferencia de biomasa de la parte subterránea a través del tiempo	84
6.9 Biomasa de toda la planta	87
6.9.1 Biomasa total	87
6.9.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de la parte total	87
6.9.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de la parte total	87
6.9.2 Diferencia de biomasa de toda la planta a través del tiempo	87
6.10 Concentración foliar de nutrientes	91
6.10.1 Nitrógeno	91
6.10.1.1 Diferencias entre tratamientos	91
6.10.1.2 Diferencia a través del tiempo	93
6.10.2 Fósforo	96
6.10.2.1 Diferencias entre tratamientos	96
6.10.2.2 Diferencia a través del tiempo	96
6.10.3 Potasio	99
6.10.3.1 Diferencias entre tratamientos	99
6.10.3.2 Diferencia a través del tiempo	99
7. CONCLUSIONES	103
8. LITERATURA CITADA	105

LISTA DE CUADROS

		Página
Cuadro 1	Concentración de nutrientes minerales en el follaje de coníferas producidas en contenedores.....	28
Cuadro 2	Cronología de las quemas prescritas en el establecimiento del experimento.....	39
Cuadro 3	Características del tiempo atmosférico y comportamiento del fuego al momento de realizar las quemas prescritas e incendios confinados.....	41
Cuadro 4	Cantidad de planta por tratamiento.....	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1	Localización de la zona de estudio de <i>Pinus hartwegii</i> en la Sierra del Ajusco.....
	32
Figura 2	Desarrollo radicular de <i>Pinus hartwegii</i> en contenedor tipo V-93.....
	43
Figura 3	Esquema del experimento en campo, época e intensidad de quema y calidad de planta de <i>Pinus hartwegii</i> en la Sierra del Ajusco.
	45
Figura 4	Supervivencia inicial de brinzales seis meses después de establecida la plantación en áreas quemadas en diferente tiempo e intensidad.....
	54
Figura 5	Diámetro promedio de la planta por calidad, después de seis meses de establecida la plantación.....
	57
Figura 6	Diferencias por calidad de planta para los tratamientos: a) MaB; b) MaA; c) MyA; d) MyB).....
	60
Figura 7	Diferencias a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MaA; c) MyA; d) MyB).....
	61

Figura 8	Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíz principal.....	63
Figura 9	Porcentaje de incremento en biomasa de raíz principal por tratamiento con fuego y calidad de planta.....	65
Figura 10	Biomasa de raíz principal a través del tiempo, para los tratamientos: a) control; b) MaB y c) MyA.....	66
Figura 11	Interacción calidad de planta y tiempo de la biomasa de la raíz principal en los tratamientos: a) MyB y b) MaA.....	67
Figura 12	Biomasa de raíces laterales por calidad de planta, a seis meses de la plantación.....	69
Figura 13	Biomasa de raíces laterales a través del tiempo, para los siguientes tratamientos:a)MaB; b) MyA.....	71
Figura 14	Interacción por tiempo y calidad de planta de las raíces laterales de los tratamientos : a) Control; b) MaA; c)MyB.....	72
Figura 15	Biomasa del tallo y yema por calidad a seis meses de la plantación.....	75

Figura 16	Tasa relativa de crecimiento en biomasa de tallo y yema.....	73
Figura 17	Peso relativo del tallo y yema por calidad a seis meses de la plantación.....	78
Figura 18	Interacción calidad de planta y tiempo para tallo y yema en los tratamientos: a) control; b) MaB; c) MyA y d) MaA.....	79
Figura 19	Diferencias estadísticamente significativas de la diferencia en biomasa a través del tiempo del tallo y yema bajo el factor tiempo, para el tratamiento MyB.....	80
Figura 20	Diferencias de la cantidad de biomasa aérea a través del tiempo, para los tratamientos: a)MaB y b)MyB.....	82
Figura 21	Diferencias de biomasa aérea a través del tiempo por la interacción calidad de planta-tiempo para los tratamientos: a) Control y b) MaA.....	83
Figura 22	Diferencia en biomasa subterránea por la interacción calidad de planta-tiempo para los tratamientos: a) control; b) MaA; c) MyB.....	85

Figura 23	Diferencias estadísticamente significativas para la diferencia de biomasa subterránea a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MyA.....	86
Figura 24	Diferencias estadísticamente significativas de la diferencia de biomasa total a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MyA; c) MyB.....	88
Figura 25	Diferencias estadísticamente significativas de la diferencia de biomasa total a través del tiempo por calidad de planta en los tratamientos: a) MyA; b) MyB.....	89
Figura 26	Diferencias de la calidad de biomasa total a través del tiempo por la interacción calidad de planta-tiempo para el control y el tratamiento MaA.....	90
Figura 27	Nitrógeno total (%) tratamiento con fuego y calidad a seis meses de establecida la plantación.....	92
Figura 28	Concentración de nitrógeno total para la interacción calidad de planta-tiempo en los tratamientos: a) MaB; b) MyA; c) MyB.....	94
Figura 29	Concentración de fósforo por tratamiento, a seis meses de establecida la plantación.....	97

Figura 30	Diferencias el contenido de fósforo total (%) a través del tiempo por calidad de planta en los tratamientos: a) C; b) MaB; c) MaA; d) MyB.....	98
Figura 31	Porcentaje de potasio por calidad de planta, a seis meses de establecida la plantación.....	100
Figura 32	Diferencia en el porcentaje del contenido de potasio total a través del tiempo por la interacción calidad de planta-tiempo en los tratamientos: a) Control; b) MaB, c) MyB; d) MyA; e) MaA.....	101

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales son sistemas dinámicos de circulación, transformación, acumulación y pérdida de energía y materia. Los cambios en energía y materia son el resultado de numerosos cambios biológicos, químicos y físicos que varían sobre el espacio y el tiempo; muchos de estos cambios ocurren continuamente, otros ocurren periódicamente y algunos en el término de días irregulares o estacionales como son los incendios forestales (Walstad *et al.*, 1990).

El fuego es un factor ecológico natural tan importante como el viento, la temperatura, el suelo o la precipitación, pues determina la composición, estructura y función de muchos de los ecosistemas del mundo. El fuego es muchas veces un factor ambiental de baja frecuencia, pero de considerable efecto; es uno de los factores principales de destrucción de comunidades y también de renovación de éstas, lo que conduce a una sucesión ecológica (Granados y López, 2000).

El hombre al poder estudiar los efectos del fuego sobre los ecosistemas forestales lo ha utilizado para alcanzar muchos de sus objetivos como lo señala Rodríguez (1996), siendo uno de estos objetivos en la preparación de zonas para reforestación (regeneración natural o artificial), para facilitar el acceso durante la reforestación, en el manejo de la composición de especies en la sucesión y competencia, etc.

Al utilizar el fuego para fines de preparación del terreno es necesario tener en claro cuál es la finalidad de dicha plantación, esto con el objeto de contar con planta de calidad que satisfaga dichos objetivos. La calidad de planta es un

conjunto de indicadores que se evalúan y que juegan un papel importante para el establecimiento, supervivencia y crecimiento de las plantaciones (tanto comerciales como de restauración); sin embargo, la calidad debe visualizarse de dos formas: la primera con relación a alcanzar ciertos estándares normalmente morfológicos y fisiológicos en el vivero, y la segunda, consiste en comprobar estadísticamente tales estándares en campo (Fierros *et al.*, 2001).

El presente trabajo se realizó en la Sierra del Ajusco, Distrito Federal, en rodales de *Pinus hartwegii* Lindl quemados en distintas épocas y diferentes intensidades, con el propósito de evaluar estándares de calidad de planta en condiciones naturales de las quemas previas del bosque.

2. OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar estándares de calidad de planta de *Pinus hartwegii* Lindl. producida en vivero para evaluar su comportamiento en áreas naturales de la especie y quemadas en diferentes épocas e intensidades.

PARTICULARES

- Validar estándares de calidad de planta de *Pinus hartwegii*.
- Investigar indicadores morfológicos de calidad de planta, biomasa en la supervivencia y crecimiento de brinzales plantados en áreas quemadas a diferente intensidad y en distinta época.
- Estudiar la concentración foliar de N, P y K de planta producida en vivero y seis meses después de establecida la plantación.

3. HIPÓTESIS

En rodales naturales de *Pinus hartwegii* Lindl, quemados (en distintas épocas y en diferentes intensidades) y plantados con la misma especie, se obtendrá que en áreas quemadas a baja intensidad el porcentaje de supervivencia en *Pinus hartwegii* con calidad de planta chica será menor en comparación con la calidad de planta grande, que tendrá un mayor desarrollo y supervivencia. La concentración foliar de N, P y K en *Pinus hartwegii* será menor en rodales quemados al paso de seis meses de establecida la plantación.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Especie en estudio

4.1.1 Distribución

Pinus hartwegii Lindl, se encuentra en los picos y montañas más altas de México, esta especie se ubica entre los 16°20' a 25°03' de latitud norte y 92°20' a 103°55' de longitud oeste. La altitud en la que se halla varía entre los 3,000 y 4,000 metros sobre el nivel del mar. Se puede encontrar en el Distrito Federal, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Morelos, Orizaba Veracruz, Michoacán, Oaxaca, Guerrero y Chiapas; esta especie se observa formando masas puras o mezcladas (Musálem y Solís, 2000).

4.1.2 Clima

Se presenta en climas templados subhúmedos, mesotermos, con lluvias deficientes en invierno, del tipo Cwc (semifríos húmedos con veranos cortos). Las precipitaciones oscilan entre 700 y 1,800 mm, pero los mejores rodales se encuentran entre los 1,000 a 1,200 mm anuales. La temperatura media es de 10°C hasta 14°C, con extremas máximas de 38°C y extremas mínimas hasta de -20°C en los volcanes; es la especie arbórea más tolerante a temperaturas bajas (Musálem y Solís, 2000).

4.1.3 Topografía

Pinus hartwegii se puede encontrar en terrenos planos, ondulados o escarpados con cualquier tipo de exposición (Musálem y Solís, 2000).

4.1.4 Suelos

Este crece sobre suelos profundos, ricos en materia orgánica, buen drenaje y texturas franca y migajón arenosa (Musálem y Solís, 2000).

4.1.5 Geología

Crece sobre suelos volcánicos formados por derrames andesíticos-dacíticos (Musálem y Solís, 2000).

4.1.6 Marco ecológico

Musálem y Solís (2000) han observado que esta especie representa comunidades clímax (en las partes altas de su intervalo de distribución) y que muestra resistencia al efecto de incendios gracias a un estado cespitoso que dura entre dos y cinco años (Musálem y Solís, 2000). Rodríguez (2001) y Rodríguez y Fulé (2003) señalan que se regenera en sitios quemados, emite rebrotes, tiene corteza gruesa, buena poda natural y capacidad para recuperar copa afectada por el fuego.

4.1.7 Importancia

Su madera es utilizada para celulosa, papel, pulpa química y pasta mecánica, elaboración de postes, durmientes y chapa, entre otros usos. Estos bosques cumplen eficazmente su función recreativa y de protección a otros

recursos, como en el caso de esparcimiento, amortiguamiento de los efectos de la contaminación ambiental, además de ser un regulador del régimen hidrológico producto del deshielo de los volcanes y el alimentador de agua a los mantos freáticos del Valle de México (Musálem y Solís, 2000).

4.2 Quemias prescritas y uso del fuego

4.2.1 Quemias prescritas

El fuego forma parte de la dinámica de muchos ecosistemas forestales, el uso deliberado de este factor lo condiciona como una herramienta dentro del manejo integral forestal (Chandler *et al.*, 1983; Flores y Benavides, 1993). Así mismo, Flores y Benavides (1993) señalan que las quemias prescritas se usan ampliamente en varios países como apoyo a sus planes de manejo integral; sin embargo, en México se ha fomentado muy poco su uso.

Chandler *et al.* (1983) denota que las quemias prescritas son la aplicación (relativamente) controlada del fuego con combustibles silvestres, en su estado natural o modificado, bajo condiciones ambientales específicas (climáticos, tipo de combustible, comportamiento del fuego, etc.) que llevan a confinar el fuego a un área predeterminada (definida y delimitada) y, al mismo tiempo, producir una intensidad calorífica y tasa de propagación requerida para atender objetivos planeados de manejo de recursos naturales.

Es necesario tener en claro, como lo señala Rodríguez (1996) que el especialista prende fuego para quemar islas de combustibles, abrir sistemas de líneas negras, usar contrafuegos, y para conducir quemias o quemias prescritas que pueden realizarse con múltiples objetivos; bajo este argumento es

necesario conocer factores del comportamiento del fuego que favorezcan y conlleven a los objetivos deseados.

Flores y Benavides (1995) diferencian la aplicación de las quemas prescritas en dos tipos: en contra de la pendiente y a favor de la pendiente; la diferencia básica entre estas dos técnicas es referente al comportamiento del fuego y la generación de calor en cada una de ellas. En la quema a favor de la pendiente, el fuego se desplaza más rápido y con mayor intensidad que en contra de la pendiente.

Las quemas de baja intensidad son las quemas que mejoran la productividad del suelo, cuando las características de éste lo permitan, no solo por el aumento de su contenido de nutrimentos, también favoreciendo los microorganismos. Las quemas intensas, abaten la productividad al afectar adversamente diversas propiedades del suelo, como en el caso literal del cocimiento de suelos muy arcillosos; en bosques poco densos el viento y el agua pueden erosionar las cenizas y el suelo, produciéndose una salida de nutrimentos del área, esto es especialmente importante en las localidades abiertas, con fuertes pendientes (Rodríguez, 1996).

4.2.1.1 Importancia de las quemas prescritas

La aplicación de las quemas prescritas no debe ser excesiva en intensidad ni frecuencia y cabe esperar que los diversos efectos favorables se presentan más en especies mejor adaptadas a los incendios, como es el caso de muchas especies de pino (Rodríguez, 1996) autores como Smith, 1986; Walstad *et al.*, 1990; Fuller, 1991; Robbins y Myers, 1992; Nyland, 1996; Rodríguez, 1996,

enlistan una serie de beneficios que conllevan la utilización de quemas prescritas:

- Remover obstáculos vegetales para realizar la reforestación.
- Estimular la apertura de conos serotinos y otros frutos.
- Crear un ambiente conveniente para que las semillas germinen (preparación de la cama semillera, en suelo mineral descubierto) .
- Reducir el grosor del piso forestal para exponer el suelo mineral.
- Manipular la sucesión secundaria para favorecer el desarrollo de especies preferidas.
- Remover vegetación indeseable que interfiera con la eficiencia en la captación de luz solar y humedad para el desarrollo de los brinzales.
- Mejorar el habitat para la fauna.
- Controlar plagas forestales (en algunos casos).
- Mejorar accesos.
- Mejorar apariencia.
- Restaurar comunidades bióticas y mantenimiento.
- Acelerar el proceso de absorción de nutrimentos para el desarrollo de los brinzales.
- Estimular la regeneración de algunas herbáceas para la fijación de N.

Al llevar a cabo actividades de preparación del sitio para realizar la reforestación, muchas de las veces es conveniente considerar que las quemas prescritas para la reforestación pueden ser limitados por factores como los siguientes (Walstad *et al.*, 1990):

- La seguridad
- La sanidad y lo estético
- La ecología y la productividad
- Consideraciones operacionales como la eficiencia y lo económico

El mejor uso de las quemas prescritas para la reforestación requiere experiencia y conocimiento del comportamiento del fuego y de sus impactos.

4.2.2 El fuego y el ciclo de nutrientes

Los nutrientes entran al suelo ya sea por precipitación o por fijación en procesos geoquímicos de rocas por acción del ambiente, y por descomposición de la materia orgánica, entre otros procesos. Los incendios forestales ayudan a la transformación de la materia orgánica en nutrientes asimilables (DeBano *et al.*, 1998).

Además de facilitar las labores de plantación mediante la reducción de obstáculos con las quemas prescritas, se trata además de obtener el efecto de fertilización por el enriquecimiento con los minerales de las cenizas, producto de la combustión.

4.2.2.1 Mecanismos de reciclaje de nutrientes

Chandler *et al.* (1983); Robbins y Myers (1992); Pyne *et al.* (1996) apuntan que la intensidad y la frecuencia del fuego afectan directamente las propiedades

físicas, químicas y biológicas del suelo. Asimismo, la intensidad y la duración de la precipitación después de la quema, puede indicar erosión y pérdida de nutrientes.

Los disturbios en los ecosistemas forestales cambian la forma, la distribución y la cantidad de nutrientes; la combustión de la materia orgánica comúnmente resulta en la volatilización de nutrientes. La volatilización depende de la temperatura y de los elementos que son volatilizables como el N, el Azufre y Fósforo, empezando por los nutrientes más volatilizables. Con el incremento en la intensidad del fuego, como lo indican Walstad *et al.* (1990) estos y otros nutrientes se pierden como cenizas debido a la acción del viento o bien en la columna o pluma del humo.

Cuando los incendios o las quemas prescritas son muy intensos, el resultado es una larga pérdida de nutrientes. Reduciendo la intensidad del fuego se reduce la pérdida de nutrientes. Esta pérdida puede reducirse de un cuarto hasta un medio si la intensidad del fuego es controlada; un dato importante a aclarar es que el ciclo de nutrientes y la productividad del suelo son influenciados por el régimen de fuego del sitio; esta pérdida de nutrientes se puede dar en tres formas (Walstad *et al.*, 1990):

- A. Convección. Las cenizas son transportadas en la atmósfera, resultando en la pérdida de algunos nutrientes. Las cenizas son producto de la combustión orgánica de la materia que contiene pequeñas cantidades de N, pero un mayor contenido de cationes, Silicio y otros elementos. La reducción en la intensidad del fuego reduce la convección y la pérdida de nutrientes.

B. Volatilización. La volatilización de los elementos ocurre cuando la temperatura es suficientemente alta para convertir un elemento en forma gaseosa como es el caso de elementos primarios: Nitrógeno, Azufre y Fósforo.

La pérdida de nutrientes con frecuencia se da en el siguiente orden: $N > K > Mg > Ca > P$ (Waring y Schlesinger, 1985).

C. Lixiviación. La lixiviación consiste en que nutrientes, materia orgánica fina, y partículas de suelo en solución, descienden hacia el subsuelo y mantos acuíferos. Éstos son otros procesos por los cuales se pierden los nutrientes, pues quedan fuera del alcance de las plantas.

Esta pérdida de nutrientes por lixiviación, volatilización y convección, se llega a reducir en gran medida al realizar las quemas prescritas, a diferencia de los incendios forestales, en donde no se tiene algún control sobre el comportamiento del fuego (Walstad *et al.*, 1990).

4.2.2.2 Reacción de los nutrientes al fuego

El fuego tiene una gran variedad de efectos sobre los nutrientes y el suelo, que entre otros factores depende del tipo de vegetación que exista en el sitio. Esta importancia de nutrientes como el N es el elemento más limitante después de un incendio, seguido por P y S. Los cationes producidos son importantes por su efecto en el pH del suelo (DeBano *et al.*, 1998; Romanya *et al.*, 2001).

Del mismo modo, los eventos bioquímicos tienden a incrementar la concentración y la movilidad de ciertos elementos solubles, como lo indican Pyne *et al.* (1996) los cationes de K, Ca y Mg, disminuyen la presencia de ciertos aniones como Azufre y Fosfato, y de la misma forma disminuye la

cantidad de N orgánico y se incrementa el N inorgánico; dependiendo de la intensidad del fuego y los eventos después de realizada la quema.

Smith (1986) señala que las quemas prescritas aceleran el reciclaje de nutrientes, para la absorción de estos por las plantas.

El Nitrógeno y el Azufre se volatilizan en forma gaseosa cuando las temperaturas exceden los 200 a 300° C, mientras que otros nutrientes como el Calcio no se volatilizan, a menos que las temperaturas alcancen los 500° C. De esta manera, los incendios intensos eliminan cantidades importantes de nutrientes; las cenizas que se producen en los incendios provocan un pH más alto, el cual puede favorecer un mayor grado de descomposición, debido a la liberación de cationes alcalinos (Binkley, 1993).

Diferentes estudios demuestran que las altas temperaturas llegan a realizar cambios en las concentraciones de los elementos minerales en el suelo Fuller (1991) realizó estudios en California en donde demuestra que a temperaturas mayores a 480 hasta 570 °C el contenido de N, P, K y Ca pueden variar a esas temperaturas. Walstad *et al.* (1990) refieren para condiciones de laboratorio que a 390°C se volatilizó el N de la materia orgánica de *Pinus ponderosa*, mismo que después se lixivió por la percolación del agua, a consecuencia de las lluvias, hacia las capas bajas del suelo. Por otra parte, señalan que muchas de las cenizas suman minerales al suelo, actuando como fertilizantes.

Tomkins *et al.* (1991) encontraron que las quemas prescritas tienden a aumentar las concentraciones de algunos nutrientes; como el Ca^{+2} intercambiable, el Carbono orgánico, el Potasio y otros nutrientes, este

incremento ocurrió rápidamente mostrándose en elevadas concentraciones, y pudo persistir hasta por un año.

Existen una serie de factores como el clima, las condiciones específicas del sitio y las variaciones del régimen del fuego, que llegan a afectar la cantidad de nutrientes disponibles después de una quema prescrita o un incendio. En el caso de las pérdidas se pueden deber a ciertos mecanismos (Christensen, 1993):

- a) El fuego puede oxidar o volatilizar algunos elementos.
- b) Los nutrientes se pueden perder a consecuencia de la convección de las partículas de ceniza.
- c) Por incremento en la movilidad de nutrientes minerales.
- d) A consecuencia del fuego se puede acelerar la erosión y ocurrir una pérdida de nutrimentos.
- e) Hay una parte que la planta no utiliza.
- f) Durante las quemas prescritas es importante considerar que muchas de las cenizas son transportadas a bosques adyacentes a las áreas donde se realizaron las quemas.

Las quemas incrementan la cantidad de nutrientes disponibles en la superficie del suelo, con la posible excepción del N, ya que algunos estudios reportan una pérdida significativa, pero otros apuntan una pequeña pérdida, o que no se afecta significativamente (Chandler *et al.*, 1983).

4.2.2.2.1 Nitrógeno

El N es uno de los elementos más frecuentemente citados ya que es el que más rápidamente se pierde a causa de la volatilización. Es el elemento esencial en todos los aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas y moléculas de clorofila y una influencia notable en el crecimiento vegetativo (membranas celulares) (Duryea, 1985; Álvarez y Bautista, 1999 y Pineda *et al.*, 2000).

El N se pierde comúnmente en un intervalo de 112 a 1000 Kg por ha. Así mismo, el N disponible dependerá de la calidad del sitio, los tiempos de descomposición de la materia orgánica, y la frecuencia de los incendios, entre otros factores, ya que los sitios con mayor índice de incendios tienden a reducir su productividad (Walstad *et al.*, 1990).

Como se ha mencionado anteriormente, la pérdida de N se puede dar por diferentes formas. Tomkins *et al.* (1991) señalan que una gran cantidad de nitrógeno se pierde por volatilización o por la lixiviación en la época de lluvias, que el amonio (NH_4^+) declinó, y que el nitrato (NO_3^-) no fue producido sino hasta seis meses después de la quema, lo cual puede indicar un regreso a los niveles después de un año o dos.

Kozlowsk (1974) encontró que de nitrógeno se pierde 320 kg por hectárea, esto es, 10% del total del N en el sitio. Parte del N se recupera con el agua de lluvia, pero no usualmente en el mismo sitio.

Chandler *et al.* (1983); Waring y Schlesinger (1985); Christensen (1993); realizaron estudios en donde se demuestra que la pérdida de N puede ser proporcional a la pérdida total de materia orgánica. Así mismo, la pérdida de N por volatilización y oxidación puede variar entre 20% y 50% (100 hasta 300

kg/ha) del total del N, dependiendo de las características del sitio; con temperaturas del fuego de 300 hasta 700°C.

Cabe recordar que el N es el nutriente más limitante en el crecimiento de muchas especies forestales; se ha encontrado que un incremento en N en el suelo se refleja en el aumento de la concentración de este nutriente en los tejidos vegetales.

DeBano *et al.* (1998) anota que cerca de dos terceras partes del total de N son perdidas durante quemas en suelos secos, en contraste con sólo el 25% cuando el suelo esta húmedo.

No en todas las quemas prescritas el N va a volatilizarse en grandes cantidades. El N que no es volatilizado permanece estable en el sitio, disponible como nitrógeno amoniacal en el suelo, dependiendo de la severidad y duración del incendio (Flores y Benavides, 1995). Por otra parte, la pérdida de N es reemplazada por la descomposición de rocas minerales del suelo y la caída de lluvia ácida, sales y otros productos provenientes de la contaminación (Smith, 1986).

Cabe señalar que Aguirre (1978) reporta una pequeña pérdida de N por volatilización en suelos de bosques de *Pinus hartwegii*, andosoles mólicos, ricos en materia orgánica, ricos en nitrógeno y fértiles.

4.2.2.2.2 Fósforo

El Fósforo lleva a cabo la función de suministro de energía ADP y ATP a las células (fosfolípidos y de alta energía de enlaces de fosfatos), ácidos nucleótidos, proteínas, varias enzimas en los fosfolípidos de las membranas,

promueve el crecimiento de la raíz y promueve la rectitud del tallo (Pineda *et al.*, 2000; Duryea, 1985). Todos los macronutrientes, con excepción del P, son un incorporador dentro de los constituyentes celulares. El P orgánico es lentamente convertido, durante la descomposición, en una forma disponible para la planta. Este P se pone en libertad durante la descomposición inmediatamente por la enzima fosfatasa (DeBano, 1998).

La pérdida de P se da en muy pequeña proporción en relación con la pérdida de N (Walstad *et al.*, 1990); es otro de los elementos más fácilmente volatilizables. El P está presente en concentraciones de aproximadamente el 20% de la concentración del N; una quema puede remover hasta un 60% de éste (Flores y Benavides, 1995). La nutrición con P en coníferas no es considerada un grave problema porque las micorrizas son efectivas para extraer P del suelo. De igual forma, DeBano *et al.* (1998) mencionan que el P está limitado en algunos ecosistemas.

Tomkins *et al.* (1991) señalan que la concentración de P puede incrementarse después de una lluvia de 108 mm. Por otra parte, Christensen (1993) encontró que las concentraciones de P aumentó solo después de varios meses del incendio.

Aguirre (1978) refiere que en suelos de bosques de *Pinus hartwegii*, tuvieron concentraciones de este elemento de entre tasas de 0.67 a 5.04 ppm, que aumentaron al intervalo 1.57 a 7.42 ppm luego de aplicarse quemas prescritas.

4.2.2.2.3 Potasio

El K regula la apertura y cierre de estomas, influye en la fotosíntesis (CO_2), promueve la formación de almidones y azúcares y la producción de raíces, mantiene la rigidez del árbol y favorece la rectitud del fuste (Pineda *et al.*, 2000).

El K en las cenizas frescas está en forma de óxidos o carbonatos, con el óxido cambiando rápidamente a carbonato. Todos los compuestos de K se forman, por la quema, en carbonatos y son solubles en agua. Se pierde muy poco Potasio seis meses después una quema; K y P son probablemente más abundantes en la capa de humus (Kozlowski, 1974).

DeBano (1998) menciona que el K es un elemento muy estable y que difícilmente se volatiliza en los sitios quemados, probablemente este catión no aumenta directamente el crecimiento de la planta pero su composición determina la saturación de las bases los cuales juegan un papel importante en los regímenes de control del suelo. Agee (1993) y Brais (2000) señala que el fuego incrementa las concentraciones de K en la capa de suelo, entre los 0 – 10 cm de horizonte mineral.

Walstad *et al.* (1990) señalan que la pérdida de K es alta en una quema de alta intensidad por la convección del elemento que es luego depositado en forma de cenizas, que al reaccionar con agua y dióxido de carbono forman las sales de bicarbonatos, las cuales existen naturalmente en el suelo como un producto de la respiración de las raíces. Después de la quema estas cantidades incrementan moderadamente y esta solubilidad incrementa dramáticamente la capacidad de intercambio catiónico.

A su vez, Aguirre (1978) anota aumentos en K luego de quemas prescritas en bosques de *Pinus hartwegii*. Cabe recordar que las distintas tendencias referidas por diversos autores se puede deber a al tipo y fertilidad del suelo, como a la época e intensidad del fuego.

4.2.2.3 El fuego en las propiedades físicas y químicas del suelo

Chandler *et al.* (1983) indican que el incremento del pH después de una quema se debe a la liberación de cationes por la combustión de la materia orgánica.

Robbins y Myers (1992) señalan que al realizar las quemas se deja descubierto el suelo mineral el cual se puede perder por las lluvias y llegar a erosionar el sitio. En ocasiones la infiltración del agua en el suelo se puede ver afectada por una capa de partículas hidrofóbicas que no permiten la entrada de ésta, después de un incendio como es el caso de muchos pinares y chaparrales de Estados Unidos (DeBano *et al.*, 1998 y Agee, 1993). Por otro lado, Smith (1986) describe que la gran cantidad de cenizas restringe la evaporación de agua desde el suelo y el salpicado de las gotas de lluvia en el suelo, por lo que las cenizas pueden ayudar en la prevención de la erosión del suelo; sin embargo, estas acciones no son totalmente efectivas.

4.2.2.4 El fuego y los microorganismos

Walstad *et al.* (1990) y Fuller (1991), señalan que la alta intensidad de los incendios puede matar a los microorganismos que ayudan a que se formen los componentes minerales que la planta utilizará para su crecimiento, como son las bacterias fijadoras del nitrógeno. Un ejemplo claro son los Nitrosomonas,

que oxidan amonio (NH_4^+) hasta nitrito (NO_2^-), bacterias responsables de producción de nitrato.

Así mismo, el fuego puede incrementar la actividad microbiana por efecto de adición de cenizas; estas pueden cambiar el microclima para el desarrollo microbial y crear condiciones favorables para los microorganismos especialmente en los suelos ácidos de pinares (Christensen, 1993).

Por otro lado, Walstad *et al.* (1990) señalan que temporalmente los microorganismos del suelo inmovilizan el N durante su ciclo de vida y reducen la viabilidad de éste para las plantas. Asimismo, cuando el N se volatiliza puede ser compensado en algunos casos por azotobacter, bacterias fijadoras de N, cuando la ceniza está lixiviada dentro del suelo (Chandler *et al.*, 1983).

4.3 Calidad de planta

En todo programa de restauración forestal es necesario considerar en primer término el concepto de calidad de planta y tenerlo presente en forma práctica.

La reforestación requiere de plantas de calidad para incrementar la supervivencia y el desarrollo en campo. Una prueba para verificar la calidad de la planta producida en vivero es su respuesta en campo (Cetina *et al.* 2002).

La reunión sobre forestación del IUFRO (Unión Internacional de Organizaciones de Investigación Forestal) en 1974, hizo notar oficialmente la importancia que tiene la calidad de planta forestal, dado que puede influir mucho más en el éxito de la forestación, a corto y largo plazo, que la técnica de plantación utilizada (Santiago, 2002).

La calidad del brinjal depende de las características genéticas del germoplasma (propiedades intrínsecas) y de las técnicas utilizadas para su reproducción en el vivero (características extrínsecas), y se refleja en la capacidad para adaptarse y desarrollarse en las condiciones climáticas y edáficas del sitio de plantación (Prieto, 1999).

Cuevas (1995) señala que las plantas de alta calidad son aquellas que sobreviven a un estrés ambiental prolongado y producen un vigoroso crecimiento posterior en la plantación; este concepto involucra características morfológicas (forma y estructura) y fisiológicas (funciones y procesos vitales, en los que ambos no son mutuamente excluyentes); estos le permitirán a la planta superar las limitantes en el sitio de la plantación (competencia, insectos, sequía), sin dejar de tomar en cuenta los objetivos que se persiguen en la plantación (Patiño y Marín, 1993; Rodríguez, 2003).

Para que el establecimiento de una planta pueda tener el éxito deseado, es necesario tener en consideración al momento de la producción la procedencia de las semillas o propágulos de la especie de que se trate; es decir, que sean de la especie requerida y de la procedencia más adecuada para el sitio donde se establecerá la plantación (Patiño y Marín, (1993).

Evans (1996) indica que para asegurar buena supervivencia en la plantación sólo las plantas saludables, con buen crecimiento, con el tamaño apropiado y con un buen balance entre la biomasa aérea y subterránea, deberían ser enviadas al sitio de la plantación. Las plantas que no cubren tales características deben ser eliminadas mediante un proceso denominado selección.

Para la producción de planta de alta calidad se requiere tomar en consideración ciertos criterios morfológicos, los cuales integran las condiciones bajo las cuales la planta se desarrolló. Para hacer esta evaluación, se deberá tomar en cuenta la relación entre la forma de las partes subterráneas; la morfología de la planta es un indicador de su estado fisiológico (Cuevas, 1995; Vera, 1998; Fierros, 2001; Rodríguez y Duryea, 2003). Estas variables se dividen en: morfológicas, fisiológicas, y en otras pruebas. Cada variables a evaluar dependerán de los criterios que cada investigador tome para su estudio:

A) Variables morfológicas

Altura

Diámetro

Relación altura diámetro (Coeficiente de esbeltez)

Longitud del tallo

Número de acículas primarias y secundarias

Longitud de la raíz

Relación parte aérea:raíz

Peso seco de:

Acículas primarias y secundarias

Tallo

Parte aérea (acículas más tallo y yemas)

Raíces laterales

Raíz principal

Parte subterránea (raíz principal más raíces laterales)

Total (parte aérea más parte subterránea)

Micorrización

Estado fitosanitario

B) Variables fisiológicas

Tensión hídrica

Concentración de azúcares en:

Acículas

Tallo

Raíces laterales

Raíz principal

Raíz total

Concentración de almidones en:

Acículas

Tallo

Raíces laterales

Raíz principal

Concentración de nutrientes en follaje

Actividad enzimática

C) Otras pruebas

Resistencia al frío

Tolerancia a sequía

Fotosíntesis neta

Índice de mitosis.

A continuación se detallan algunos parámetros morfológicos de calidad de planta forestal.

4.3.1 Altura

Se define como la porción de la planta que va del extremo de la yema terminal hasta el cuello de la raíz, la altura le permite a la planta ser más competitiva con la vegetación herbácea y arbustiva que la rodea. En algunos casos es un indicador de poco valor para evaluar la calidad de la planta, pero si se combina mediante alguna relación, puede ser un indicador importante (Cuevas, 1995).

Prieto (1999) refiere que la altura del brinzal es también un indicador de la superficie fotosintética y del área de transpiración, y define la capacidad para almacenar carbohidratos. Aunque la altura de las plantas debe definirse en función de las características del sitio de plantación, en general, se considera que en coníferas el rango debe fluctuar entre 15 y 25 cm. Un brinzal pequeño tiene poca superficie fotosintética, esto puede ocasionar que su crecimiento y aclimatabilidad sean lentos, mientras que un brinzal de mayor superficie fotosintética tiene mayores probabilidades de crecer más rápido; sin embargo, tiene mayor transpiración y en condiciones adversas de sitio tiene mayor riesgo de morir (Cano, 1998; Prieto *et al.*, 1999).

4.3.2 Diámetro

Es el grosor del tallo de la planta, que se mide al nivel del cuello (del suelo) de las plántulas debajo de los cotiledones o huellas cotiledonares. Es el uno de los criterios morfológicos más útiles para evaluar la calidad de las plantas en campo; el diámetro puede reflejar el tamaño del sistema radicular y durabilidad de la planta, disipan con mayor facilidad el calor y padecen menos donde la temperatura del sitio de plantación es un problema (Cuevas, 1995; Álvarez y

Bautista, 1999). El diámetro está fuertemente correlacionado con el peso de la parte aérea y del sistema radicular (Prieto, 1999). Santiago (2002) halló para *Pinus hartwegii*, que el diámetro está influido por el tamaño del contenedor.

4.3.3 Biomasa total

La biomasa tiene gran correlación con la supervivencia en campo, para mayor consistencia en los resultados se sugiere utilizar el peso seco, ya que el peso en verde tiene gran variación de agua en los tejidos dentro de la misma especie. Álvarez y Bautista (1999) mencionan que el peso seco representa la cantidad de materia seca que se formó durante el crecimiento.

4.3.4 Biomasa de la parte aérea

Representa la cantidad de materia seca que se formó en la parte aérea durante el crecimiento del brinjal y puede correlacionarse con la supervivencia en campo, ya que es un indicador de la eficiencia fisiológica durante el desarrollo del brinjal, y a mayor peso seco del brinjal deberá tener una mejor eficiencia fisiológica (Segura y García, 2000) al menos en ciertos ambientes.

4.3.5 Biomasa de la raíz

El peso seco radical muestra el comportamiento fisiológico que llevó a cabo el brinjal, que se ve reflejado en la acumulación de materia seca; dependiendo de la cantidad se puede comparar el grado de facilidad o dificultad que tuvo el brinjal para absorber los nutrientes (Vera, 1986). Rose (1992) menciona que el desarrollo de raíces finas es por la acumulación de almidones y carbohidratos que favorecen el desarrollo, encontró alrededor de 2% de nuevo desarrollo en *Pinus taeda* L.

4.3.6 Arquitectura de la raíz

Incluye variables como el número de raíces mayores a 0.3 mm de diámetro, la fibrosidad, la morfología de la raíz central, el desarrollo de micorrizas, la adherencia del suelo a las raíces, el daño de las raíces, la masa de las raíces, el volumen de las raíces, el área de la raíz y, la relación tallo:raíz (Pineda y Olivas, 2000).

4.3.7 Estado sanitario

Las plantas no deben mostrar signos de enfermedad ni presentar coloraciones que puedan atribuirse a deficiencias de nutrientes al salir del vivero, es necesario que tampoco presenten daños por insectos (Patiño y Marín, 1993).

4.3.8 Concentración de nutrientes

Se puede medir el estado nutricional de la planta para estimar la calidad de la planta. El crecimiento de los brinzales depende de los niveles de nutrientes que puede aportar el sustrato y de los que se adicionan (Prieto, 1999). Un adecuado balance de nutrimentos es fundamental para la producción y mantenimiento de plantas de calidad. Una inadecuada fertilización aplicada fuera de la época puede ocasionar estrés nutricional, reducir el crecimiento y si es prolongada puede afectar la morfología de la planta (Cuevas, 1995).

Los nutrientes juegan un papel importante como indicadores fisiológicos de la calidad de planta. Es sabido que el 95% de la biomasa vegetal anhidra está formada por C, O, e H. El resto incluye los elementos esenciales N, P, Fe, Cl, Cu, Zn y en algunos casos B y Mo. El balance entre nutrientes puede ser la clave de un comportamiento en particular, más que la concentración de un

nutriente individual, así sea el Nitrógeno. Sin embargo, no siempre debe asumirse que una mayor cantidad de nutrientes, dentro del intervalo óptimo, va implicar un mejor comportamiento en todas las condiciones (Binkley, 1993) (Cuadro1).

4.3.9 Variables morfológicas y fisiológicas en la supervivencia de los brinzales

Vera (1986) menciona algunas de las relaciones existentes entre las variables morfológicas y fisiológicas con la supervivencia de los brinzales de *Pinus montezumae* Lamb. :

1. Mayor diámetro del tallo mayor supervivencia.
2. Mayor diámetro del tallo mayor peso radicular.
3. Mayor diámetro del tallo mayor crecimiento en altura.
4. Mayor peso radicular mayor supervivencia.
5. Mayor emisión de nuevas raíces mayor supervivencia.
6. mayor fibrosidad del sistema radicular mayor supervivencia, mayor exploración del suelo por el agua y nutrientes, más puntos de iniciación para raíces finas.
7. Mayor número de ramilla mayor supervivencia.
8. Mayor contenido de carbohidratos mayor emisión de nuevas raíces y por consiguiente mayor supervivencia.
9. Mayor porcentaje de inoculación de micorrizas del sistema radicular mayor supervivencia.
10. Mayor contenido de humedad del brinjal mayor supervivencia.

Cuadro 1. Concentración de nutrientes minerales en el follaje de coníferas producidas en contenedor (Youngberg, 1984 y Powers, 1974; citados por Duryea, 1985).

Macronutrientes		Micronutrientes	
Nutriente mineral	Concentración (%)	Nutriente mineral	Concentración (ppm)
N	1.3 a 3.5	Fe	60 a 200
P	0.2 a 0.6	Mn	100 a 250
K	0.7 a 2.5	Zn	30 a 150
Ca	0.3 a 1	Cu	4 a 20
Mg	0.1 a 0.3	Mo	0.25 a 5
S	----	B	20 a 100
Cl	----		

Una clave para la supervivencia y el establecimiento de los brinzales, depende en gran parte a la rapidez con que sean absorbidos el agua y los minerales después de la plantación. La absorción depende de la velocidad a la cual las raíces de los brinzales tengan contacto con el suelo, para iniciar la elongación del sistema radical (Pineda y Olivas, 2000).

4.3.10 Importancia de la calidad de planta

Las razones por las cuales es importante la evaluación de la calidad de los brinzales son las siguientes (Vera, 1998):

1. Demostrar al comprador del brinzal, que se tiene una calidad alta al momento que se entrega.
2. Determina qué prácticas de cosecha y almacenamiento deben ser utilizadas.
3. Determina las prácticas de cultivo que deben aplicarse en el vivero para mejorar la calidad de los brinzales.
4. Seleccionar y eliminar a los individuos que no crecerán en el campo.
5. Certificar que las características del brinzal son adecuadas al sitio de plantación.
6. Determinar cuándo cambian las características del brinzal durante el manejo y la plantación.
7. Determinar como manejar y como plantar, lotes específicos de brinzales.

Algunos atributos son útiles en una diversidad de situaciones, lo más recomendable es considerar cada atributo o grupos de atributos para una especie, procedencia, tecnología de producción en el vivero y para ciertas condiciones ambientales y manejo de la plantación. Los atributos morfológicos y

fisiológicos al término del ciclo productivo en el vivero se espera que se correlacionen con supervivencia y/o crecimiento; existen diversas variables para determinar la calidad de planta que ayudan a determinar una buena selección para la supervivencia en campo (Fierros *et al.*, 2001).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Descripción del área de estudio

5.1.1 Localización

El Ajusco se encuentra ubicado al Sur de la ciudad de México, políticamente corresponde a dos de las 16 delegaciones en que se divide el Distrito Federal, dichas delegaciones son Magdalena Contreras y Tlalpan; forma parte de las Sierra Chichinautzin, que constituye el límite sur de la Cuenca de México. Esta última se encuentra ubicada dentro de la región hidrológica N° 26 denominada Río Pánuco, que contiene las subcuencas Regaderas-Viborillas y San Buenaventura (Guzmán, 1999).

El Ajusco ocupa una franja altitudinal que va de los 2 800 m hasta los 3 850 m (en el Pico del águila), sobre el nivel del mar. El proyecto se enclava en el paraje Cerro Panza cerca del Valle del Tezontle, a 3 350 m s n m (Figura 1).

5.1.2 Clima

El clima de la Sierra del Ajusco es templado subhúmedo con lluvias en verano. Según la clasificación de Köppen, modificado por García (1981), su fórmula climática es la siguiente:

$$C(w_2) (w) (b') ig$$

Se define como: Templado subhúmedo con lluvias en verano, con un cociente P/T mayor a 55; el porcentaje de la lluvia invernal es menor del 5%. Temperatura media anual entre 5-12°C . El mes más frío presenta temperaturas entre los -3°C a -18°C; el mes más cálido se encuentra entre los 6.5 a 22°C. El mes más caliente se presenta antes de junio.

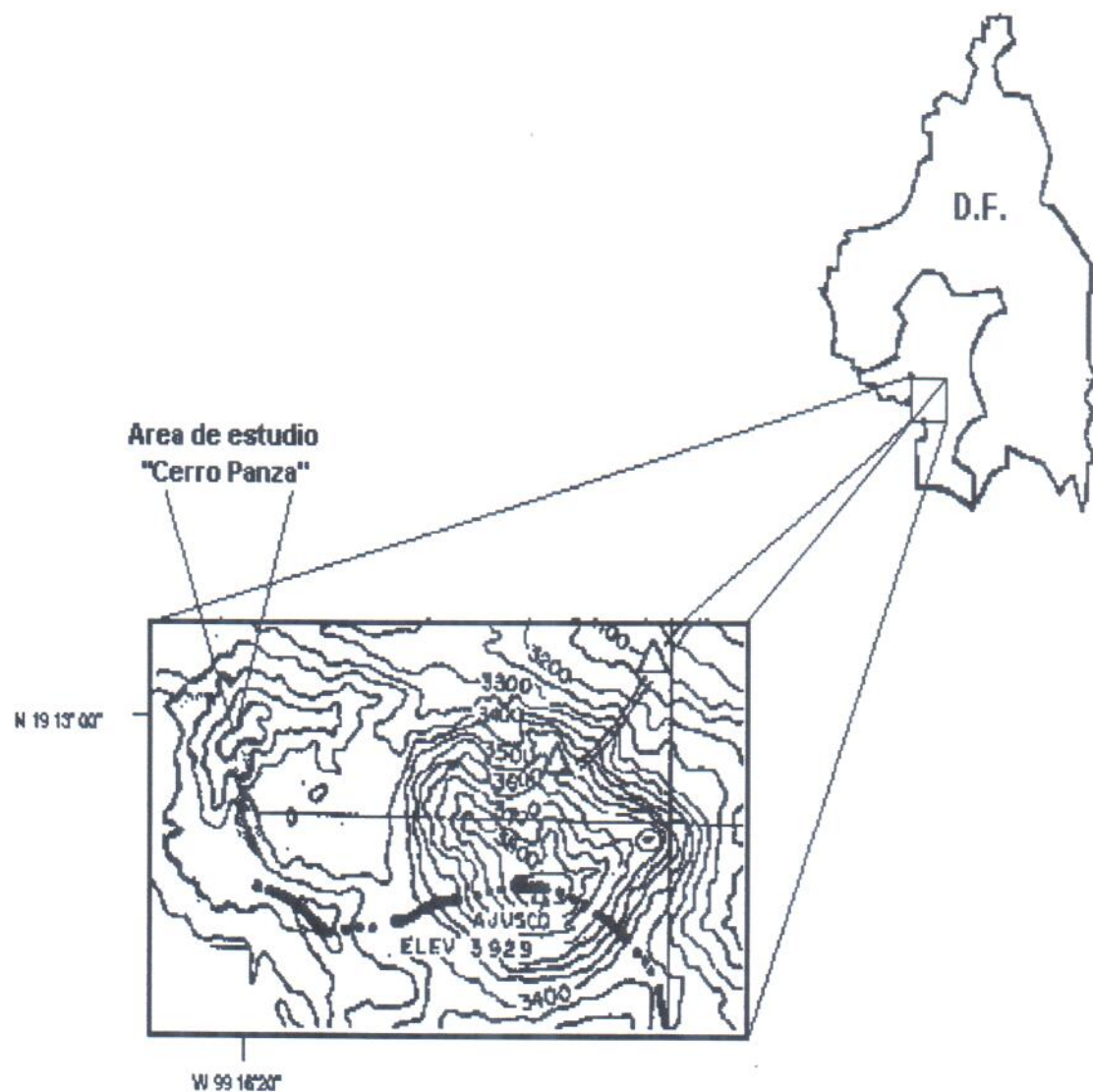


Figura 1. Localización de la zona de estudio de *Pinus hartwegii* en la Sierra del Ajusco (adaptada de Guzmán, 1999).

El periodo de precipitación se distribuye a través de casi todo el año, concentrándose en los meses de mayo a septiembre, con una precipitación media anual de 1 138.62 mm, y la estación seca queda comprendida en noviembre y abril.

La temperatura media anual es de 5° y 12°C. Los vientos dominantes soplan del noroeste durante la estación seca y del Noreste en la estación cálida-húmeda, sus velocidades son variables (Benítez, 1987).

La zona se encuentra localizada en la región intertropical del globo terráqueo, pero debido a su altitud el clima no es tan cálido como se podría esperar. Además, de acuerdo con las variaciones locales de la altitud y del relieve, es posible distinguir dos zonas climatológicas (Benítez, 1986):

- Una zona templada con verano fresco y largo con lluvias en esta misma estación. Comprende áreas que fluctúan entre los 2 800 y 3 500 m s n m.
- Una zona también templada y con lluvias de verano, pero con el verano frío y corto y comprende a las áreas que están por encima de los 3 500 m s n m en esta zona es frecuente que haya nevadas invernales.

5.1.3 Orografía

La Sierra del Ajusco forma parte del sistema orográfico conocido como Cordillera Neovolcánica, que constituye el límite Sur de la Cuenca de México, cerrando la antigua comunicación de la misma con el Valle de Morelos y el Río Balsas (Guzmán, 1999).

5.1.4 Topografía

La Sierra del Ajusco presenta variedad de pendientes en sus laderas que incluso presentan precipicios, con numerosas cañadas y pequeños arroyos temporales; pero en especial estas subcuencas presentan un grupo de relieves topográficos importantes como son el volcán Xitle (3 100 m s n m), el volcán Yololica (3 050 m s. n. m.), el volcán Maninal (3 100 m s n m); además de algunos cerros como el de la Cruz del Marqués (3 900 m s n m), el Pico del Águila (3 850 m s n m) y otras prominencias de menor altitud, como el Cerro de La Magdalena, el Cerro Mexontepec, el Cerro Santo Tomás y el Cerro Pipixaca (SARH, 1987).

5.1.5 Geología

Esta es una región eminentemente volcánica, caracterizado por el gran número de conos cineríticos presentes en la zona. Al parecer la estructura principal de la Sierra del Ajusco se formó a finales del Mioceno, de aquí que sea posible encontrar rocas andesíticas tanto en la montaña del Ajusco como en el Cerro Pelado, el Cuautzin y otros (Guzmán, 1999).

5.1.6 Hidrología

Las subcuencas Regaderas-Viborillas y arroyo San Buenaventura se localizan en la Sierra del Ajusco, que a su vez se encuentra dentro de la cuenca del río Moctezuma, en la parte sur de la cuenca de México (Guzmán, 1999).

5.1.7 Edafología

Los suelos que se presentan en el Ajusco según la clasificación FAO/UNESCO reportada por CETENAL (1977, 1979) son: Litosoles, que son suelos que están limitados en profundidad por roca continua dura, coherente,

dentro de los 10 cm de profundidad de la superficie. Se presentan principalmente en zonas montañosas, pero pueden ocurrir en otras áreas como superficies planas de rocas dejadas desnudas por el hielo. Los Andosoles son suelos de color oscuro, formados a partir de materiales ricos en vidrio volcánico característicos de los afloramientos de cenizas volcánicas que al intemperizarse se transforman en palagonita, que es el aluminio-silicato amorfo que contiene calcio, magnesio y potasio, transformándose rápidamente en halófano, siendo éste una mezcla de gel de sílice y de hidróxido de aluminio.

La profundidad de los suelos es muy variable, los hay desde someros en donde la roca madre puede aflorar, hasta muy profundos y ricos en materia orgánica. Los del primer tipo son frecuentes en la zona, sobre todo en las laderas de los cerros; los últimos son más bien escasos y en algunos lugares se han perdido por la erosión (Benítez, 1986).

En la zona del Ajusco los suelos presentan las siguientes características acorde con la revisión de Guzmán (1999):

- a) El pH varía de 5.39 a 5.85 clasificándose como suelos moderadamente ácidos.
- b) El contenido de materia orgánica (MO) se presenta de 1.57 a 15.57%, sin embargo, los suelos con menos del 6 % son los dominantes, lo cual de acuerdo con Etchevers (1998), corresponde a un muy bajo contenido de materia orgánica.
- c) El porcentaje de Nitrógeno total (NT) es mayor a 0.25, clasificándose de acuerdo con Tarea (1985), como suelos muy ricos en Nitrógeno.

- d) El contenido de Fósforo (P) de los suelos varía desde 3.64 hasta 34.37 ppm, dominando los contenidos mayores de 10 a 30 ppm, por lo cual se clasifica como suelos medianamente ricos y ricos en Fósforo.
- e) El contenido de Potasio (K) varía de 14 a 300 ppm, sin embargo, los suelos con un contenido de 25 a 50 ppm son los más frecuentes, los cuales son clasificados como pobres.
- f) El calcio (Ca) se presenta principalmente con menos de 525 ppm, por lo cual los suelos son de medianamente pobres a extremadamente pobres.
- g) De acuerdo al contenido de Magnesio (Mg), los suelos son considerados por Moreno (1978), como medios y medianamente ricos, con valores de 35 a 90 ppm.

5.1.8 Vegetación

De acuerdo con Benítez (1986) en la zona del Ajusco se encuentran tres tipos de vegetación: bosque de *Abies religiosa* H.B.K., bosque de pino y pastizal. El bosque de *Abies* se encuentra puro o asociado con *Pinus hartwegii* en las partes altas. En el pinar se hallan *Pinus leiophylla* Schl. & Cham, *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus rudis* Endl. y *Pinus teocote* Schl & Cham.

El bosque de *Pinus hartwegii* colinda con su parte inferior con el bosque de *Abies* y en su parte superior con el zacatonal o páramo de altura. Las especies dominantes en el bosque de *Pinus hartwegii* varían según la altitud a la que se desarrollan, encontrándose de menor a mayor altitud:

- a) Bosque mixto de *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*.

b) Bosque de *Pinus hartwegii* asociado con zacatonal de *Muhlenbergia quadridentata* H.B.K., *Muhlenbergia nigra* Hitch. y *Muhlenbergia macroura* H.B.K. Hitch.

c) Bosque abierto de *Pinus hartwegii* y zacatonal de *Calamagrostis tolucensis* H.B.K. y *Festuca amplissima* Rupr.

Nieto (1995) y Benítez (1986) refieren que el estrato inferior está formado principalmente por pastos del tipo de los zacatones (*Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis* H.B.K. Trim). Como parte de los componentes no leñosos del estrato inferior, están los jarritos (*Penstemon campanulatus* Will. y *Penstemon gentianoides* Don), la hierba del pollo (*Commelina alpestris* Stand. Et Steyermer), algunos mirtos azules (especies del genero *Salvia*) y la begonia (*Begonia gracilis* H.B.K.). Entre los arbustos destacan la escobilla (*Baccharis conferta* H.B.K.), la jarilla verde (*Senecio salignus* D.C.), la jarilla blanca (*Senecio platanifolius* Benth.), la hierba del ángel (*Eupatorium pazcuarens* H.B.K.), el cardosanto (*Cirsium chrenbergii*) y la hierba del sapo (*Eryngium columnare* Hemsl.).

Estos bosques fueron aprovechados durante mucho tiempo como fuente de madera para uso en la construcción y como combustible.

En varias partes los pinos se encuentran asociados con encinos como *Quercus castanea* Neé, *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. mexicana* Humb. et Bonpl, *Q. rugosa* Neé, así como el aile (*Alnus firmifolia* Fern.) y el tepozán (*Buddleia cordata* H.B.K.).

5.1.9 Fauna

Algunas especies características de la Sierra de Ajusco son: Aves: gorrión zacatero (*Xenospiza baileyi*), colibrí (*Amazilia berylina*), halcón cernícalo (*Falco sparverius*), codorniz arlequín (*Cyrtonyx montezumae*). Mamíferos: teporingo (*Romerolagus diazi*),vencejo (*Streptoprocne semicollaris*), conejo silvestre (*Sylvilagus sp*), lince (*Lynx rufus*), zorrillo (*Mephitis macroura*), ardilla (*Sciurus aureogaster*), venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), ratón de los volcanes (*Neotomodon alstoni*). Batracios: ajolote (*Rhyacosiredon zempoalensis*). Reptiles: víbora de cascabel (*Crotalus spp.*) (Aranda, 1980).

5.2 Establecimiento del experimento

El área de estudio esta conformada por árboles adultos de *Pinus hartwegii*, con una densidad baja, asociado con zacatonal como: *Muhlenbergia macroura* y *Festuca tolucensis*.

Los tratamientos se analizaron en dos factores: a) fuego y b) calidad de planta. Para el factor fuego se consideraron cinco niveles, que corresponden a: a₁) quema prescrita a baja intensidad, y a₂) incendio confinado (alta intensidad), a₃) testigo. Tanto la quema prescrita (a₁) como el incendio confinado (a₂) se llevo a cabo en dos temporadas: t₁) a media temporada de incendios (21 marzo de 2002) y como en lo más alto de la temporada (29 de mayo de 2002) (t₂).

En el factor calidad de planta, se consideraron dos niveles: c₁) planta chica (5 a 7 mm) y c₂) planta grande (8 a 20 mm), con base al diámetro en la base del tallo. A continuación se describen las condiciones de cada uno de los tratamientos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cronología de las quemas prescritas para el establecimiento del experimento.

Fecha de quema prescrita	Especificaciones	Simbología
Control	Sin quema	C
21 de marzo de 2002	Quema prescrita a baja intensidad, en contra del viento y pendiente, realizada a las 8:00 h	MaB
21 de marzo de 2002	Incendio confinado (alta intensidad) a favor del viento y pendiente, realizado a las 13:00 h	MaA
29 de mayo de 2002	Quema prescrita a baja intensidad en contra del viento y pendiente, realizado a las 8:00 h	MyB
29 de mayo de 2002	Incendio confinado (alta intensidad) a favor del viento y pendiente realizado a las 13:00 h	MyA

5.2.1 Quemadas prescritas e incendios confinados

Las quemadas prescritas e incendios confinados se realizaron el 21 de marzo de 2002 y el 29 de mayo del mismo año en diferentes horarios y condiciones (Cuadro 2). Los factores atmosféricos y el comportamiento del fuego se muestran en el cuadro 3. Estas quemadas prescritas se aplicaron en cuatro áreas a baja densidad y con 2 a 6 m de altura. Para ello se abrieron con antelación brechas cortafuego de 3 m de ancho alrededor de cada una de las parcelas quemadas. Cada área tuvo una superficie aproximada de 1 ha, con una exposición Noroeste (NO).

Para la aplicación de los tratamientos con fuego se contó con autorización de la Comunidad de Santo Tomas Ajusco, del Gobierno de la Ciudad de México, y de CONAFOR. En la Ejecución de las quemadas prescritas e incendios confinados se contó con el apoyo de dos brigadas de combatientes profesionales de incendios de CONAFOR. La ubicación de quemadas e incendios confinados se hizo de forma tal que se maximizó la seguridad del personal y se minimizó la probabilidad de escape.

Los combustibles fueron superficiales, como zacates, hierbas, leñas, arbustos, incluso algunos árboles jóvenes de *Pinus hartwegii*, pues en el caso de incendios confinados se emularon incendios forestales.

Cuadro 3. Características del tiempo atmosférico y comportamiento del fuego al momento de realizar las quemas prescritas e incendios confinados.

Tratamiento	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (Km/h)	Dirección dominante del viento	Largo de la llama (m)	Velocidad de propagación (m/min)
MaB	70 - 49	2-8	este y norte	0.5 – 1.5	< 1 – 2
MaA	49 – 30	4–10	norte	1-3	1 – 5
MyB	25-20	2.5–4	norte	0.4 – 0.8	< 1 – 4
MyA	18-12	3-8	norte	1-8	30 - 60

Fuente: Rodríguez, 2003 en revisión.

5.2.2 Material de plantación

Los brinzales de *Pinus hartwegii* fueron proporcionados por la Comisión de Áreas Naturales (CORENA) del Gobierno de la Ciudad de México, producidas en el vivero de San Luis Tlaxialtemalco. Estas plantas correspondieron al lote de semillas N° 011899, con procedencia del Ajusco, que fue sembrada el 17 de agosto de 2001, contando con 11 meses de edad al momento de realizar las mediciones en vivero. Estas plantas fueron producidas en contenedores V-93 cc con las siguientes características:

Largo de la charola	32.5 cm
Ancho de la charola	21.6 cm
Profundidad de la cavidad	8.7 cm
Volumen por cavidad	93 cm ³
Cavidades por charola	40

Las características que se tomaron a cada uno de los brinzales seleccionados para este estudio fueron las siguientes (Figura 2):

- a) El llenado de raíces en las seis costillas que por diseño tienen el contenedor (y que evitan que las raíces laterales se enrollen).
- b) El cepellón debió tener el 80% del llenado de cavidad por raíces secundarias.
- c) Cada brinzal tuvo que presentar puntos de crecimiento en la parte terminal de las raíces, de otro modo no era aceptaba.
- d) La presencia de micorrizas fue indispensable para la selección de la planta.



Figura 2. Desarrollo radical de *Pinus hartwegii* en contenedor tipo V-93 (Foto cortesía del vivero de San Luis Tlaxialtemalco (CORENA) del Gobierno de la Ciudad de México).

Posteriormente se obtuvieron las dos categorías diamétricas. La primera calidad fueron brinzales con un diámetro al cuello de la raíz menor o igual a 7 mm, y la segunda calidad fue mayor o igual a 8 mm; las plantas se distinguieron con etiquetas metálicas de diferentes colores, correspondientes a los tratamientos. Cada etiqueta contenía: número de árbol, tratamiento, número de repetición, calidad de planta y fecha e intensidad de quema.

5.2.3 Plantación

La plantación se realizó el día 26 de julio de 2002, con la técnica de cepa común, utilizando como herramienta pala recta. Las dimensiones de la cepa fueron de 30 X 30 X 30 cm, con una distancia entre plantas de 3 m y una distancia entre líneas igual a 3 m. Se plantaron 450 árboles en marco real, distribuidos en los cinco tratamientos de fuego. Cada unidad experimental, por tratamiento con fuego, constó de 15 plantas con tres repeticiones, para cada una de las dos calidades de planta ($15 \times 3 \times 2 \times 5 = 450$) (Figura 3).

5.3 Obtención de datos

5.3.1 Medición de variables al momento de la plantación

En los brinzales se realizaron mediciones de diámetro, altura, longitud de la raíz principal, número de raíces laterales, peso seco de: raíz principal, raíces laterales, tallo-yema, y follaje. A partir de los pesos secos de las partes, se calcularon peso seco de las partes aérea, subterránea y total. Se obtuvo la concentración foliar de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K).

TRATAMIENTOS CON FUEGO

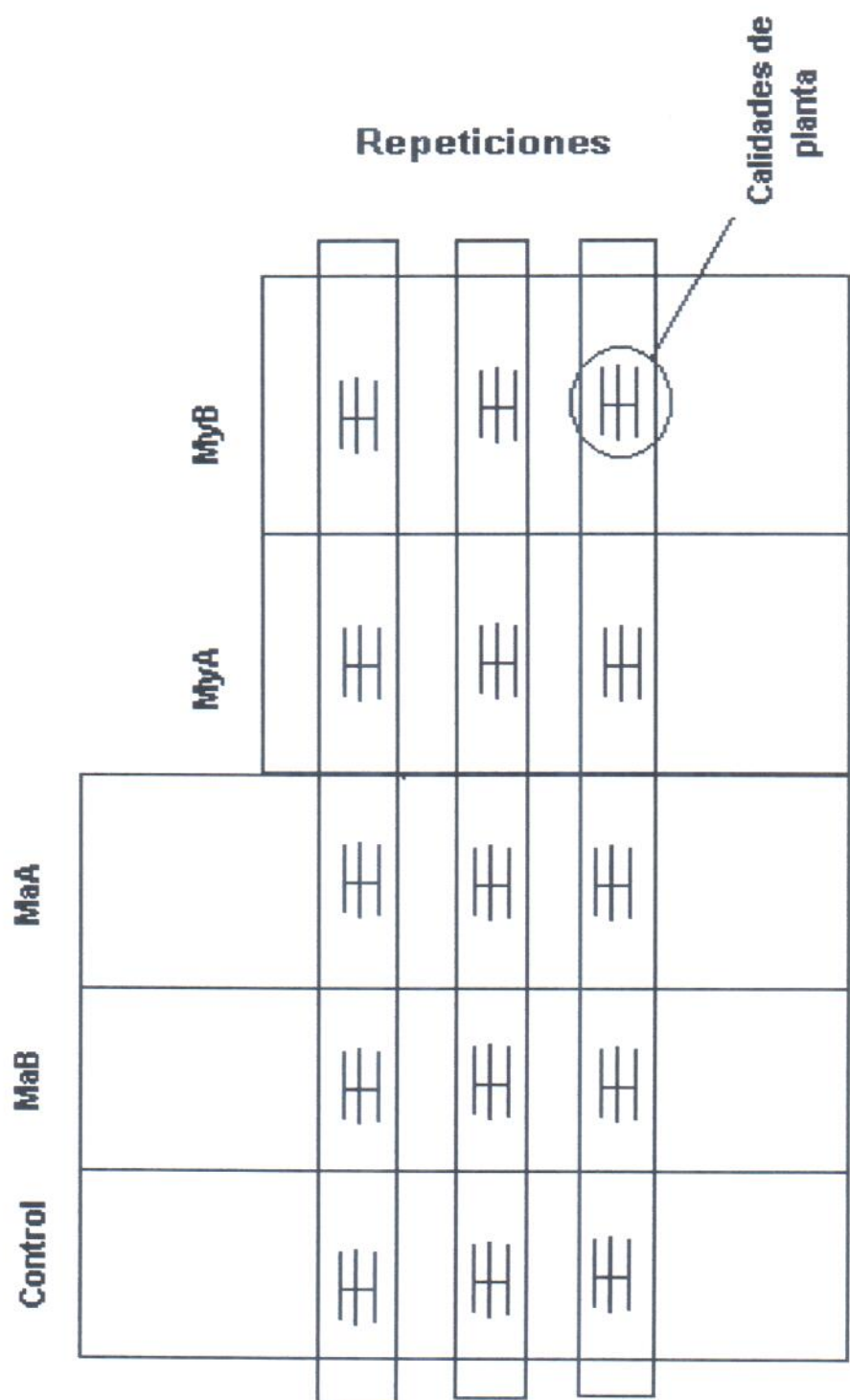


Figura 3. Esquema del experimento en campo, época e intensidad de quema, calidad de planta de *Pinus hartwegii* en la Sierra del Ajusco.

5.3.1.1 Diámetro

La medición del diámetro se hizo a la altura del cuello de la raíz con un vernier, en milímetros. El diámetro fue tomado a los 450 brinzales plantados (225 de cada una de las dos categorías de calidad).

5.3.1.2 Altura

Se midió del ras del sustrato hasta la parte terminal de la yema apical con un flexómetro. Las unidades fueron centímetros. La muestra fue igual a 30 brinzales (15 por categoría de calidad) en esta variable.

5.3.1.3 Longitud de la raíz principal

Esta medición se tomó del cuello de la raíz hasta la parte terminal de la raíz primaria, con la ayuda de un flexómetro. Las unidades fueron en centímetros.

5.3.1.4 Número de raíces laterales

Se contó el total de raíces laterales (secundarias) que tuvieron un diámetro mayor o igual a dos milímetros.

5.3.1.5 Análisis de biomasa

El análisis de biomasa se llevó a cabo en el Laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. La planta fue separada en partes: raíz principal, raíces laterales, tallo-yema y follaje. Cada parte se secó en un horno a 85°C hasta obtener peso constante; el peso se determinó con una balanza electrónica digital. Con los datos obtenidos se calcularon las biomásas anhidras aérea, subterránea, y total.

5.3.1.6 Concentración de nutrientes en el follaje

Para las determinaciones de N, P y K se tomó el follaje por ser el sitio en donde se realiza la actividad fotosintética y por lo tanto el indicador sensitivo del nivel de nutrientes minerales (Duryea, 1985). El follaje se secó en un horno en el Laboratorio de semillas de la División de Ciencias Forestales a 85°C; después de obtener peso constante, las muestras de acículas deshidratadas se llevaron al Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo, en donde se realizaron las determinaciones.

La metodología utilizada para el caso de la concentración de Nitrógeno total (N) fue por digestado con mezcla diácida, determinado por arrastre de vapor; el Fósforo total (P) se obtuvo por digestado con mezcla diácida y se determinó por fotolorimetría, por reducción con molibdo-vanadato; y para el Potasio total (P) la muestra fue digestada con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

Estas determinaciones se realizaron en 30 brinzales (15 por categoría de calidad).

5.3.2 Medición de variables a los seis meses de establecida la plantación

5.3.2.1 Laboratorio

Para las mediciones realizadas después de seis meses de establecida la plantación se extrajeron tres brinzales del campo para las dos categorías diamétricas de los cinco tratamientos y de las tres repeticiones, sumando un

total de 30 plantas. A esta muestra se le realizó la medición de diámetro, altura, longitud de la raíz principal, raíces laterales, análisis de biomasa y concentración de nutrientes en el follaje.

5.3.2.2 Campo

5.3.2.2.1 Supervivencia

Se tomó el número de árboles vivos por categoría de calidad en cada una de las tres repeticiones y cinco tratamientos. Este valor se expresó porcentualmente. Para este propósito se revisaron los 450 árboles plantados.

5.3.2.3 Variables derivadas

5.3.2.3.1 Tasa relativa de crecimiento (TRC)

Para diámetro, raíz principal, raíces laterales, acículas, tallo y yema, parte aérea, parte subterránea y parte total, se obtuvo la TRC. Para obtener esta variable se restó el valor de la variable alcanzada a seis meses de la plantación al valor de la variable al inicio de la plantación:

$$\text{TRCD} = \text{Variable a los seis meses} - \text{variable al inicio}$$

5.3.2.3.2 Peso relativo (PR)

Se obtuvo el peso relativo de raíz principal, raíces laterales, tallo-yema y follaje. El peso relativo se obtiene dividiendo la biomasa de la parte a estimar (por ejemplo, raíz principal) entre la biomasa total de la planta.

$$\text{PR} = \text{biomasa de la parte} / \text{biomasa total}$$

5.3.2.3.3 Porcentaje de incremento (PI)

El porcentaje de incremento se obtuvo para diámetro, raíz principal, raíces laterales, acículas, tallo y yema, parte aérea, parte subterránea y parte total. Se obtuvo con el siguiente modelo:

$$PI = \{(\text{Variable a los seis meses} - \text{variable al inicio}) / \text{variable al inicio}\} (100)$$

5.4 Diseño experimental

El diseño experimental fue en parcelas divididas, con cinco tratamientos de fuego con dos calidades de tamaño de planta con tres repeticiones (bloques) (Cuadro 4).

5.5 Modelo estadístico

Se utilizó es el siguiente modelo lineal:

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\delta)_{ik} + (\beta\delta)_{jk} + (\alpha\beta\delta)_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

y_{ijkl} = variable de respuesta.

$i = 1, \dots, 3$

$j = 1, 2, \dots, 5$

$k = 1, 2$

μ = media general.

α_i = efecto del i -ésimo bloque (repetición), con efectos aleatorios.

Cuadro 4. Tratamientos de fuego por calidad y número de plantas por repetición.

Tratamiento	Repeticiones	Clases de calidad de		Nº de plantas por	Total de planta por
		planta	repetición		
T	3	2	15	90	
MaB	3	2	15	90	
MaA	3	2	15	90	
MyB	3	2	15	90	
MyA	3	2	15	90	
Total de planta					450

β_j = efecto del i-ésimo nivel del factor tratamiento de quema (con cinco niveles: baja intensidad marzo, alta intensidad marzo, baja intensidad mayo, alta intensidad mayo, testigo), con efectos fijos.

δ_k = efecto del k-ésimo nivel del factor de calidad de planta (con dos niveles: chica y grande), con efectos fijos.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = es el efecto asociado a la interacción de la i-ésima repetición y el j-ésimo factor del tratamiento de quema. Con efectos aleatorios. Corresponde error de la parcela grande.

$(\alpha\delta)_{ik}$ = es el efecto asociado a la interacción de la i-ésima repetición y el k-ésimo nivel de calidad de planta. Con efectos aleatorios.

$(\beta\delta)_{jk}$ = efecto asociado a la interacción de la j-ésimo factor de tratamiento de quema y el k-ésimo nivel de calidad de planta. Con efectos fijos.

$(\alpha\beta\delta)_{ijk}$ = es el efecto asociado de la interacción del i-ésima repetición, el j-ésimo factor de tratamiento de quema y el k-ésimo nivel de calidad de planta. Con efectos aleatorios.

ϵ_{ijkl} = es el error de las subparcelas chicas.

5.5.1 Prueba de hipótesis

a) Factor quema

$H_0: \mu_1. = \mu_2. = \mu_3. = \mu_4. = \mu_5.$

Las medias de los niveles de los tratamientos de quema son iguales.

$H_0: \mu_1. \neq \mu_2. \neq \mu_3. \neq \mu_4. \neq \mu_5.$

Las medias de los niveles de los tratamientos de quema son diferentes.

b) Factor calidad de planta

$$H_0: \mu_{.1} = \mu_{.2}$$

Las medias de los niveles de calidad de planta son iguales.

$$H_0: \mu_{.1} \neq \mu_{.2}$$

Las medias de los niveles de calidad de planta son diferentes.

c) Interacción tratamiento y calidad de planta

$$H_0: (\beta\delta)_{jk} = 0$$

No existe interacción entre tratamientos de quema y calidad de planta

$$H_0: (\beta\delta)_{jk} \neq 0$$

Existe interacción entre tratamientos de quema y calidad de planta.

5.6 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se usó el paquete computacional SAS (Statistical Analysis System, 1997, versión 6.12 para microcomputadoras). Se utilizó el procedimiento Mixto (Proc Mixed). Para la obtención de los grados de libertad fueron determinados con la opción Satterthwaite (ddfm=satterth), para el caso del error estándar se obtuvo mediante la instrucción lsmeans (Littell *et al.* 1999), la comparación de medias se hizo a través de una prueba de Tukey.

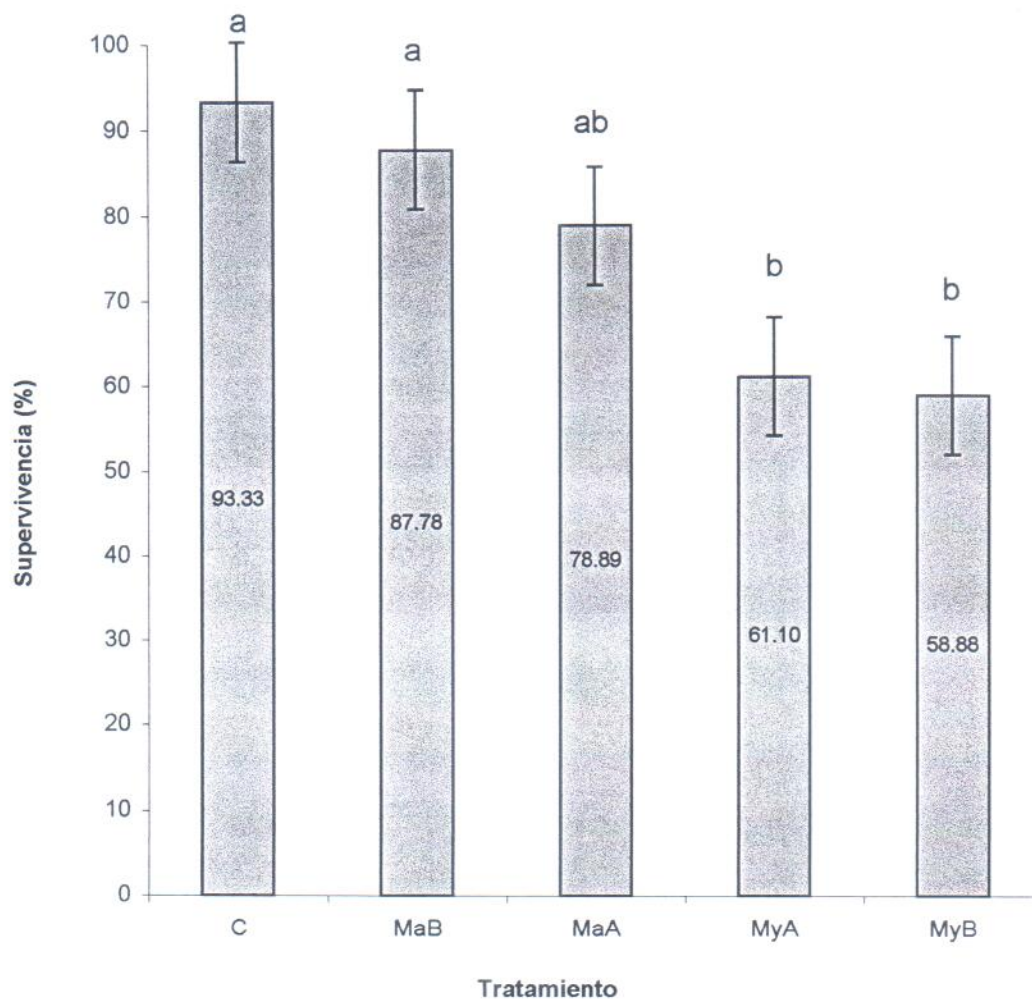
Para los análisis a través del tiempo se realizó un análisis de varianza para cada una de las variables, relacionando la calidad de planta y tiempo. Se utilizó el **proc glm**, ya que en este caso del experimento no fue balanceado.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Supervivencia

Se hallaron diferencias significativas para el tratamiento fuego ($p=0.0002$), pero no para la calidad de planta ($p=0.8476$), ni para la interacción de ambos factores ($p=0.1305$). La supervivencia promedio no exhibió diferencias significativas entre el testigo (C) (93%), el tratamiento de marzo a baja intensidad (MaB) (88%) y el incendio confinado (alta intensidad) en el mes de marzo (MaA) con 79% de supervivencia. A su vez, este último no mostró diferencias con respecto al incendio confinado (alta intensidad en el mes de mayo) (MyA), que tuvo un 61%, y a la quema prescrita a baja intensidad en el mes de mayo (MyB) (59%). El control y la quema a baja intensidad en Marzo fueron superiores al incendio confinado en el mes de Mayo y a la quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo (Figura 4).

La explicación de esta tendencia inicial del mejor resultado de la no quema y los de baja intensidad sobre la supervivencia puede residir en un efecto temporalmente protector ante vientos desecantes y bajas temperaturas, provisto por los abundantes zacates presentes en la zona de estudio. Myers (1992) y Rodríguez (2003) definen que el efecto nodriza de arbustos abate las condiciones desecantes y aumentan la supervivencia de *Pinus palustris* de regeneración natural y plantados, respectivamente, en el sureste de los Estados Unidos.



C=control; MaB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo; MaA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Marzo; MyA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Mayo; MyB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Mayo

Figura 4. Supervivencia inicial de brinzales seis meses después de establecida la plantación en áreas quemadas en diferente tiempo e intensidad. Las barras de error representan el error estandar. Las barras con diferente letra tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

Un efecto semejante pero solamente inicial puede estarse presentando con *Pinus hartwegii* en el presente trabajo. Sin embargo, los pastos representan una fuerte competencia por luz, agua, y nutrientes para los árboles plantados, y esto con seguridad pronto se reflejará en la supervivencia de la plantación. Por ejemplo, Sierra *et al* (1995) anotan que en plantaciones del Valle de México, los *Pinus radiata* que crecieron bajo competencia con zacates, tuvieron una altura menor en 38% que la de árboles sin competencia.

Whelan (1997) cita que el microclima tiene un impacto fuerte para las plantas que se lleguen a establecer después de una quema, los brinzales son particularmente susceptibles a la baja disponibilidad de humedad por incremento de la evaporación y a periodos de sequía y a la fuerte insolación.

En el caso del presente trabajo, las condiciones más extremas corresponderían a quemas de elevada intensidad. Así mismo, se evidencia el efecto de distintas épocas e intensidades del fuego en la supervivencia de árboles plantados. Cabe destacar que los sitios con mayor cobertura y acorde con Martínez (en revisión) son el control y el sitio con quema prescrita a baja intensidad en marzo. Tales tratamientos corresponden a las mejores supervivencias de los *Pinus hartwegii* plantados.

Por otra parte, la regeneración natural de *Pinus hartwegii* se ve favorecida en áreas quemadas (Sarukhán y Franco, 1981) por la eliminación de barreras físicas, como los zacates, que limitan el contacto entre semilla y suelo mineral, por la mayor entrada de luz que implica la mortalidad parcial de las copas por el aporte de nutrientes que implica las cenizas, por la generación de micrositios y por el favorecimiento para la presencia de especies nodriza y fijadores de

nitrógeno, si bien lo anterior es función de la época e intensidad del fuego (Rodríguez, com. pers, 2003). Sosa (2002) no encontró diferencias significativas en la supervivencia de brinzales de *Pinus patula* en áreas quemadas a baja intensidad y no quemadas a un año de establecida la plantación.

6.2 Diámetro

6.2.1 Crecimiento

El promedio correspondiente al diámetro después de seis meses de establecida la plantación para la primera calidad de planta (C_1) fue de 1.02 cm, y para la segunda calidad de planta (C_2) fue de 1.28 cm. Se obtuvieron diferencias significativas en relación a la calidad de planta ($p=0.0465$), lo que señala que la planta grande se mantuvo con mayor diámetro. No se observaron diferencias en los tratamientos con fuego ($p=0.3990$) ni en la interacción de ambos factores ($p=0.8979$) (Figura 5).

Cuevas (1995) quien señala que plantas con diámetros grandes resisten al doblamiento y toleran el daño causado por insectos y animales y exhiben mejor supervivencia; además, la productividad es mayor en plántulas con diámetros más grandes. Los brinzales con mayor diámetro tienen tasa de supervivencia más alta y se indica que ésta aumenta de 5 a 7 % por cada milímetro de incremento en el diámetro de los mismos. En diferentes estudios se ha encontrado que los brinzales con mayor diámetro tienen tasa de supervivencia más alta; una supervivencia alta ($>80\%$) se logra cuando los brinzales tienen de

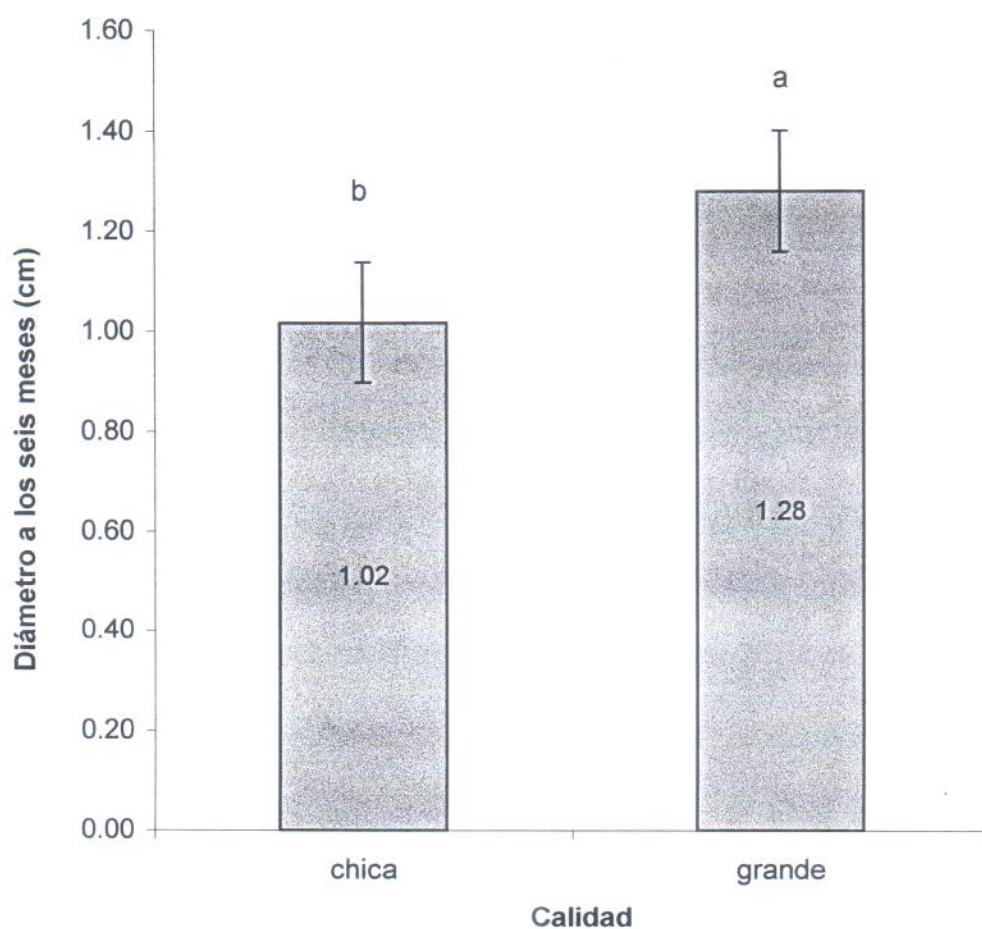


Figura 5. Diámetro promedio de la planta por calidad, después de seis meses de establecida la plantación. Las barras de error representan el error estandar. Las barras con diferente letra tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

5 a 6 mm de diámetro, aunque para definir el diámetro ideal de cada especie deben considerarse sus características morfológicas de crecimiento (Prieto, 1999).

Aunque no se observaron diferencias en incremento en diámetro (ver los dos subtítulos siguientes), la planta de mayor tamaño se mantuvo con mayor diámetro, por lo que hace posible que alcance antes el diámetro mínimo que como especie cespitosa requiere para dejar tal estado e iniciar su crecimiento en altura, tal cifra es de 2 cm en *Pinus montezumae* Lamb. acorde con Becerra (1992).

6.2.1.1 Tasa relativa de crecimiento en diámetro

No existieron diferencias significativas en el tratamiento fuego ($p=0.4244$), en la calidad ($p=0.7399$), ni en la interacción de ambas ($p=0.7352$).

6.2.1.2 Porcentaje de incremento en diámetro

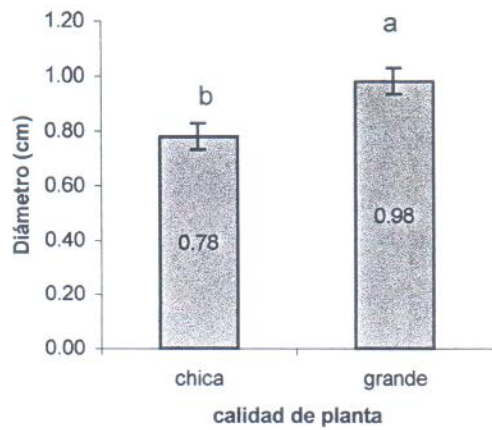
El efecto causado por el tratamiento fuego no es estadísticamente significativo ($p=0.6240$), ni la calidad de planta ($p=0.5337$) ni su interacción ($p=0.8218$).

6.2.2 Diferencia de diámetro a través del tiempo

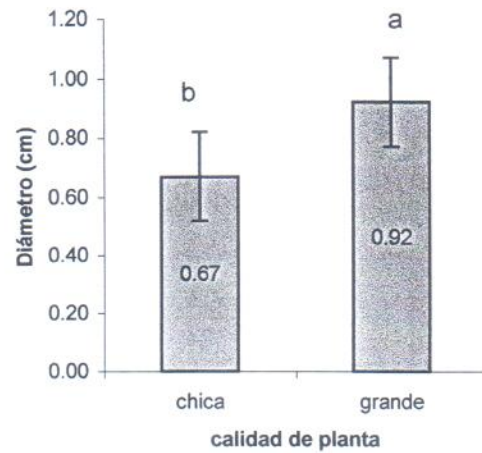
Al comparar los diámetros al final y al inicio del experimento, individualmente en cada tratamiento no se hallaron diferencias en la calidad de planta, tiempo, ni su interacción para el control. En cambio para los tratamientos con fuego (MaB, MaA, MyA y MyB) hubo diferencias significativas tanto en la calidad de planta como en el tiempo (en todos los casos $p=0.0001$) (Figura 6 y 7), pero no en su interacción. Acorde a estos resultados se puede observar que la calidad

de planta grande para todos los tratamientos con fuego tuvo un mayor incremento en diámetro al paso de seis meses de establecida la plantación. Por otra parte los tratamientos de quema a baja intensidad en el meses de marzo y mayo son los que tienden a un mayor crecimiento. Acorde con Walstad *et al.* (1990) hacen mención de quemas prescritas realizadas en la Costa de Óregon, en donde después de siete años de haberlas realizado y luego de plantar con *Pseudotsuga menziesii* Mirb., se encontró un 28% más de supervivencia, un incremento del 36% en altura y un 68% en diámetro en contraste con un área no quemada; fue evidente que la cobertura de la vegetación en áreas no quemadas redujo el crecimiento a diferencia de las áreas quemadas.

a) **Tratamiento MaB**

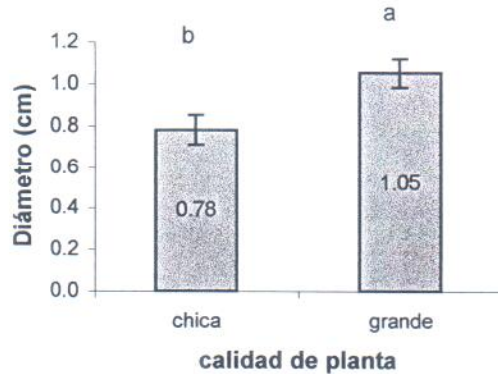


b) **Tratamiento MaA**



c)

Tratamiento MyB



d)

Tratamiento MyA

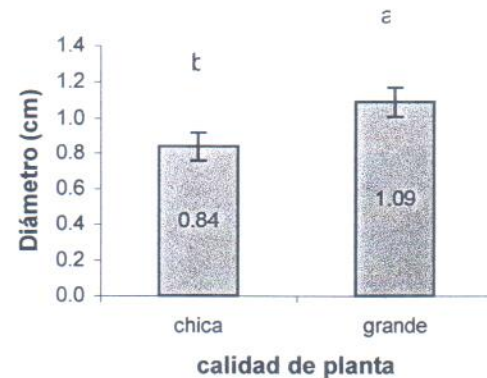


Figura 6. Diferencias por calidad de planta para los tratamientos: a) MaB; b) MaA; c) MyA; d) MyB). Las barras con diferente letra describen que se tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

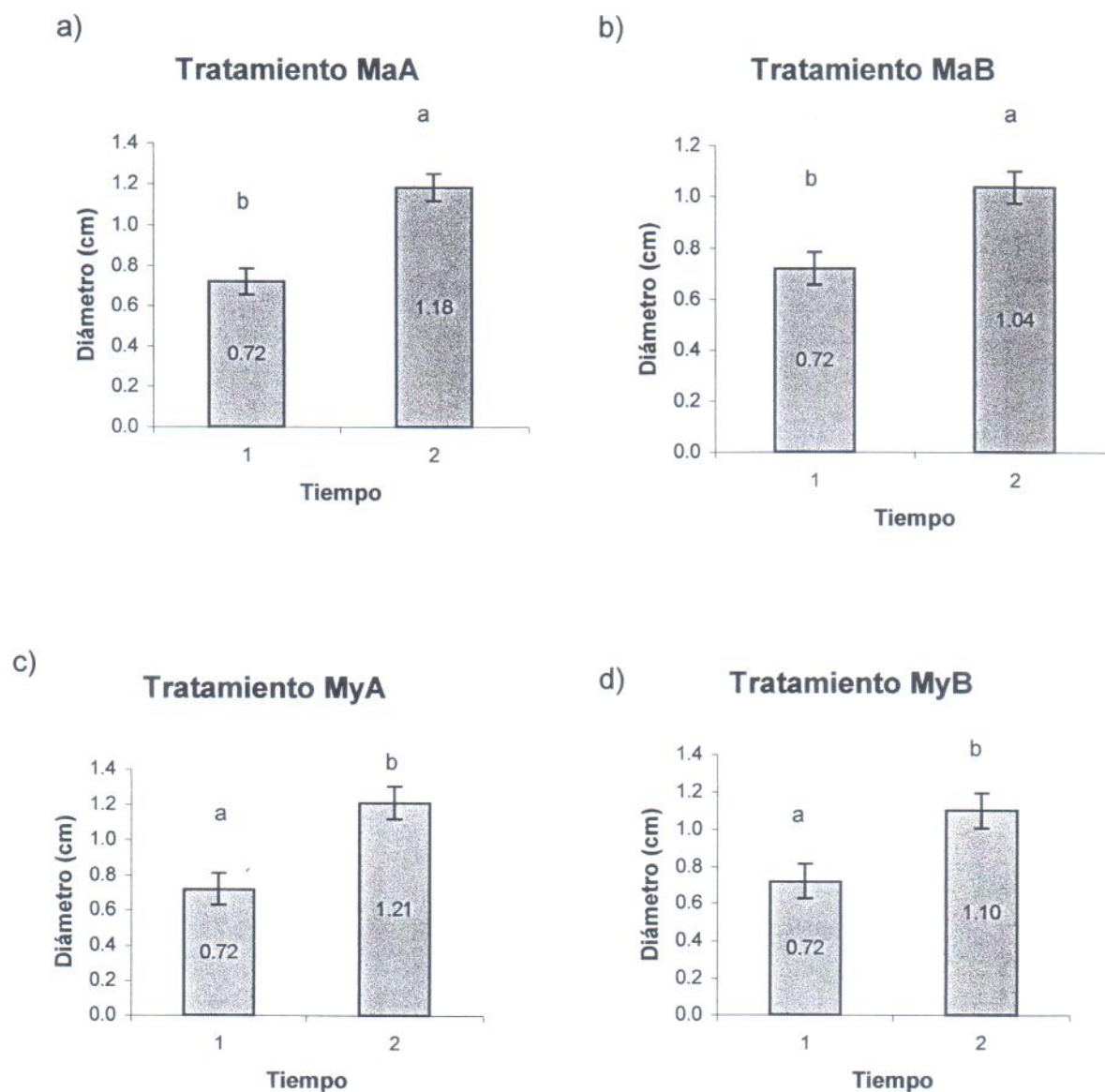


Figura 7. Diferencias a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MaA; c) MyA; d) MyB). Las barras con diferente letra describen que se tuvo diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

6.3 Raíz principal

6.3.1 Biomasa de raíz principal

La biomasa de la raíz principal no tuvo diferencias significativas en lo que respecta al tratamiento fuego ($p=0.1025$), calidad de planta ($p=0.3082$), ni en la interacción de ambas variables ($p=0.6983$).

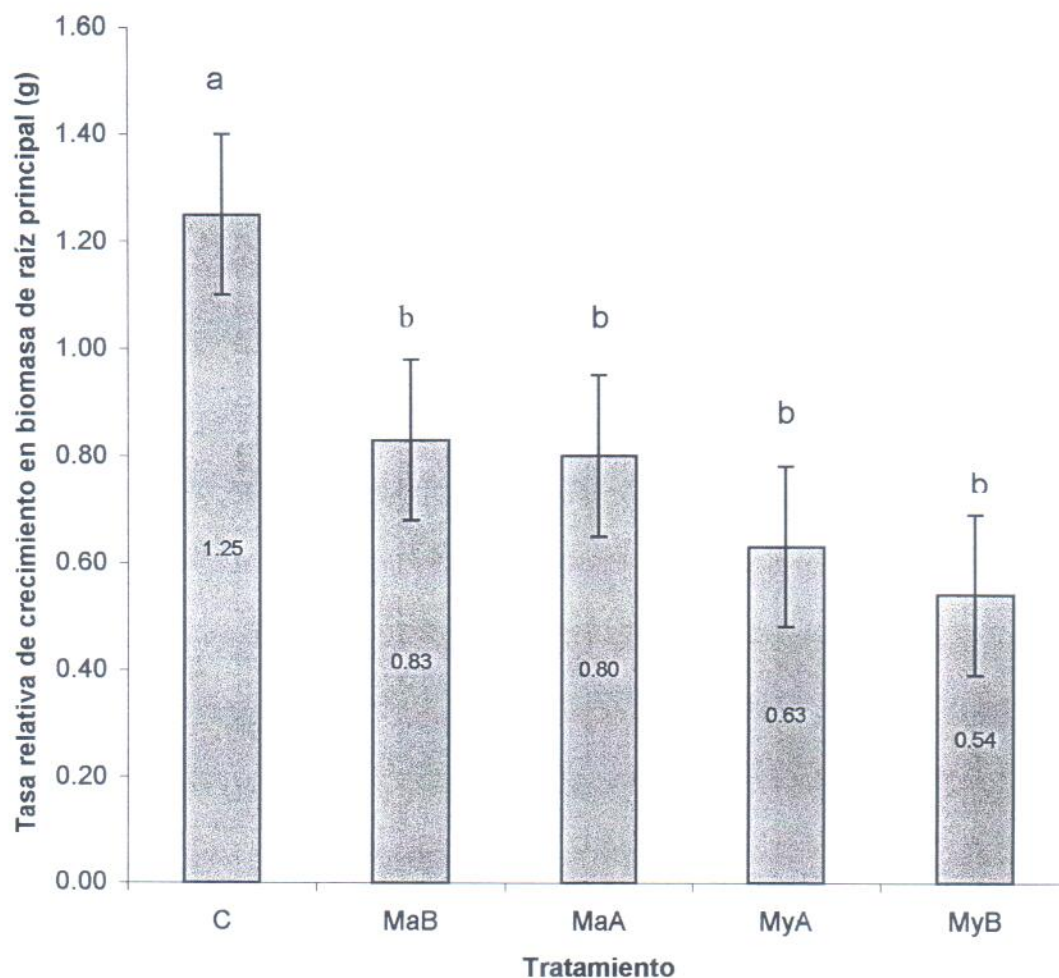
6.3.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíz principal

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para el tratamiento fuego ($p=0.00379$); el mayor crecimiento de raíz principal fue para la planta que no estuvo bajo algún tratamiento (Control) (Figura 8), sin embargo no se muestran diferencias estadísticamente significativas para la calidad de planta ($p=0.4021$) ni en la interacción ($p=0.3804$).

El mayor crecimiento de raíz principal en el control puede relacionarse con la menor disponibilidad de nutrientes, en comparación con las áreas quemadas, donde están contenidos en las cenizas contenidas. Los sistemas radicales tienden a desarrollar menos cuando cuentan con más nutrientes (Binkley, 1993).

6.3.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de raíz principal

La interacción tratamiento fuego y calidad de planta mostró diferencias significativas ($p=0.0273$), la calidad de planta mostró diferencias significativas ($p=0.4021$); sin embargo, para el tratamiento fuego se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa ($p=0.0379$). Acorde a los resultados obtenidos se tuvo la tendencia que el mayor porcentaje de incremento en biomasa de raíz principal fue para el control y el menor incremento fue para el tratamiento MyA



C=control; MaB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo; MaA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Marzo; MyA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Mayo; MyB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Mayo

Figura 8. Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíz principal. Las barras de error representan el error estándar. Las barras con la misma letra no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

para la calidad de planta grande, sin embargo, para una quema en MyB presento igualmente un menor incremento para la calidad de planta chica, sin observar diferencias en los demás tratamientos y en el control (Figura 9).

La longitud total de la raíz es un indicador de la superficie de absorción; un brinjal de calidad es aquel que posee un sistema radical largo y con un alto porcentaje de fibrosidad (Álvarez y Bautista, 1999).

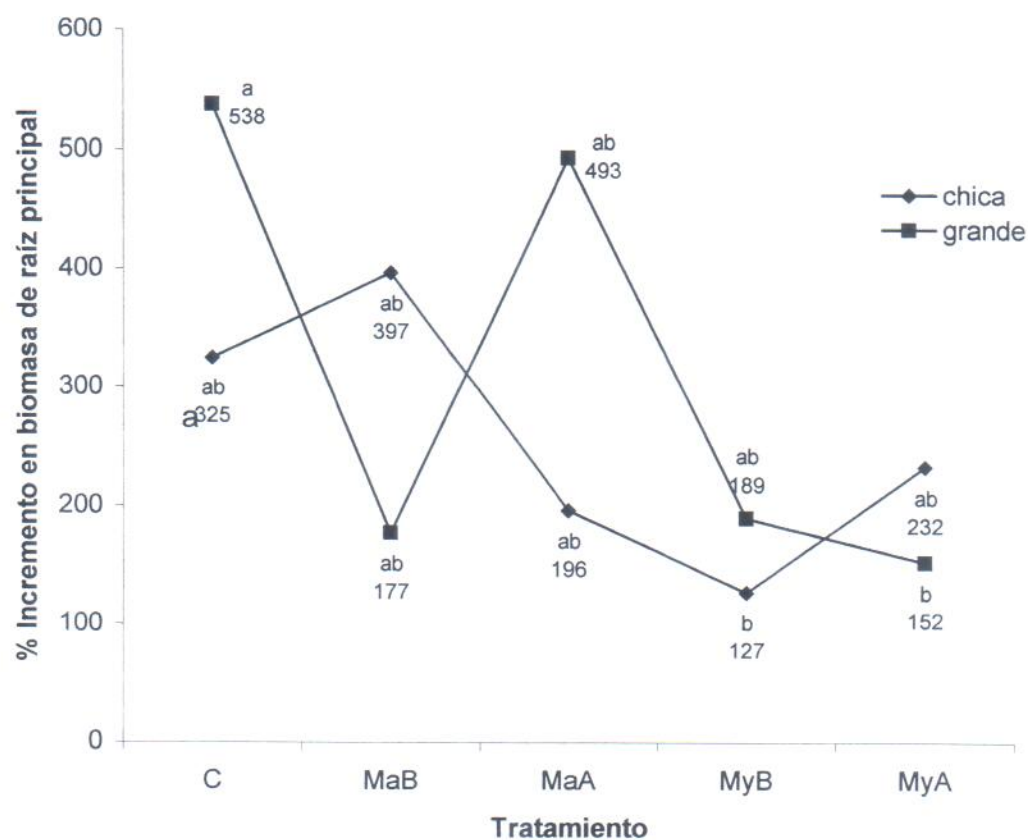
6.3.1.3 Peso relativo de raíz principal

El peso relativo de la raíz principal no tuvo diferencias significativas con respecto al tratamiento fuego ($p=0.1765$), calidad de planta ($p=0.8197$) ni la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.3252$).

6.3.2 Diferencia de biomasa de la raíz principal a través del tiempo

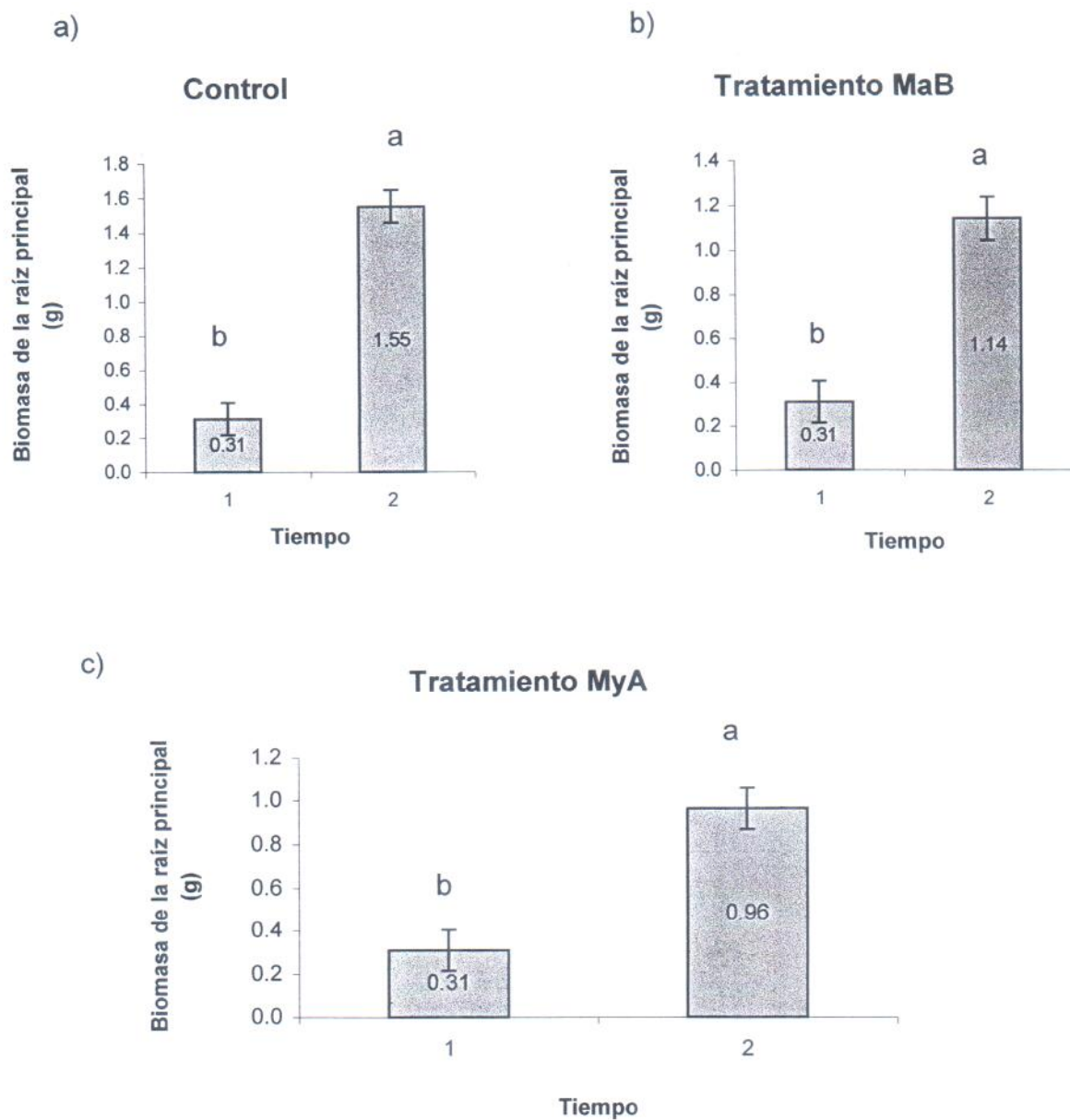
Al final y al inicio del experimento se obtuvieron diferencias significativas ($p=0.0001$) al paso de seis meses para el control (C), y los tratamientos con fuego: MaB, MyA (Figura 10); y diferencias significativas ($p=0.0001$) para la interacción calidad de planta y tiempo para los tratamientos: MyB, MaA (Figura 11).

Las tendencias de la figura 10 muestran que la raíz principal creció en los tratamientos C, MaB y MyA. Análogamente, en la figura 11 se aprecia que la misma variable también aumento en los otros dos tratamientos con el paso del tiempo, pero ese aumento fue mayor para la planta grande en MyB y MaA.



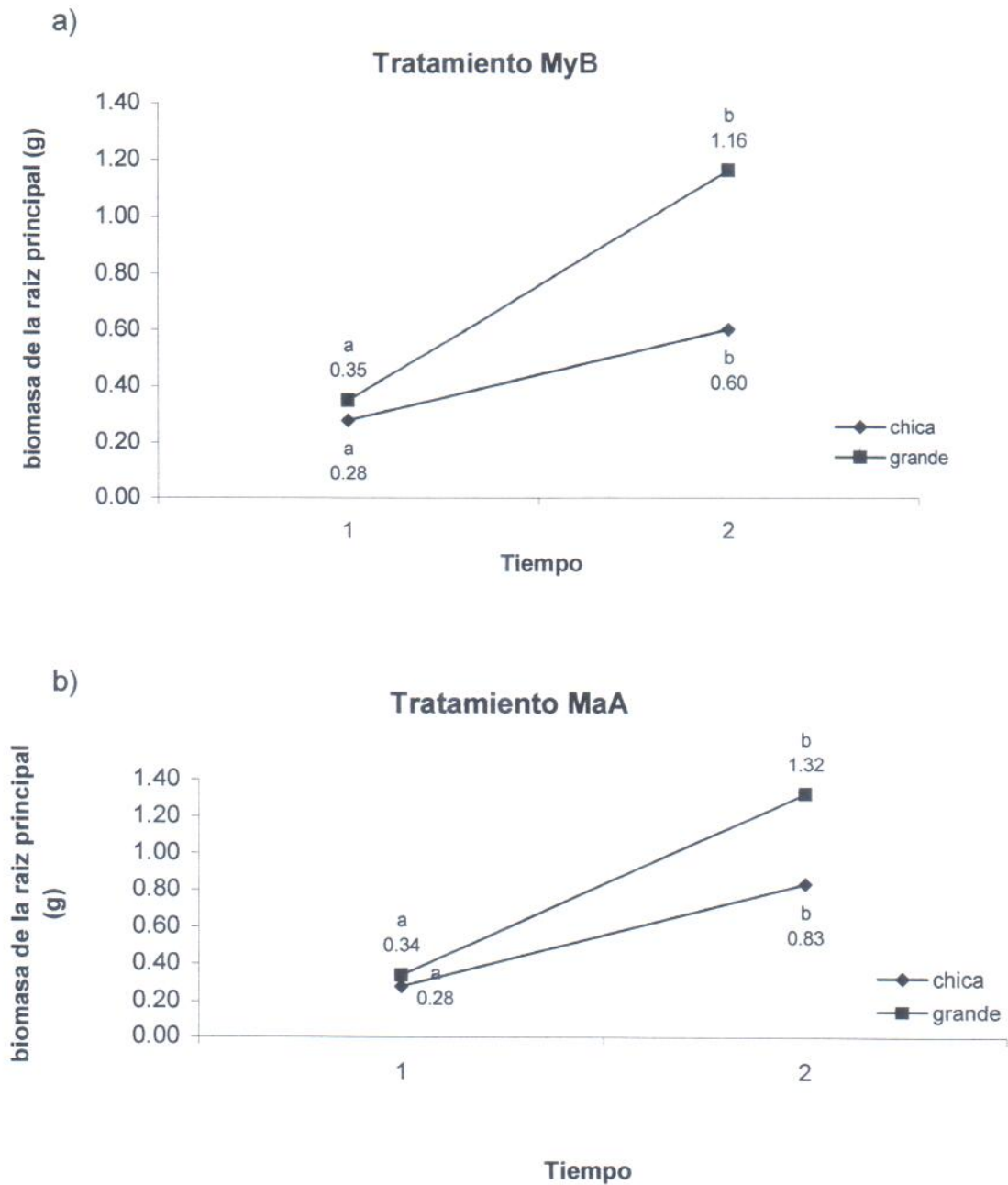
C=control; MaB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo; MaA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Marzo; MyA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Mayo; MyB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Mayo

Figura 9. Porcentaje de incremento en biomasa de raíz principal por tratamiento con fuego y calidad de planta. Letras iguales describen que no hubo diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 10. Biomasa de raíz principal a través del tiempo, para los tratamientos: a) control; b) MaB y c) MyA. Las barras de error representan el error estandar. Las barras con diferente letra describen que tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 11. Interacción calidad de planta y tiempo de la biomasa de la raíz principal en los tratamientos: a) MyB y b) MaA. Letras diferentes muestran diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.

Entre más grande sea el sistema radical, el brinjal tendrá un mayor crecimiento, una mayor posibilidad de explorar el suelo, captar agua con solutos y de incrementar la posibilidad de infección de micorrizas (Harold *et al.*, 1984; Vera, 1986).

6.4 Raíces laterales

6.4.1 Biomasa de raíces laterales

A seis meses después de la plantación existen diferencias significativas en la calidad de planta ($p=0.0420$), no así para el tratamiento con fuego ($p=0.1813$). Tampoco para la interacción ($p=0.5602$). Los promedios de la biomasa de raíces laterales la planta chica (C_1) y para la planta grande (C_2) fueron de 1.63 g y 2. 20 g respectivamente (Figura 12), esto indica que las raíces laterales que se mantuvieron con más desarrollo fueron las de la planta grande (C_2).

Es de esperar que un mayor desarrollo en diámetro implique un mayor incremento en biomasa lo que explica que las raíces laterales de la calidad de planta grande tuvieron un mayor desarrollo, así como la biomasa de tallo y yema.

El crecimiento en raíces laterales tiene mayores posibilidades de explorar el suelo, captar el agua y nutrimentos; presenta más puntos de contacto con mayores posibilidades de infección micorrízica y por consecuencia mayor porcentaje de supervivencia (Cueva, 1995). (Lambers *et al.*, 1998) citado por Rodríguez (2002) refiere que cuando hay poco N disponible hay una menor tasa de síntesis de citosininas, que se refleja en una baja capacidad fotosintética y

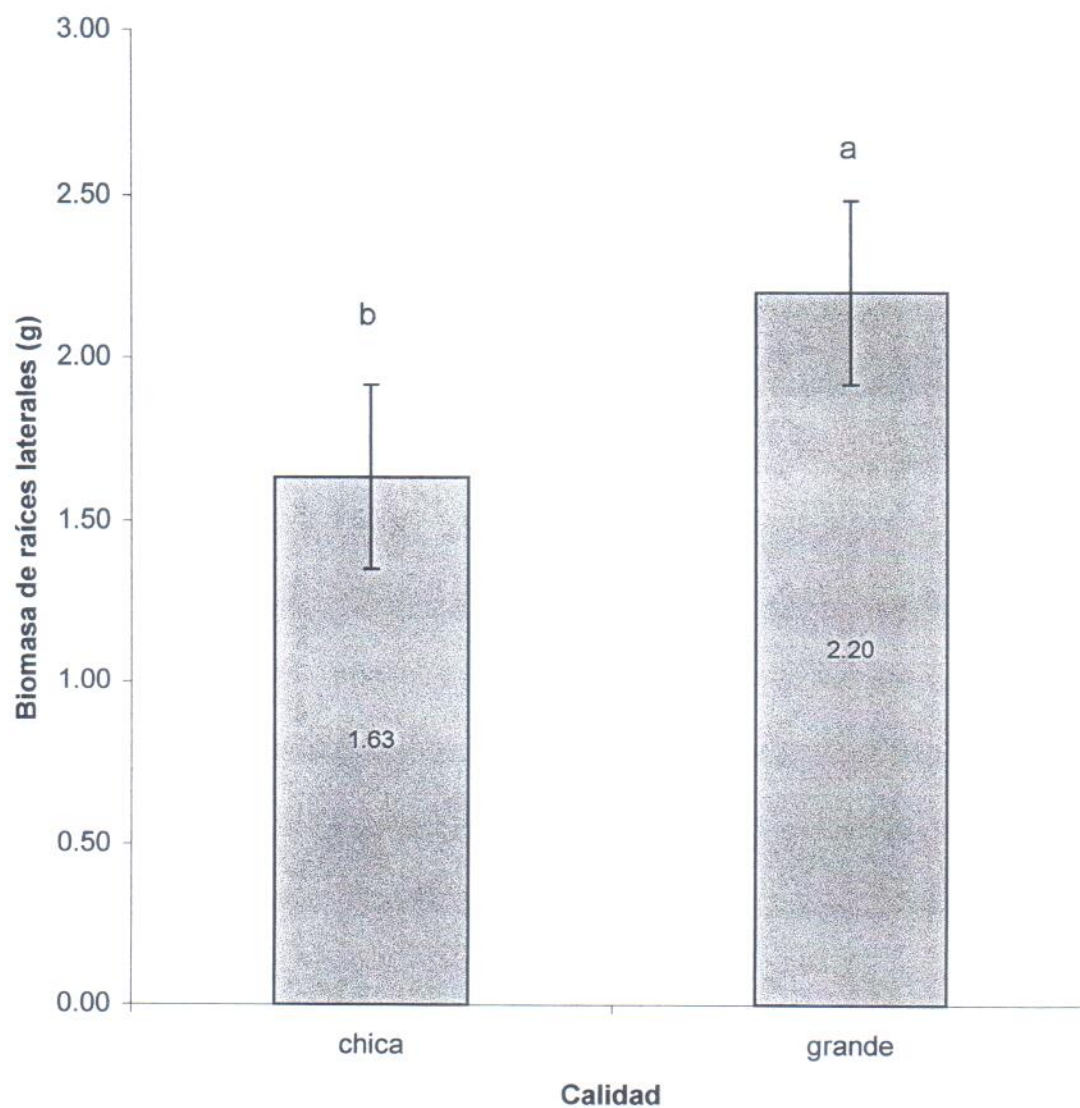


Figura 12. Biomasa de raíces laterales por calidad de planta, a seis meses de la plantación. Las barras de error representan el error estándar; letras distintas en las barras indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.

en un bajo desarrollo foliar. En las hojas (con alta concentración de azúcares) hay poco consumo de fotosintatos, los cuales se exportan en gran cantidad a las raíces, que tienen a crecer más.

6.4.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de raíces laterales

Para las raíces laterales no se obtuvieron diferencias significativas en el tratamiento fuego (0.2520), en la calidad de planta (0.2255), tampoco para la interacción respectiva (0.4737).

6.4.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de raíces laterales

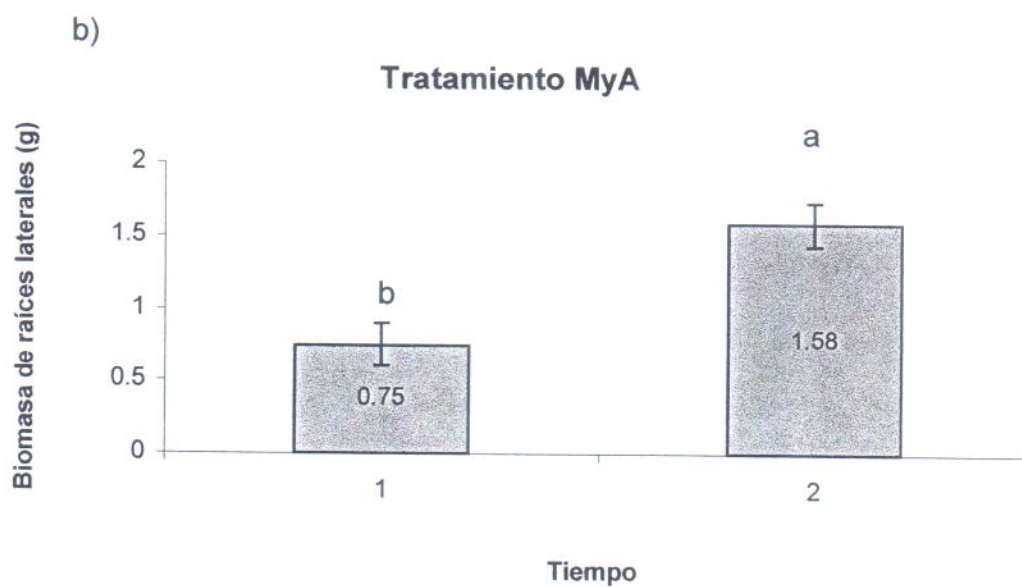
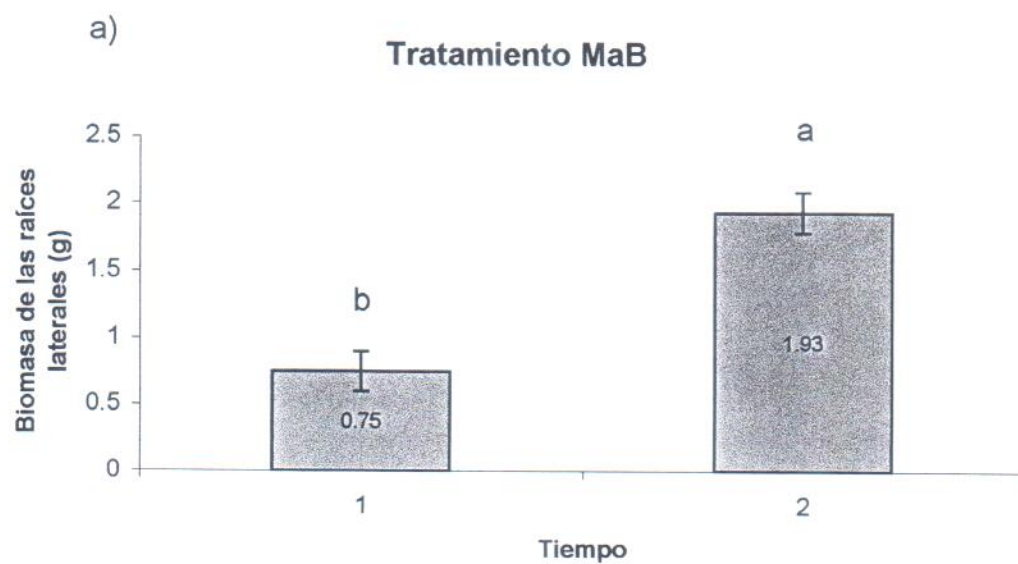
El tratamiento fuego ($p=0.4442$), la calidad de planta ($p=0.9833$) y la interacción ($p=0.4985$), no tuvieron diferencias estadísticamente significativas para el porcentaje de incremento en biomasa de raíces secundarias.

6.4.1.3 Peso relativo de raíces laterales

El tratamiento fuego ($p=0.8085$), la calidad de planta ($p=0.5983$) y la interacción ($p=0.7063$), no tuvieron diferencias estadísticamente significativas para el peso relativo de raíces secundarias.

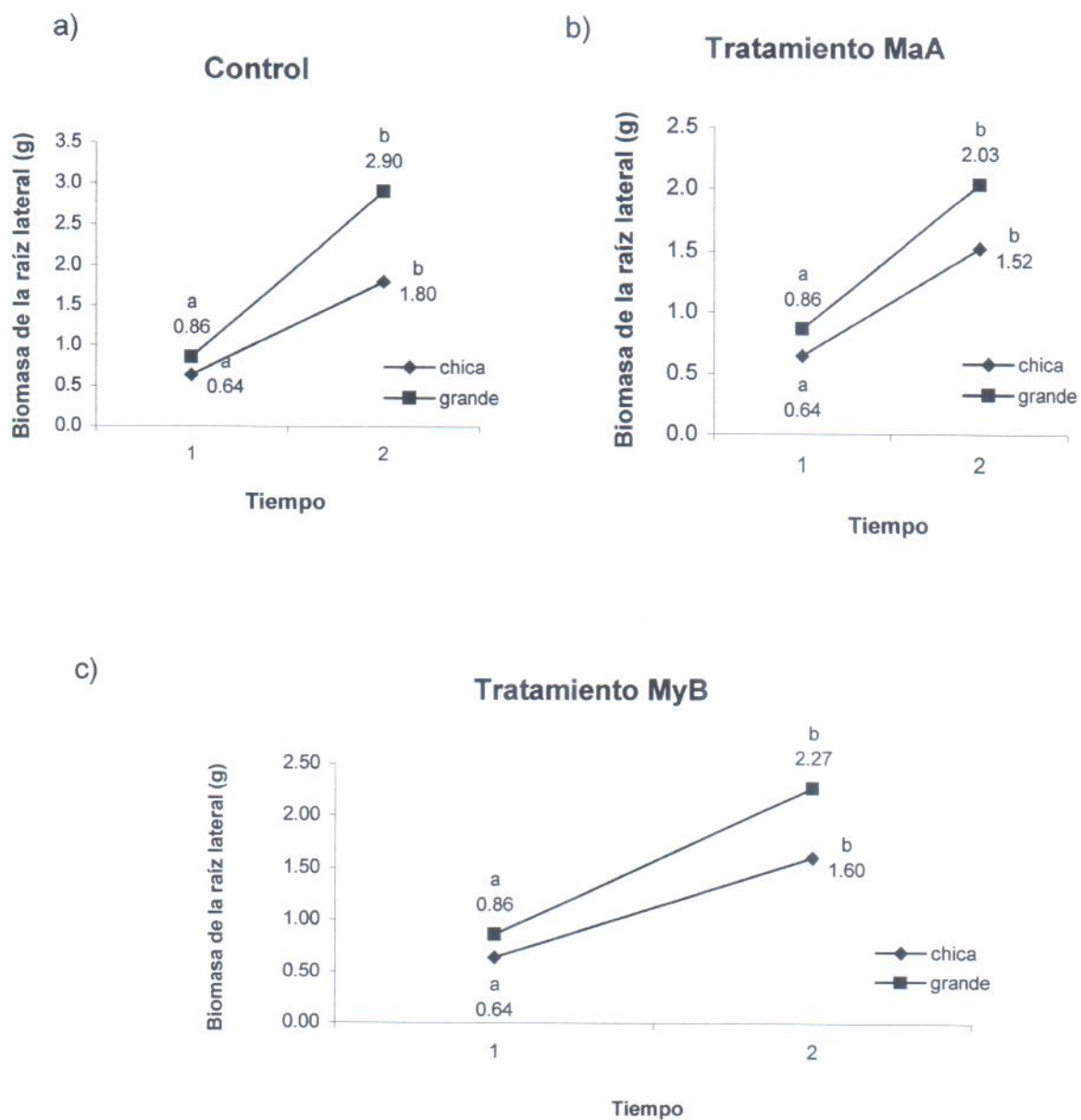
6.4.2 Diferencia de biomasa de raíces laterales a través del tiempo

Las raíces laterales al final y al inicio del experimento tuvieron diferencias significativas con respecto al factor tiempo ($p=0.0001$) para los tratamientos MyA, MaB (Figura 13). Para la interacción calidad de planta-tiempo tuvieron diferencias significativas los tratamientos MyB ($p=0.0073$), MaA ($p=0.0044$) y el control ($p=0.0002$) (Figura 14). En estos tres últimos casos la planta grande aumentó aún más su biomasa de raíces laterales, que la planta chica.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 13. Biomasa de raíces laterales a través del tiempo, para los siguientes tratamientos: a) MaB; b) MyA. Las barras de error representan el error estandar. Las barras con la misma letra describen que no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 14. Interacción por tiempo y calidad de planta de las raíces laterales de los tratamientos : a) Control; b) MaA; c) MyB. Las mismas letras describen que no tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre sí, con base en la prueba de Tukey.

6.5 Acículas

6.5.1 Biomasa de acículas

La biomasa de acículas seis meses después de la plantación no tuvo diferencias significativas en lo que respecta al tratamiento fuego ($p=0.6701$), calidad de planta ($p=0.4021$), interacción de ambas ($p=0.8325$).

6.5.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de acículas

La interacción tratamiento con fuego y calidad no tuvo diferencias significativas (0.7404), así mismo la calidad de planta (0.3983) y el tratamiento con fuego (0.8861).

6.5.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de acículas

No se obtuvieron diferencias significativas para el tratamiento con fuego (0.9218), calidad de planta (0.3550) ni para la interacción entre el tratamiento fuego y la calidad de planta (0.6945).

6.5.1.3 Peso relativo de acículas

Los resultados obtenidos para este análisis mostraron que el tratamiento fuego ($p=0.9433$) no tuvo diferencias estadísticamente significativas, así mismo, la calidad de planta ($p=0.6142$) ni la interacción ($p=0.8924$).

6.5.2 Diferencia de biomasa de acículas a través del tiempo

Al hacer la comparación al momento de la plantación y seis meses después, no se tuvieron diferencias significativas en la calidad de planta, en el factor tiempo y en la interacción calidad de planta-tiempo, con valores de “p” iguales a 0.075, 0.1409 y 0.0793, respectivamente.

6.6 Tallo y yema

6.6.1 Biomasa del tallo y yema

La calidad de los brinzales mostró diferencias significativas para esta variable ($p=0.0312$), con una media para calidad de planta chica (C_1) de 0.74 g, y para la calidad de planta grande (C_2) fue de 0.99 g. No hubo diferencias significativas entre tratamientos con fuego ($p=0.4845$), ni en la interacción de calidad de planta y tratamiento con fuego ($p=0.6367$). La calidad de planta grande mantuvo una mayor biomasa de tallo y yema, en relación con la calidad de planta chica (Figura 15).

6.6.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa de tallo y yema

Se obtuvieron diferencias significativas para el factor calidad de planta ($p=0.0478$), con una media para calidad de planta chica (C_1) de 0.57 g, y para la calidad de planta grande (C_2) fue de 0.78 g. No hubo diferencias significativas entre tratamientos con fuego ($p=0.5608$), ni en la interacción de calidad de planta y tratamiento con fuego ($p=0.6450$). La calidad de planta grande mantuvo un mayor crecimiento de tallo y yema, en relación con la calidad de planta chica (Figura 16).

6.6.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de tallo y yema

En la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta no se obtuvieron diferencias significativa (0.6304), así mismo para la calidad de planta (0.9545) y para el tratamiento con fuego (0.7836).

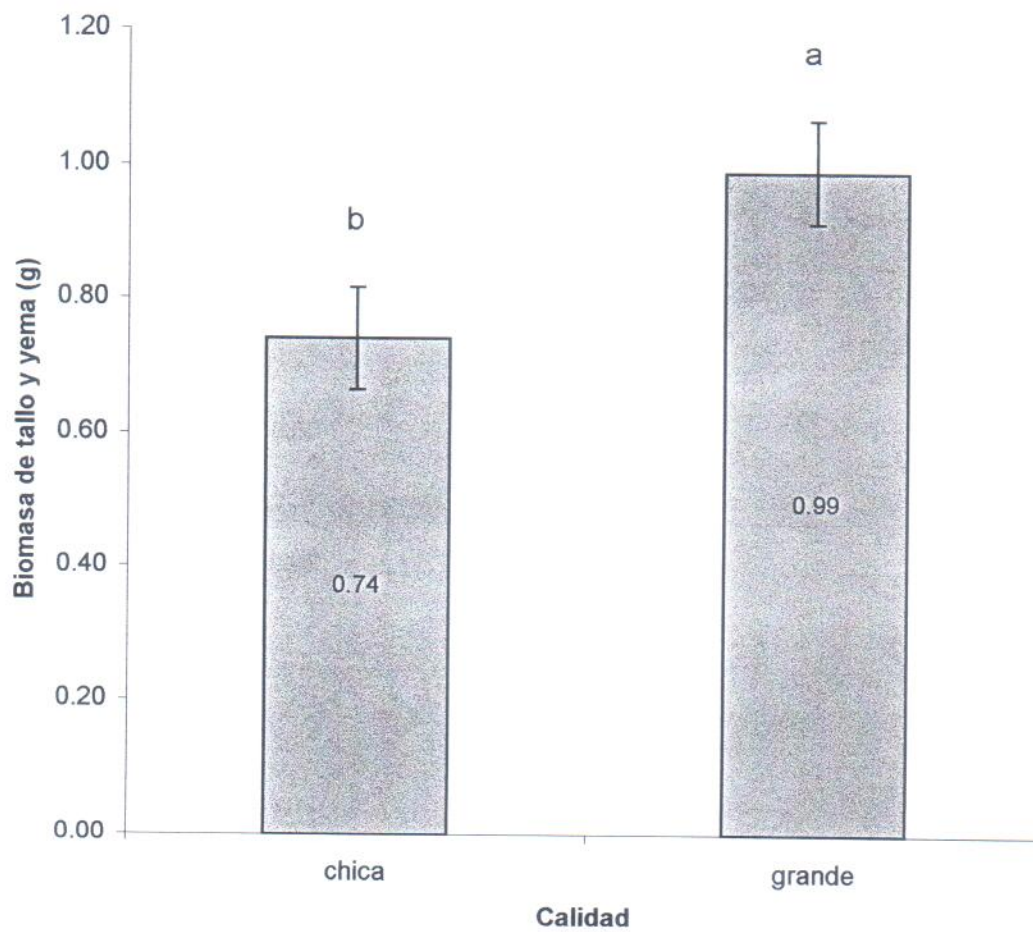


Figura 15. Biomasa del tallo y yema por calidad, a seis meses de la plantación. Las barras de error representan el error estándar. Letras distintas en las barras indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.

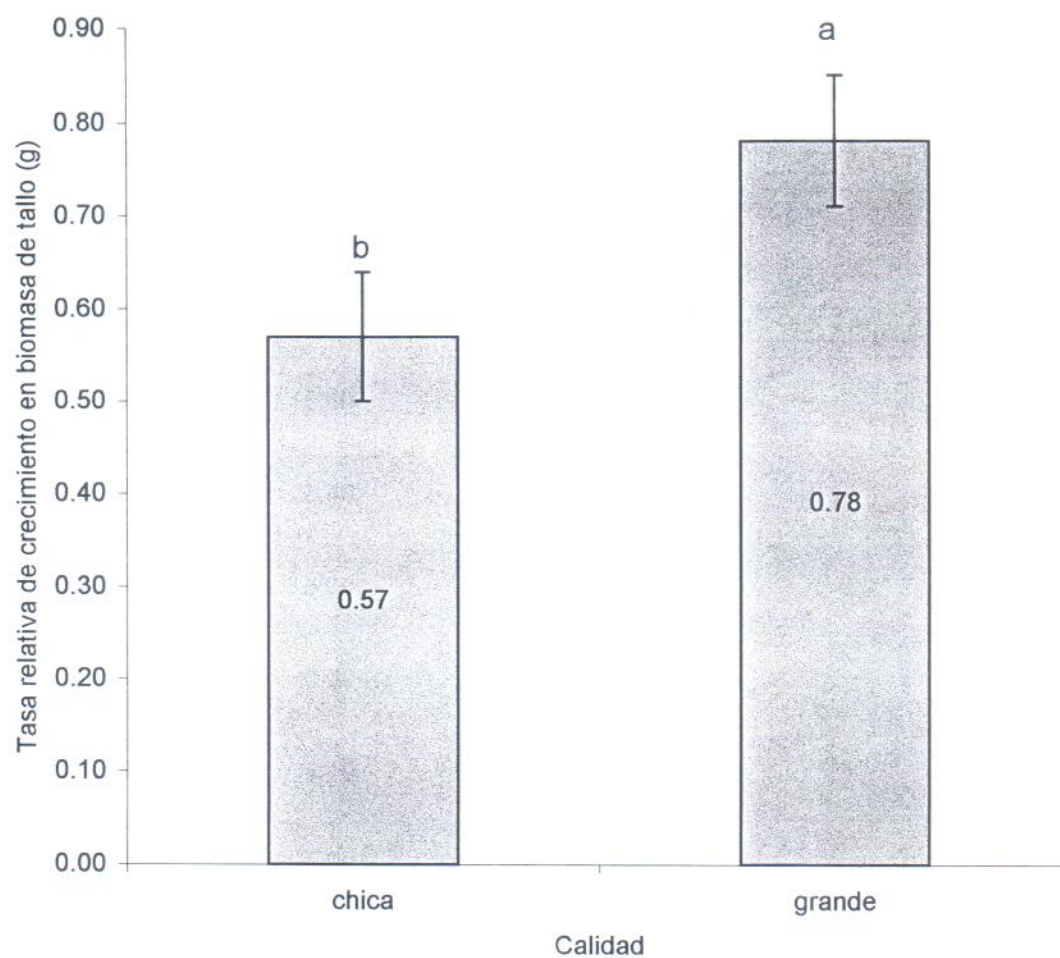


Figura 16. Tasa relativa de crecimiento en biomasa de tallo y yema. Las barras de error representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

6.6.1.3 Peso relativo de tallo y yema

Los tratamientos con fuego no arrojaron diferencias significativas ($p=0.4845$) ni la interacción calidad de planta y tratamiento ($p=0.6367$). Sin embargo, la calidad de planta mostró diferencias ($p=0.0312$) (Figura 17).

6.6.2 Diferencia de biomasa del tallo y yema a través del tiempo

Hubo diferencias significativas en la interacción calidad de planta y tiempo para los siguientes tratamientos: C ($p=0.0001$), MaB ($p=0.0035$), MaA ($p=0.0034$) y MyA ($p=0.0107$) (Figura 18). Nuevamente se observa que la planta grande aumento más su biomasa que la planta chica, en este caso de tallo y yema. En la quema prescrita a baja intensidad en el mes de mayo (MyB) se apreciaron diferencias significativas con respecto al factor tiempo ($p=0.0001$) (Figura 19).

6.7 Parte aérea

6.7.1 Biomasa de la parte aérea

No se obtuvieron diferencias significativas en lo que respecta a la biomasa de la parte aérea en relación al tratamiento fuego después de seis meses de establecida la plantación ($p=0.6158$), a la calidad de planta ($p=0.3086$) ni a la interacción ($p=0.8290$).

6.7.1.1 Tasa relativa de crecimiento de la biomasa aérea

El tratamiento fuego no tuvo diferencias significativas ($p=0.8143$), así como la calidad de planta ($p=0.2548$), tampoco la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.6870$).

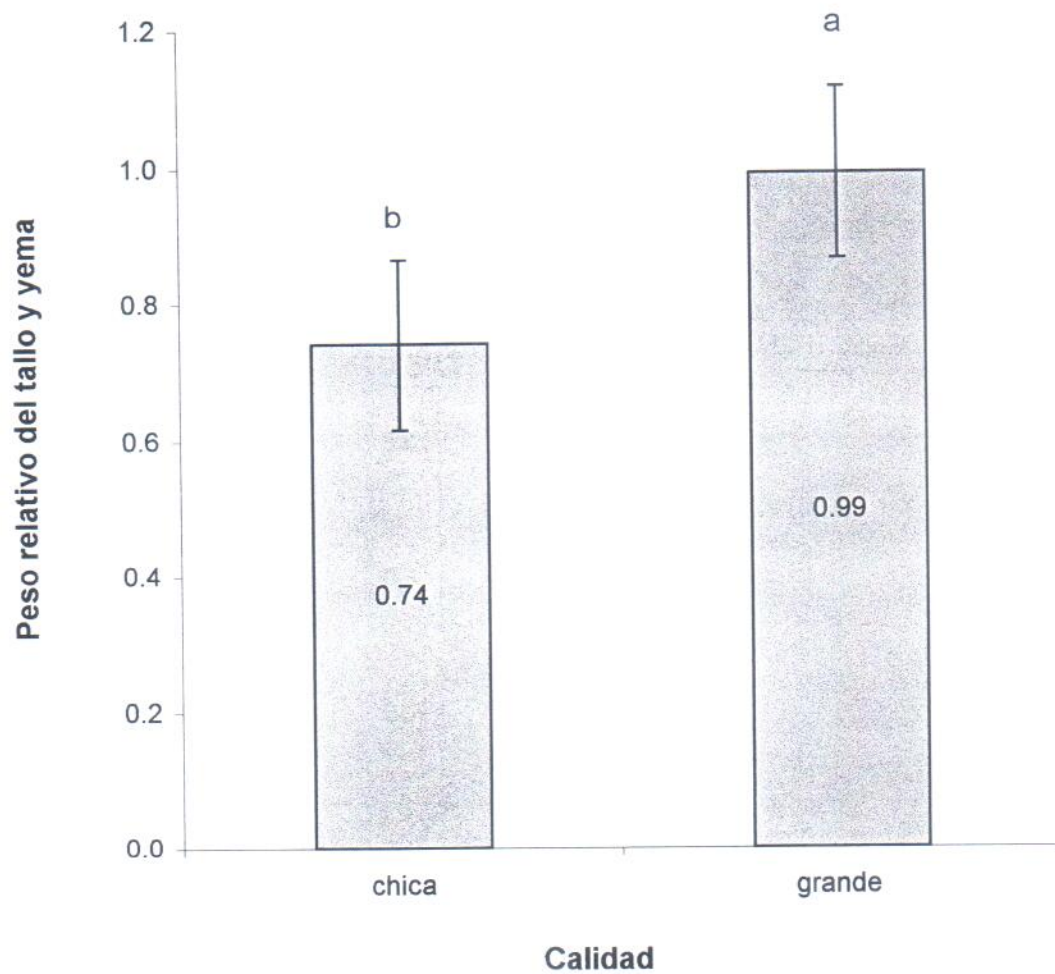
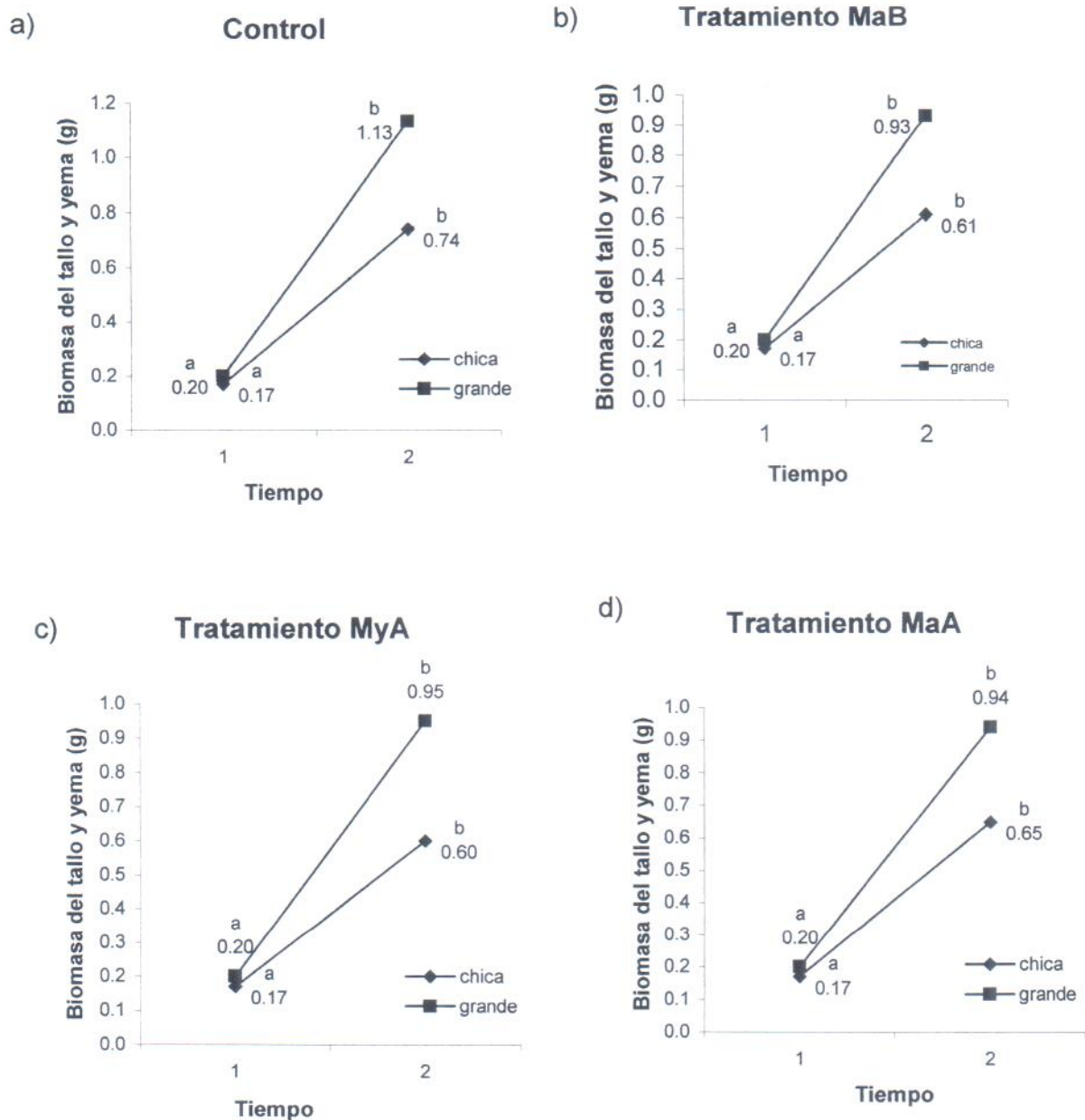
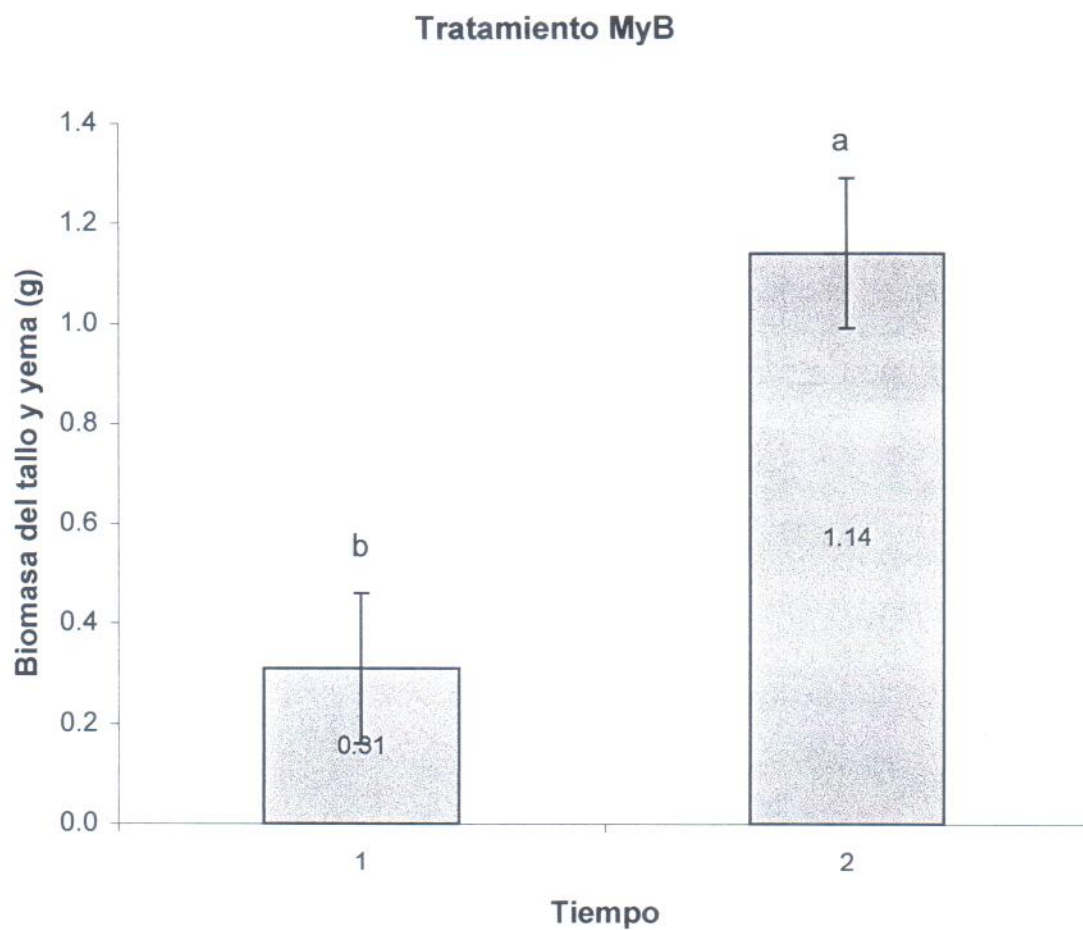


Figura 17. Peso relativo del tallo y yema por calidad de planta a seis meses de la plantación. Las barras de error representan el error estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 18. Interacción calidad de planta y tiempo para tallo y yema en los tratamientos: a) control b) MaB c) MyA y d) MaA. Letras distintas implican diferencias significativas.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 19. Diferencia en biomasa a través del tiempo del tallo y yema bajo el factor tiempo, para el tratamiento MyB. Las barras de error representan el error estándar. Letras indican diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

6.7.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa de la parte aérea

No se tuvieron diferencias significativas en el tratamiento con fuego (0.6955), en la calidad de planta (0.3047) ni en la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta (0.6367).

6.7.1.3 Peso relativo de la parte aérea

El tratamiento con fuego ($p=0.5832$), la calidad de planta ($p=0.8610$) y la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.5877$), indican que no se tienen diferencias significativas.

6.7.2 Diferencia de biomasa de la parte aérea a través del tiempo

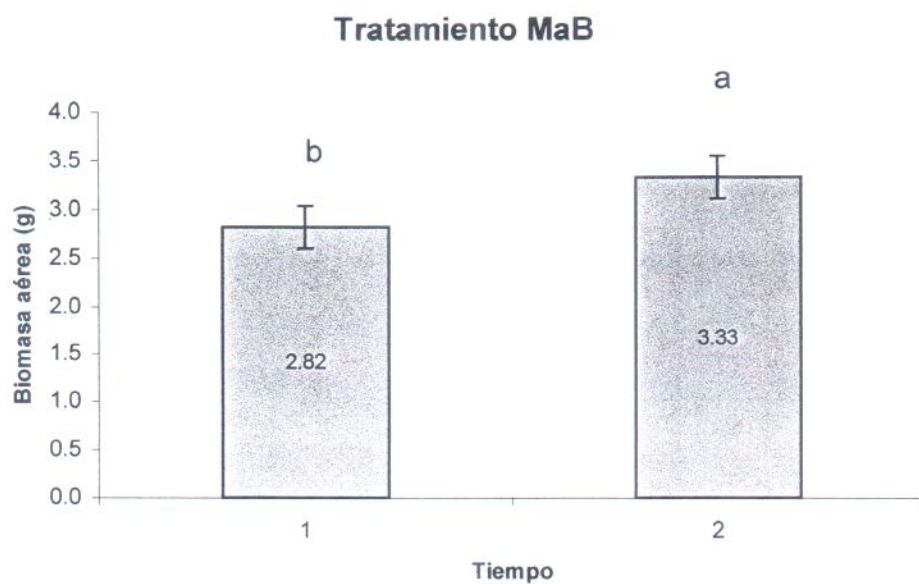
No hubo diferencias significativas en el tratamiento MyA para la calidad de planta, tiempo y su interacción. Sin embargo, los tratamientos MaB y MyB, si tuvieron diferencias significativas en relación al tiempo ($p=0.0501$ y $p=0.0138$) (Figura 20). El tratamiento MaA y el control (C) tuvieron diferencias significativas en la interacción calidad de planta-tiempo ($p=0.0319$ y $p=0.0490$) (Figura 21).

6.8 Parte subterránea

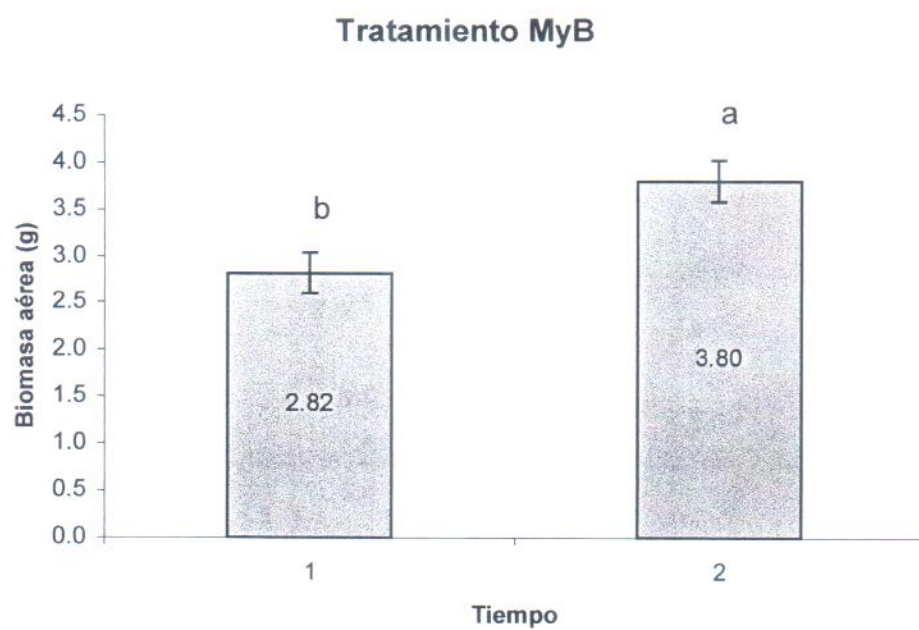
6.8.1 Biomasa de la parte subterránea

En lo que respecta al tratamiento fuego, no tuvo diferencias estadísticamente significativas ($p=0.1042$), de la misma forma para la calidad de planta ($p=0.1173$), y para la interacción de ambas ($p=0.6296$).

a)

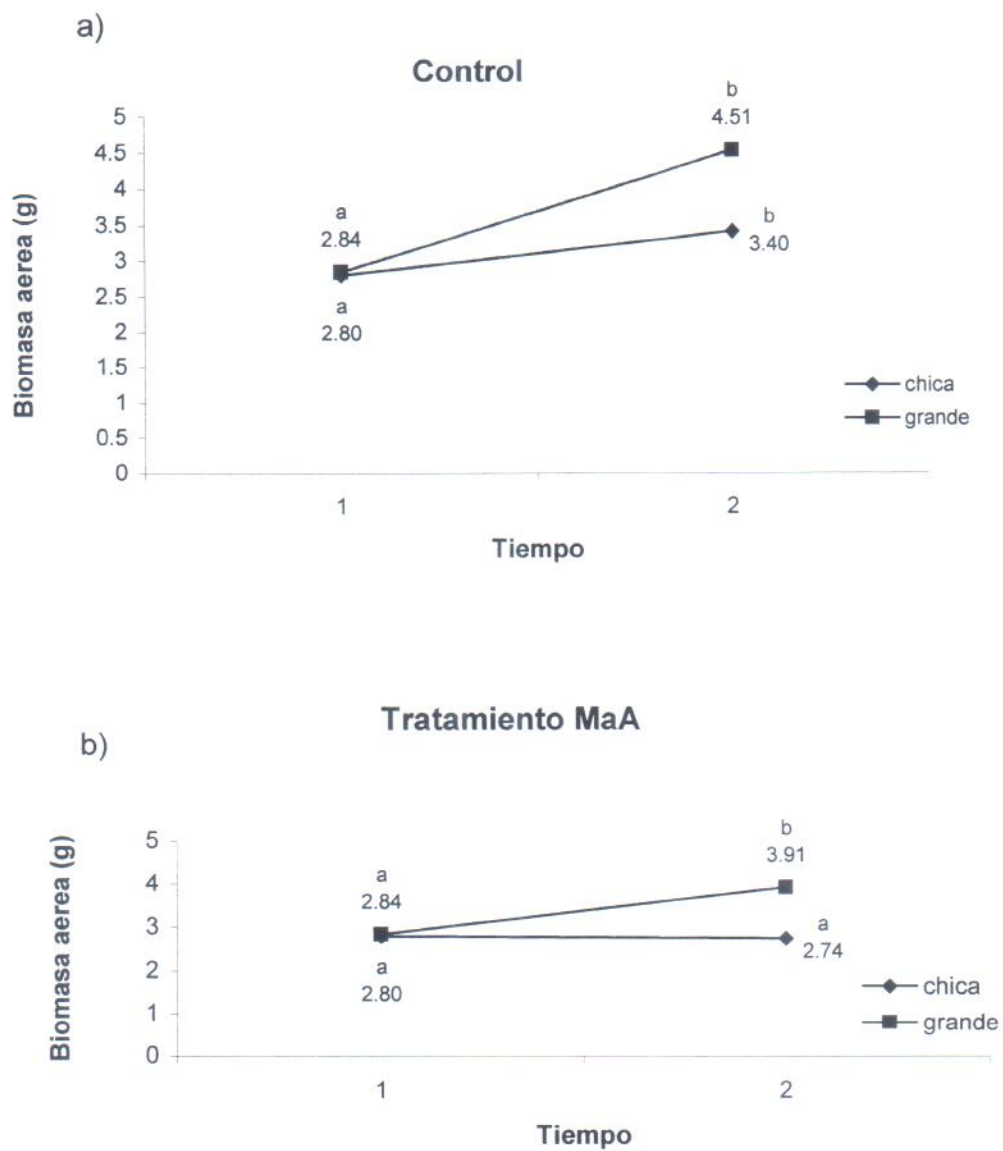


b)



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 20. Diferencias de la cantidad de biomasa aérea a través del tiempo, para los tratamientos: a) MaB b) MyB. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 21. Diferencias de biomasa aérea por la interacción calidad de planta-tiempo para los tratamientos: a) Control y b) MaA.

6.8.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa subterránea

La interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.4126$) no mostró diferencias significativas, así mismo la calidad de planta ($p=0.2881$) y el tratamiento con fuego ($p=0.1080$).

6.8.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa subterránea

No se tuvieron diferencias significativas en el tratamiento con fuego ($p=0.0601$), en la calidad de planta ($p=0.9470$), y en la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.1386$).

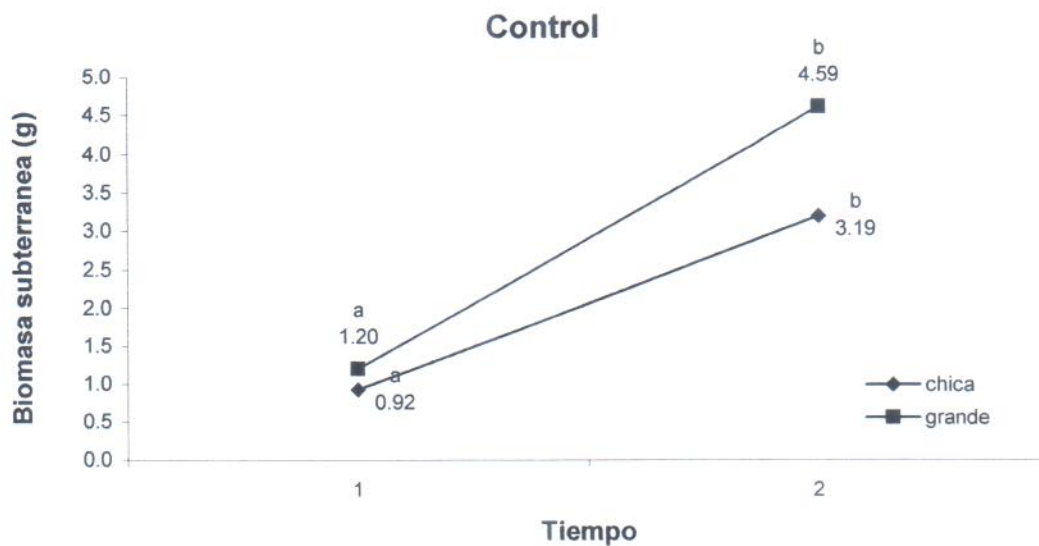
6.8.1.3 Peso relativo de la biomasa subterránea

Para el peso relativo de la parte subterránea, en donde abarca tanto la raíz primaria y las raíces secundarias, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas tanto para el tratamiento con fuego ($p=0.5832$), calidad de planta ($p=0.8610$) ni su interacción (0.5877).

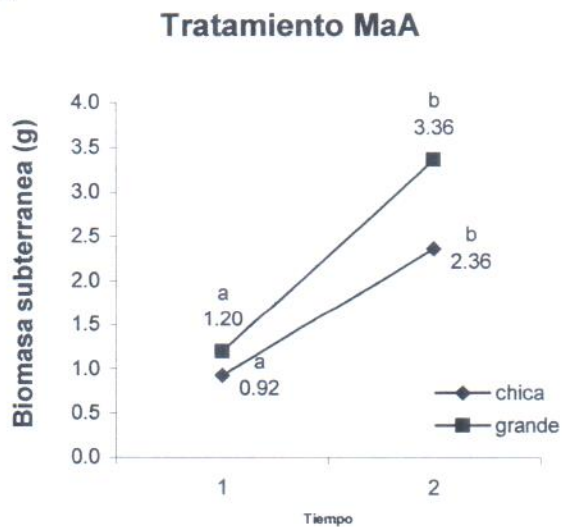
6.8.2 Diferencia de biomasa de la parte subterránea a través del tiempo

La biomasa subterránea al final y al inicio del experimento tuvo diferencias significativas en la interacción calidad de planta-tiempo para los tratamientos: control ($p=0.0048$), MyB ($p=0.0001$) y MaA ($p=0.0096$) (Figura 22). De nueva cuenta, la planta grande aumento más su biomasa (subterránea ahora) luego de seis meses. Los tratamientos MaB y (MyA) tuvieron diferencias significativas ($p=0.0001$) con respecto a el factor tiempo (Figura 23).

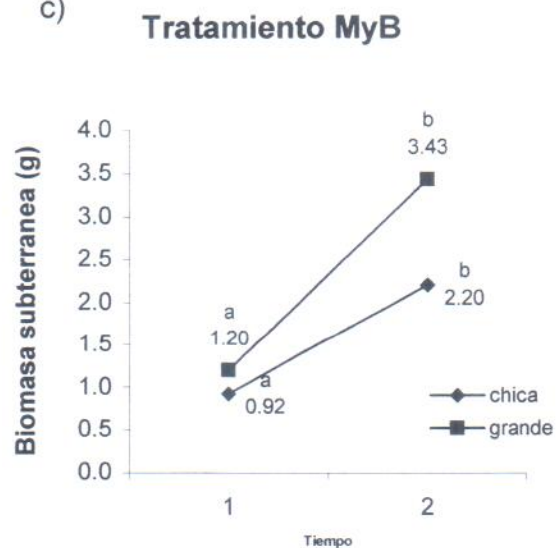
a)



b)

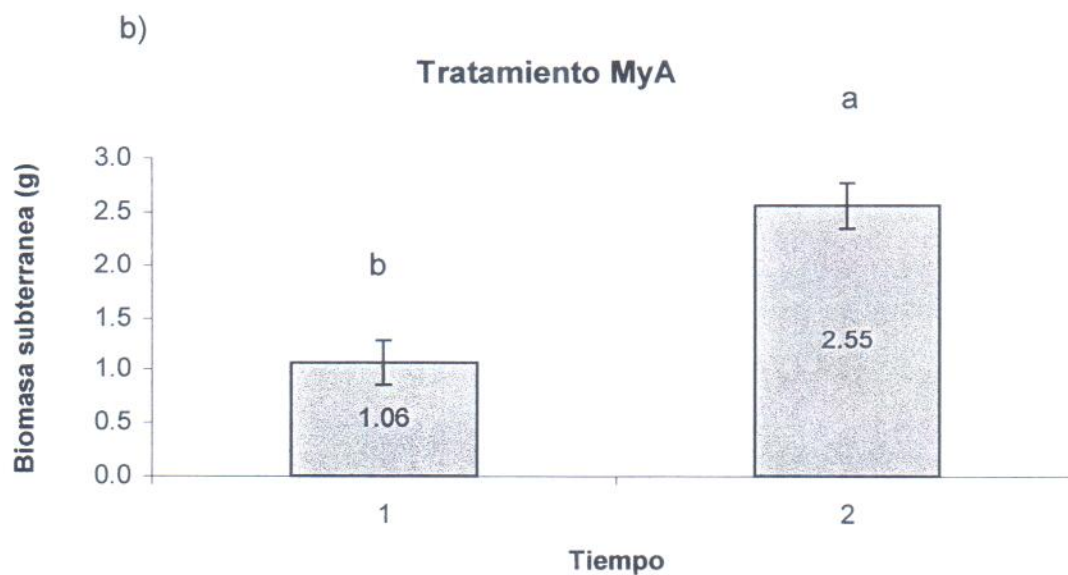
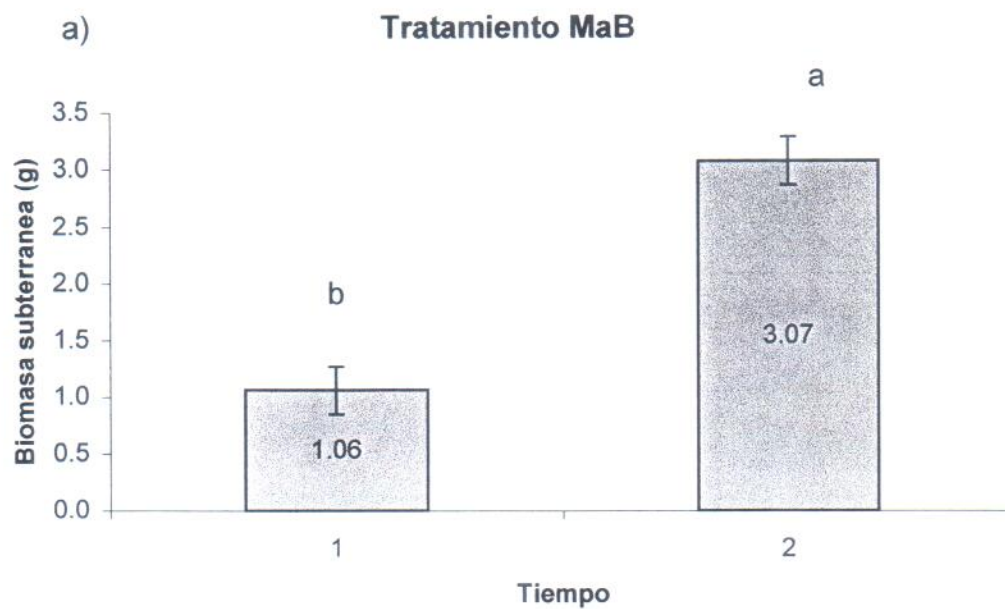


c)



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 22. Diferencia en biomasa subterránea por la interacción calidad de planta-tiempo para los tratamientos: a) control b) MaA c) MyB.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 23. Diferencias estadísticamente significativas, biomasa subterránea a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MyA. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.

6.9 Biomasa de toda la planta

6.9.1 Biomasa total

La biomasa total no mostró diferencias estadísticamente significativas en el tratamiento con fuego al paso de seis meses de establecida la plantación ($p=0.2418$), ni la calidad de planta ($p=0.1672$), tampoco en la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.7831$).

6.9.1.1 Tasa relativa de crecimiento en biomasa total

La interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.6870$) no mostró diferencias significativas, así mismo la calidad de planta ($p=0.2594$) y el tratamiento con fuego ($p=0.3753$).

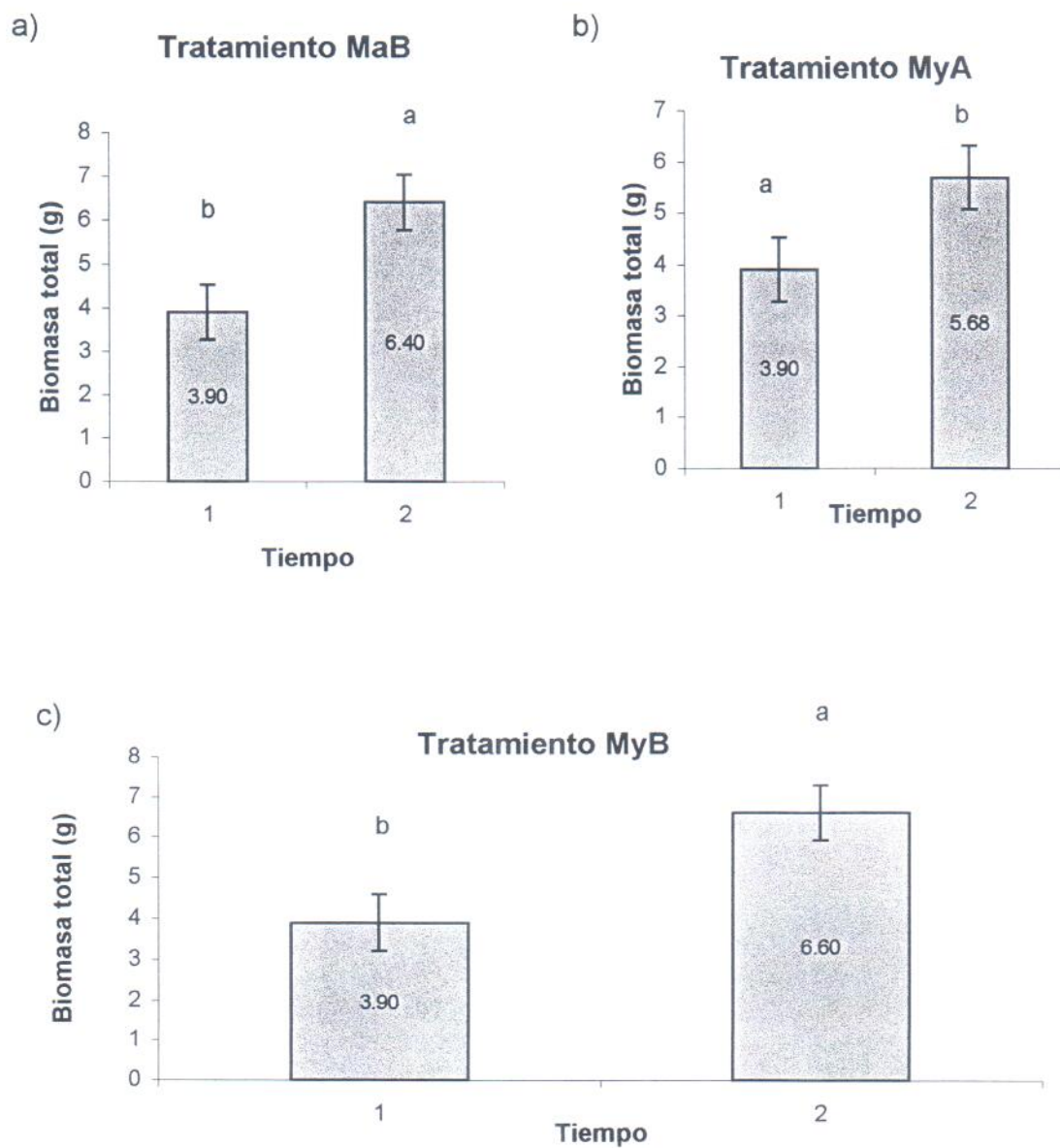
6.9.1.2 Porcentaje de incremento en biomasa total

No se tuvieron diferencias significativas en el tratamiento con fuego ($p=0.5500$), en la calidad de planta ($p=0.2992$), y fue el mismo caso en la interacción tratamiento con fuego y calidad de planta ($p=0.6672$).

6.9.2 Diferencia de biomasa de toda la planta a través del tiempo

Al comparar la biomasa total a través del tiempo (al final y al inicio del experimento) se tuvieron diferencias significativas (de $p=0.0001$ hasta $p=0.0002$) por el tiempo para los tratamientos: MaB, MyB, MyA (Figura 24).

Así mismo, se tuvieron diferencias significativas en la calidad de planta al paso del tiempo para los tratamientos MyB ($p=0.0490$) y MyA ($p=0.0372$) (Figura 25). Para el control (C) y un incendio confinado (alta intensidad) en el mes de marzo (MaA), hubo diferencias significativas en la interacción calidad de planta-tiempo ($p=0.0083$ y $p=0.0078$, respectivamente) (Figura 26).



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 24. Diferencias estadísticamente significativas en biomasa total a través del tiempo para los tratamientos: a) MaB; b) MyA c) MyB. Letras distintas en las barras indican diferencias estadísticamente significativas entre sí, acorde con la prueba de Tukey.

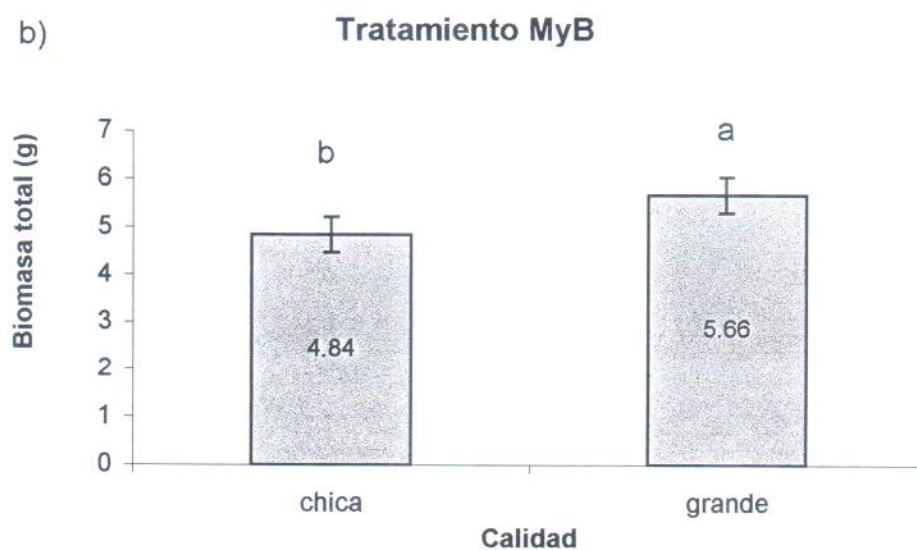
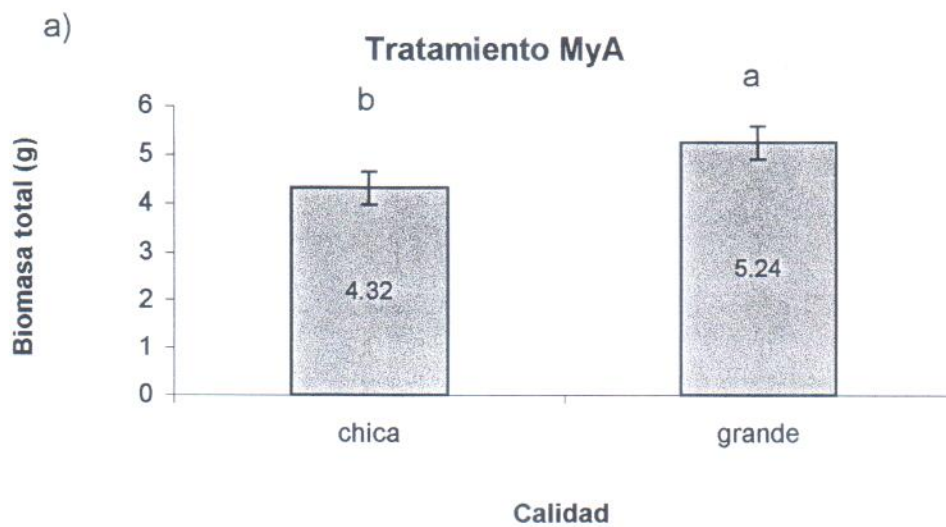
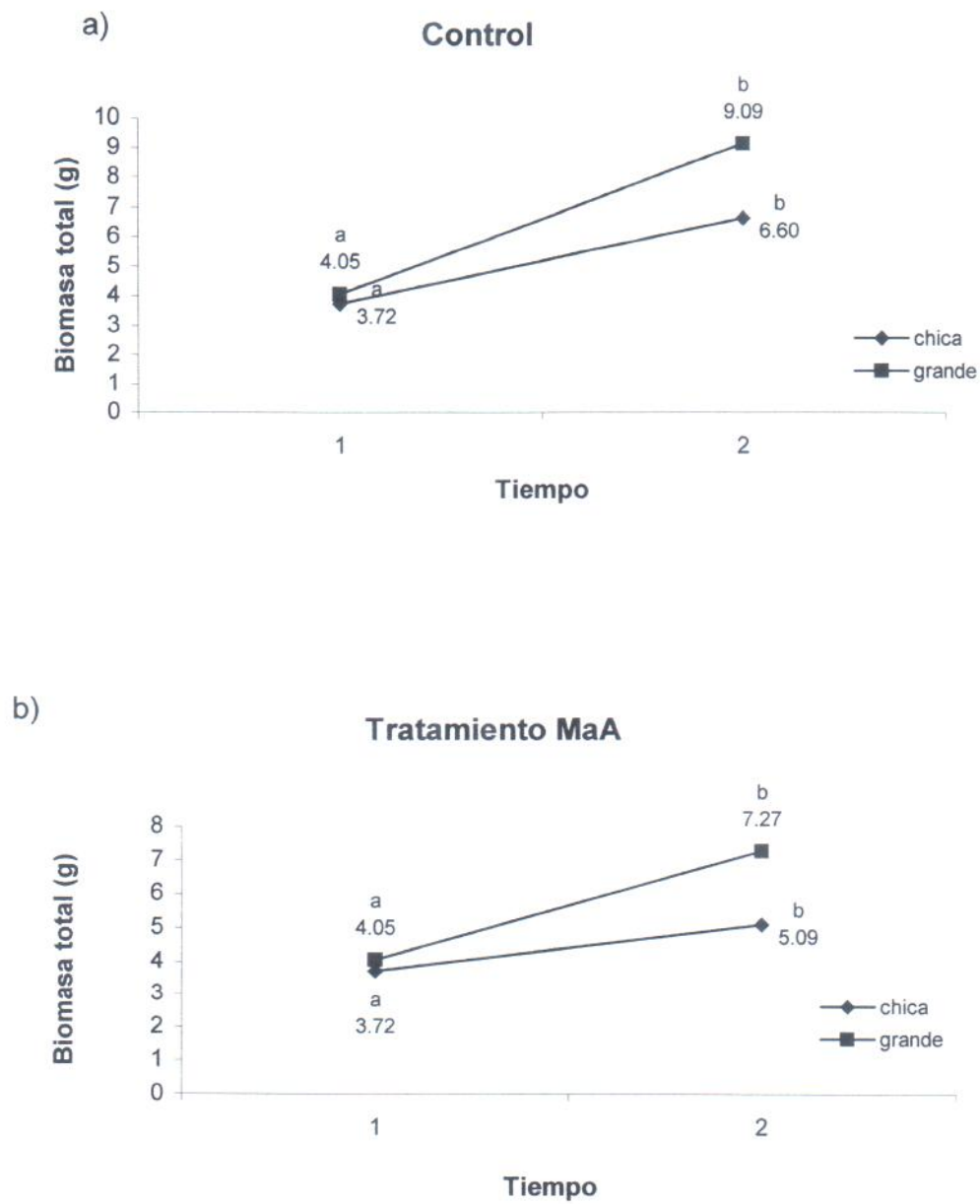


Figura 25. Diferencias estadísticamente significativas en biomasa total a través del tiempo por calidad de planta en los tratamientos: a) MyA; b) MyB. Letras distintas indican diferencias significativas, con base en la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 26. Diferencias en biomasa total por la interacción calidad de planta-tiempo para el control y el tratamiento MaA.

6.10 Concentración foliar de nutrientes

6.10.1 Nitrógeno

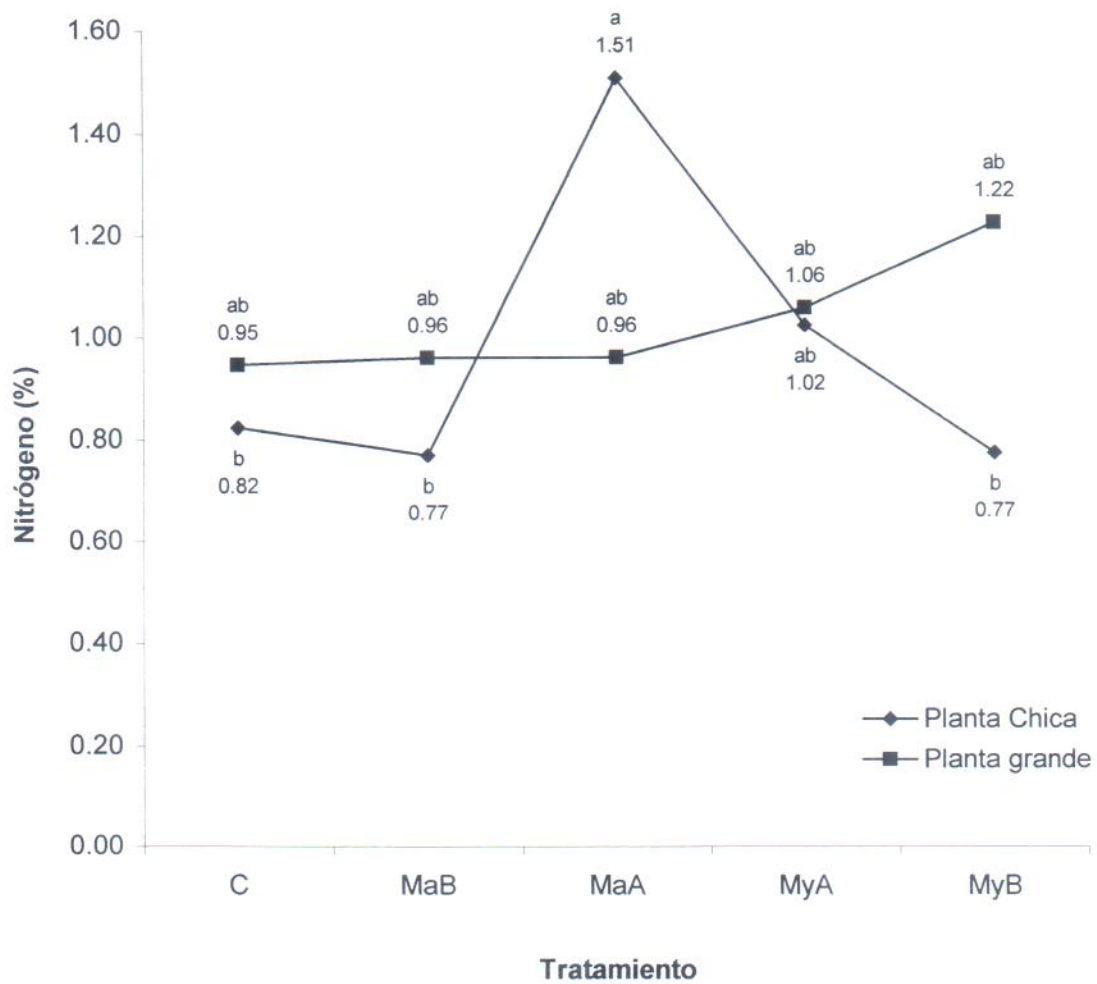
6.10.1.1 Diferencias entre tratamientos

El porcentaje de nitrógeno seis meses después de la plantación presenta diferencias significativas en la interacción calidad de planta y tratamiento ($p=0.0130$) (Figura 27).

La interacción que hubo entre la calidad de planta y el tratamiento mostró que sólo la planta chica del tratamiento MaA fue superior a la planta chica en los tratamientos C, MaB y MyB.

Orme y Teege (1976), citado por Chandler *et al.* (1983) refieren que en el norte de Idaho la disponibilidad del nitrógeno va a depender de la estación del año en que se realice la quema; hallaron que al realizarse la quema de baja intensidad al inicio de la primavera incrementaron las concentraciones de nitrato y amonio en 3 y 1.5 veces respectivamente. En quemas severas el nitrato puede aumentar 20 veces en el periodo y el amonio a tres veces.

En el norte de Carolina Christensen (1977) citado por Chandler *et al.* (1983) encontró que sólo el 1% del N es adicionado por las cenizas en el bosque de pino. La ceniza puede actuar como un reservorio gradual de minerales y liberarse de formas variables pero este reservorio está sujeto a los efectos de la lixiviación. También encontraron en *Pseudotsuga menziesii* que después de seis meses de haber realizado la quema hubo un incremento en nitrógeno amoniacal, pero el nitrógeno-nitrico fue bajo durante el primer año de estudio.



C=control; MaB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo; MaA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Marzo; MyA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Mayo; MyB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Mayo

Figura 27. Nitrógeno total (%) tratamiento con fuego y calidad a seis meses de establecida la plantación. Las letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas entre si, acorde con la prueba de Tukey.

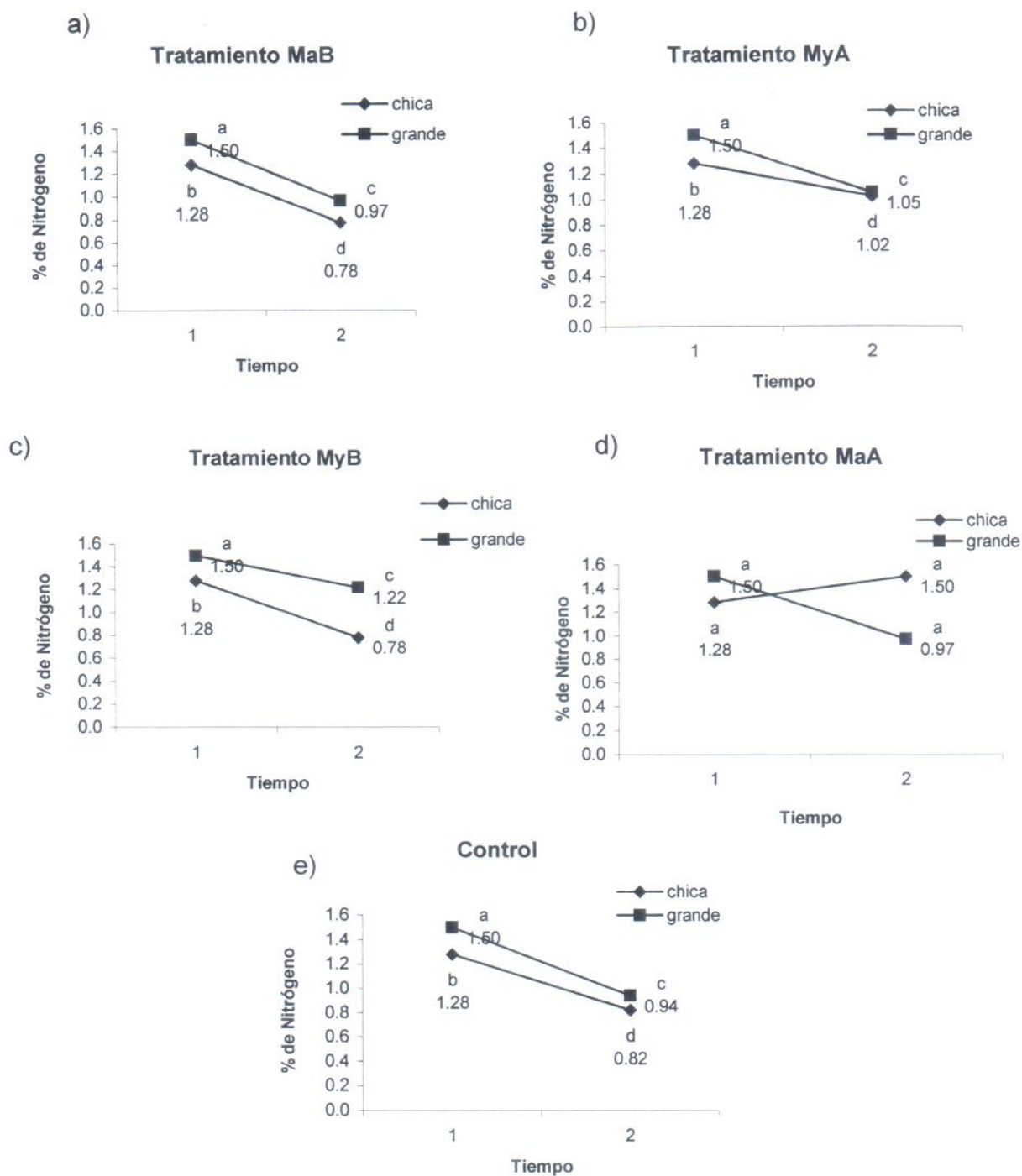
Como ya se ha mencionado anteriormente el N tiende a volatilizarse después de una quema, usualmente un incremento en la concentración del N después de un incendio se da porque no todo el N es perdido ya que la concentración de amonio y nitrato generalmente se incrementa después de una quema y el restante del N es quemado como ceniza (Pyne *et al.*, 1996 y DeBano *et al.*, 1998).

La fijación del N por microorganismos puede incrementarse después del incendio, la capa blanca de ceniza en la superficie del suelo después de un incendio incrementa la temperatura del suelo y la actividad microbial, incrementando la descomposición y la disponibilidad de nutrientes (Dearing y Larson, 1990, Waring y Schlesinger, 1985). Chandler *et al.*, (1983) menciona que al haber la pérdida de N por volatilización el restante es tomado por microorganismos que lo transforman a amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) que es asimilable para las raíces de las plantas.

6.10.1.2 Diferencias a través del tiempo

La concentración de nitrógeno al final y al inicio del experimento mostró diferencia significativas (con $p= 0.0001$) en la interacción calidad de planta-tiempo (Figura 28).

Los tratamientos MaB, MyA y MyB tuvieron una disminución en su concentración de N foliar, sin embargo para el control también se observó una reducción en la concentración de éste, con lo que se puede determinar que las quemaduras realizadas no tuvieron un gran efecto en pérdida de N, pues la



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 28. Concentración de nitrógeno total para la interacción calidad de planta-tiempo en los tratamientos: a) MaB b) MyA c) MyB d) MaA e) control.

concentración de este nutriente en la segunda medición, en ningún tratamiento fue menor a la del control. Esta reducción se puede relacionar con la menor actividad fisiológica de la planta. Aguirre (1978) encontró que al realizar quemas prescritas en la estación experimental Zoquiapan sobre *Pinus hartwegii*, la pérdida de nitrógeno fue insignificante, y que puede ser subsanada por precipitación y fijación bacteriana.

Sin embargo incendios aún más intensos o bien incendios, con las intensidades estudiadas pero recurrentes, si podría reducir el N disponible.

Robbins y Myers (1992) señalan que existen dos puntos de vista sobre el efecto de la estación de quema en los nutrientes del suelo. Uno sostiene que la pérdida por lixiviación podría ser grande en los sitios quemados a la entrada del invierno, ya que por la dormancia de la vegetación ésta no puede tomar eficazmente los nutrientes. La segunda es que la pérdida podría disminuir durante la parte temprana de la estación de crecimiento, cuando las plantas están fisiológicamente activas y acumulan los nutrientes para el nuevo crecimiento. Es clara la necesidad de conocer la dinámica de los nutrientes en cada sitio forestal, manteniendo la fertilidad del suelo y minimizando la pérdida de nutrientes y reducción en la productividad del suelo (Walstad *et al.*, 1990).

Robbins y Myers (1992) sugieren que la variación en la pérdida de nutrientes puede ser debida a diferencias en la estación de quema y responsable de distintos efectos en la productividad de los ecosistemas.

6.10.2 Fósforo

6.10.2.1 Diferencias entre tratamientos

Existen diferencias significativas entre tratamientos con fuego ($p=0.0055$), por otro lado no las hay entre calidades de planta ($p=0.9423$), ni en la interacción de ambos factores ($p=0.2565$), a seis meses de establecida la plantación.

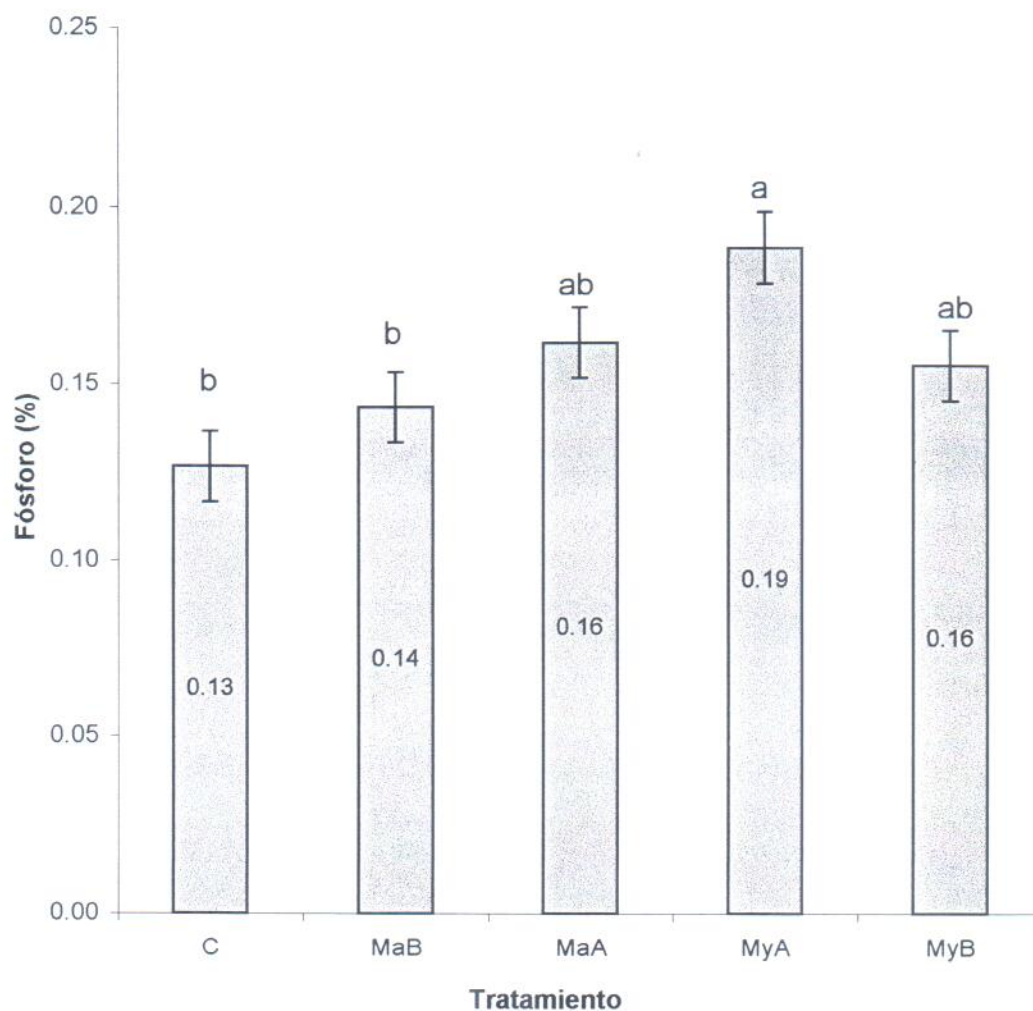
La concentración de P fue mayor en el incendio confinado de mayo, en comparación con el testigo y la quema prescrita de marzo. No hubo diferencias entre los demás tratamientos (Figura 29).

6.10.2.2 Diferencia de fósforo a través del tiempo

Al comparar el contenido de fósforo al final y al inicio del experimento se tuvieron diferencias significativas en la interacción calidad de planta-tiempo ($p=0.0001$) para los tratamientos: C, MaB, MaA y MyB (Figura 30).

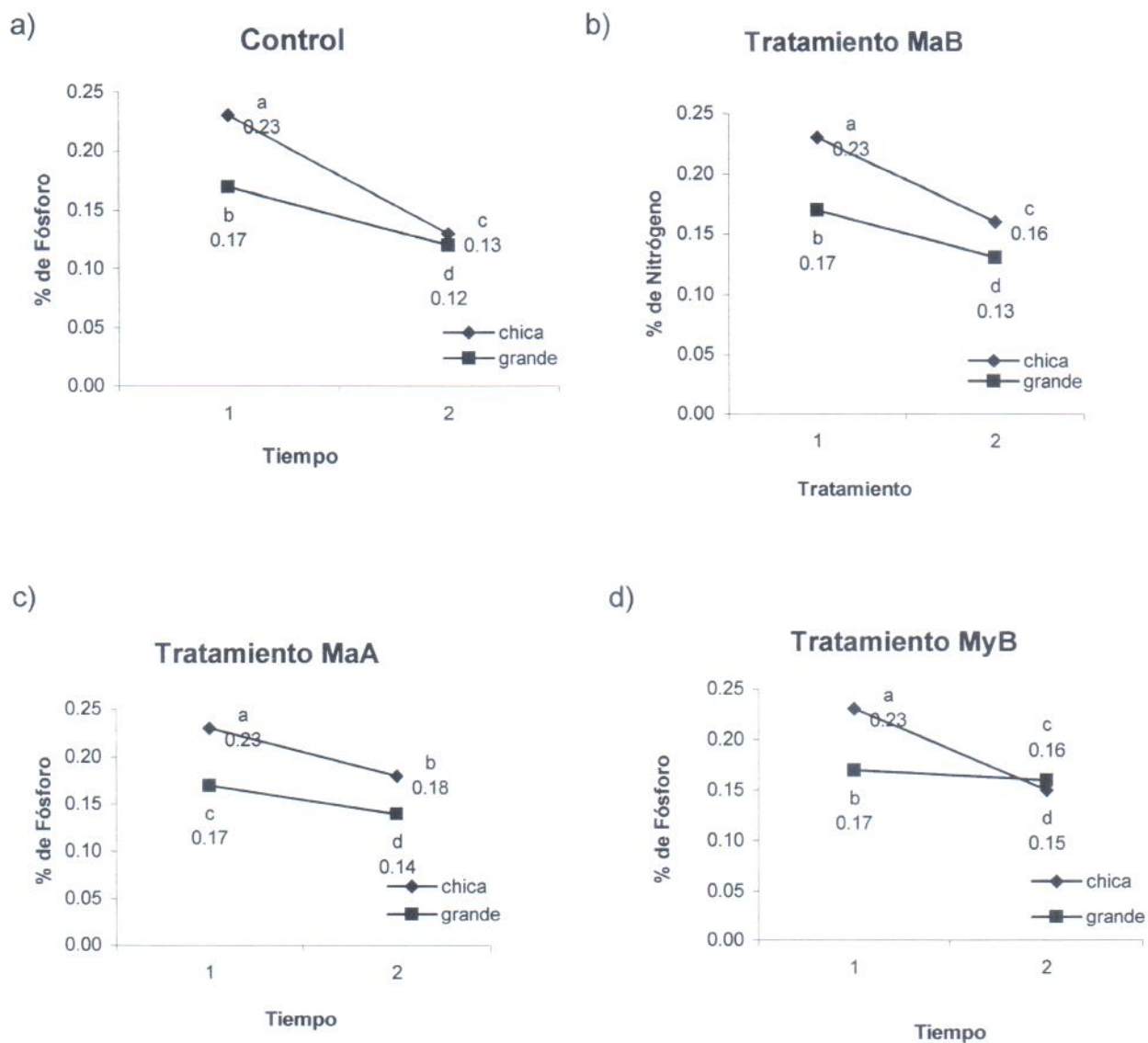
En general se observaron reducciones en la concentración de este nutriente. Pero tal reducción también se observó en el control, y en ningún tratamiento los valores fueron menores a este último.

El fuego pone en libertad el P en forma ión fosfato, altamente absorbible por las plantas (DeBano *et al.*, 1998; Waring, 1985). Wagle y Kitchen (1972) citados por Chandler *et al.*, (1983), menciona que el P se incremento 32% después de una quema en masas de *Pinus ponderosa*. Esto explica que la alta intensidad de algunas quemas prescritas puede acelerar el proceso de descomposición de materiales con P para que éste pueda ser absorbido por las plantas.



C=control; MaB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Marzo; MaA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Marzo; MyA=incendio confinado (alta intensidad) en el mes de Mayo; MyB=quema prescrita a baja intensidad en el mes de Mayo

Figura 29. Concentración de fósforo por tratamiento, a seis meses de establecida la plantación. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 30. Diferencias el contenido de fósforo total (%) a través del tiempo por calidad de planta en los tratamientos: a) control b) MaB c) MaA d) MyB.

Las pérdidas de P que se presentaron en los arbolitos del presente trabajo pueden deberse a la variación que existe en las concentraciones de nutrientes por acción de las estaciones del año, como anteriormente se ha comentado para el N; sin embargo Aguirre (1978) menciona que las pérdidas de nutrientes que se presentan por lixiviación, llegan en algunos casos a ser consideradas como serias, sobre todo para el fósforo, potasio y magnesio y depende fundamentalmente de la naturaleza de los suelos y del comportamiento de la precipitación.

6.10.3 Potasio

6.10.3.1 Diferencias entre tratamientos

Se tuvieron diferencias significativas ($p=0.0155$), para la calidad de planta (Figura 31); ni el tratamiento con fuego ni la interacción calidad de planta y tratamiento con fuego, presentan diferencias significativas ($p=0.9281$ y $p=0.6996$, respectivamente).

La calidad de planta grande mostró una mayor concentración de K en relación con la calidad de planta chica.

6.10.3.2 Diferencias a través del tiempo

Al comparar el potasio a través del tiempo se tuvieron diferencias significativas por la interacción calidad de planta-tiempo para los cinco tratamientos ($p=0.0001$): C, MaB, MaA, MyA, MyB. (Figura 32).

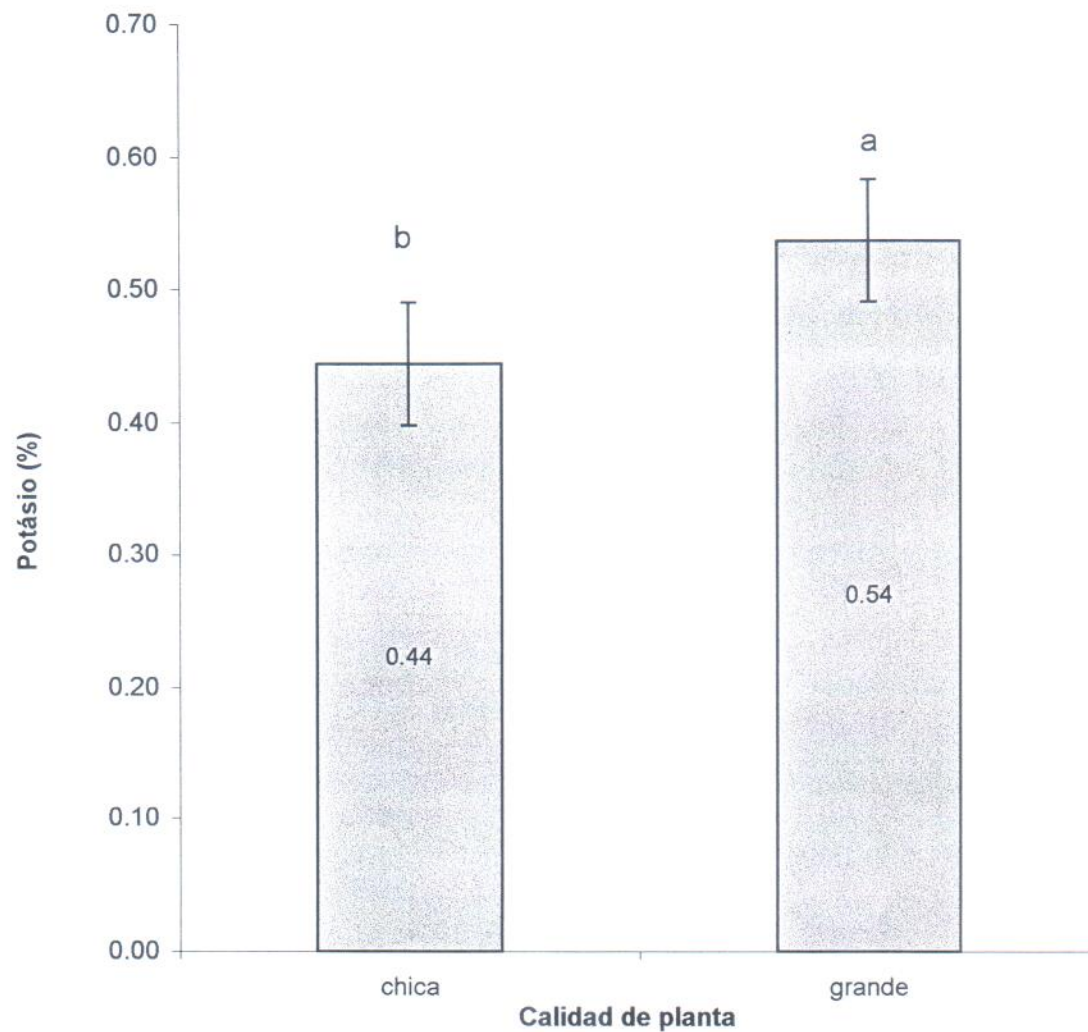
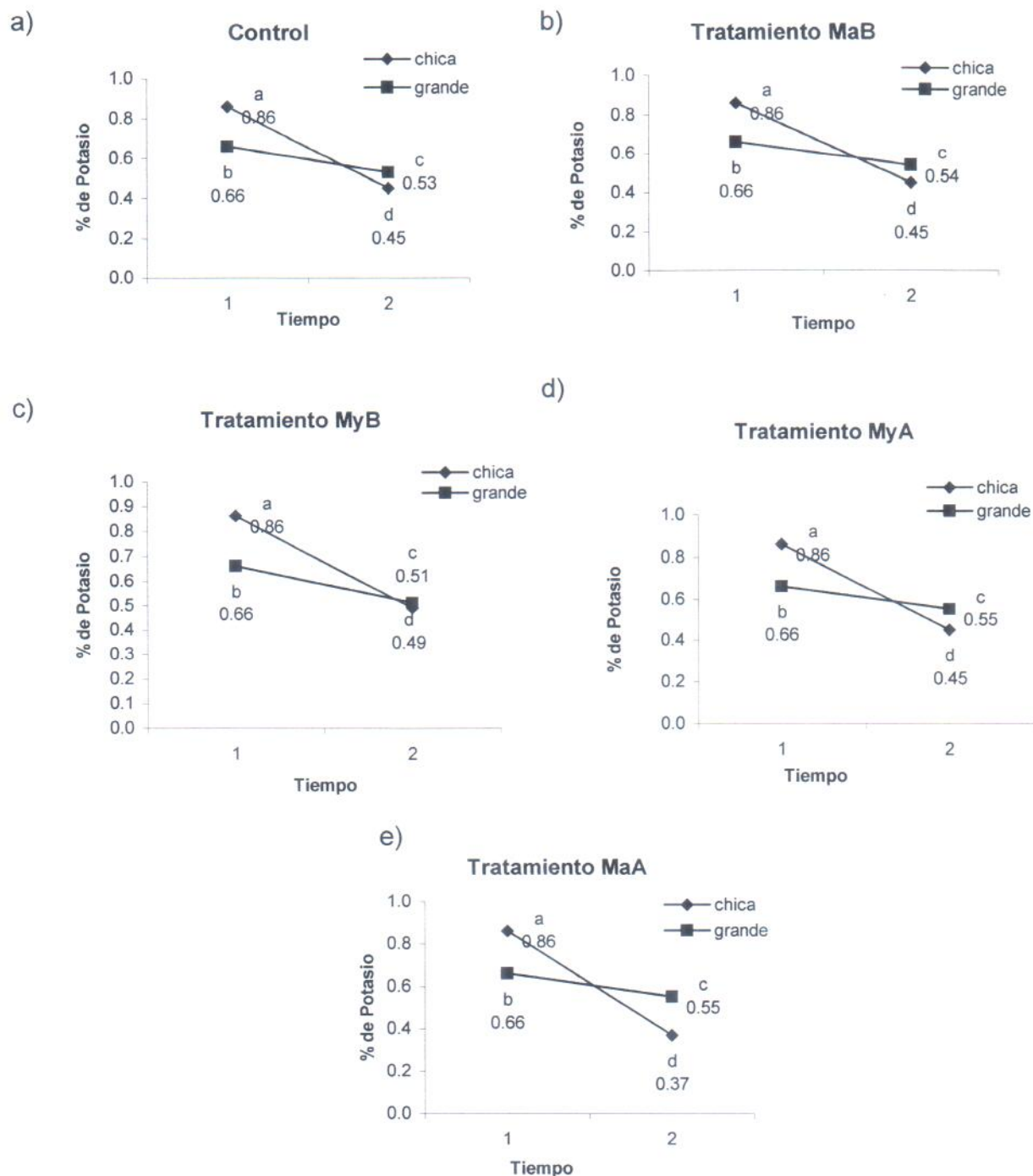


Figura 31. Porcentaje de potasio por calidad de planta, a seis meses de establecida la plantación. Las barras de error representan el error estandar; letras distintas en las barras indican diferencias estadísticamente significativas, acorde con la prueba de Tukey.



Tiempo: 1=Antes de la plantación; 2=Seis meses después de la plantación.

Figura 32. Diferencia en el porcentaje del contenido de potasio total a través del tiempo por la interacción calidad de planta-tiempo en los tratamientos: a) Control, b) MaB, c) MyB, d) MyA. e) MaA.

Al igual que con los otros nutrientes se apreció una reducción en la concentración de K en el control y del resto de tratamientos. La principal tendencia observada fue que al inicio la planta chica tuvo una mayor concentración de K, pero seis meses después fue superada por la planta grande. Sin embargo, en ningún caso parece haber niveles menores al control, por lo que el fuego aplicado a las intensidades y en las épocas estudiadas parece no afectar la concentración de este nutriente. No obstante cabe señalar que en los sitios quemados a mayor intensidad, particularmente en mayo, se observó cualitativamente una mayor erosión, que implica también salida de nutrientes.

8. CONCLUSIONES

Después de seis meses de establecida la plantación la supervivencia se vio disminuida en los tratamientos de mayo, indistintamente de la intensidad de la quema. Se tuvo una supervivencia mayor tanto en el control como en la quema prescritas del mes de marzo.

La planta de mayor diámetro (≥ 8 mm) puede alcanzar más pronto el diámetro mínimo para dejar el estado cespitoso e iniciar el crecimiento en altura.

La tasa relativa de crecimiento de la raíz principal fue mayor en el control que en las áreas quemadas, lo que puede deberse a la menor disponibilidad de nutrientes en tal condición.

En general, la planta grande tendió a crecer más que la chica.

La única diferencia que se halló para la concentración de N fue la planta chica en el tratamiento de un incendio confinado en marzo, con valores superiores a los de la misma calidad de planta, en los tratamientos de baja intensidad (mayo), incendio confinado (marzo y mayo) y el control

En el caso de P foliar, en ningún tratamiento de quema se tuvieron concentraciones menores al control. Así mismo, la planta chica en el control y los tratamientos de marzo exhibió mayores concentraciones de este elemento, en comparación con la planta grande.

Al inicio del experimento la concentración de K fue mayor a la planta grande, continuando con la misma tendencia al término del experimento.

En el testigo, la concentración foliar de los nutrientes estudiados se redujo hacia el invierno, en comparación con los niveles iniciales (verano),

los que denotan reducciones cuando la planta está relativamente inactiva. La concentración de nutrientes es afectada por la época del año.

Es necesario destacar que la investigación obtuvo datos preliminares en relación a las respuestas que tienen los brinzales de *Pinus hartwegii* en áreas quemadas, sin embargo, el continuar con la obtención de datos después de una o varias etapas de crecimiento aumentara la información en el comportamiento y desarrollo *Pinus hartwegii*.

9. LITERATURA CITADA

- AGEE K., J. 1993 Fire Ecology of Pacific Northwest forest. Ed. Island Press, Washington ,D.C. 496 p.
- AGUIRRE B., C. 1978. Efecto del fuego en algunas características y propiedades de suelos forestales. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 270 p.
- ALVAREZ C., M. L., y Z. N. BAUTISTA. 1999. Análisis de la calidad de brinzalez de *Pinus durangensis* Martínez y *Pinus engelmannii* Carriere, a través de su producción en tres tipos de envases. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo.
- ARANDA A., J. 1980. Los mamíferos de la Sierra del Ajusco. Comisión Coordinadora para el desarrollo agropecuario. México, Distrito Federal. 145 p.
- BECERRA L., F. 1992. Consideraciones sobre el estado cespitoso y la emisión de brotes en *Pinus montezumae* Lamb. Resumen Seminario. Programa Forestal, C. P. Montecillo, Edo. De México. 1 p.
- BENÍTEZ B., G. 1986. Árboles y flores del Ajusco. Instituto de Ecología, Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. México, Distrito .Federal. 183 p.
- BENÍTEZ B., G. 1987. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. De la Sierra del Ajusco. Aportes de Ecología urbana de la Ciudad de México.

Editorial Limusa. Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México. D.D.F. 111-151 pp.

BINKLEY, D. 1993. Nutrición Forestal. Prácticas de manejo. Limusa. México. D. F. 340 p.

BRAIS S., P. DAVID. and R. OUIOMET. 2000. Impacts of wild FIRE severity and salvage harvesting on the nutrient balance of jack pine and black spruce boreal stands. *Forest Ecology and Management*. 137:231-243.

CABALLERO D., M. 1999. Micorrización y Poda aérea en la calidad de planta de *Pinus cembroides* Zucc; producida en vivero. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos Edo. Méx. 83 p.

CANO P., A. 1998. Tamaño y calidad de planta de *Pinus greggii* Engelm., en dos sistemas de producción en vivero. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Estado de México. 80 p.

CETINA A., V., V. A. GONZÁLEZ H. y M. ORTEGA D. 2002. Supervivencia y crecimiento en campo de *Pinus greggii* Engelm. previamente sometido a podas o sequía en vivero. *Agrociencia*. 36:233-241.

CHANDLER G., P. CHENEY., P. THOMAS., and L. TRABAUD. 1983. Fire in Forestry "Forest fire behavior and effects". Vol. 1. A Wiley-Interscience publication. John Wiley & Sons. New York. 450 p.

- CHRISTENSEN N., L. 1977. Fire and soil-plant nutrient relations in a pine-wiregrass savanna on the coastal plain of North Carolina. *Oecologia* 31:27-44.
- CHRISTENSEN N., L. 1993. The effects of fire on nutrient cycles in Longleaf Pine ecosystems. Proceeding of the tall timbers fire ecology conference N° 18. Tallahassee, Fl. 205-213 pp.
- CONFORA. 2001. Manual del Curso de especialización en plantaciones forestales comerciales. Consultoría Forestal y Agropecuaria S. A. De C. V. (CONFORA) México 344p.
- CUEVAS R., A. R. 1995. Viveros forestales. Instituto Nacional de investigaciones Forestales y Agropecuarias. Publicación especial N°3. Coyoacan, Méx. 24 p.
- DEBANO L., F. NEARY D. G. and F. FFOLLIOTT P. 1998. Fire's effects on ecosystems. John Wiley & sons, Inc. New York. 333 p.
- DEARING O., C. and C., LARSON B. 1990. Forest Stan Dynamics. McGraw-Hill, Inc. United States. 469 p.
- DURYEA M., L. (ed.).1985. Proceedings: Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major test. Workshop held. October 16-18, 1984. Forest Research Laboratory, Oregon State University, Corvallis.
- EGUILUZ P., T. 1985. Descripción botánica de los Pinos Mexicanos, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo, México.

- ETCHEVERS D. 1998. Interpretación de los análisis químicos del suelo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo México.
- EVANS J. 1996. Plantation forestry in the tropics. Clarendon Press, Oxford. 472 p.
- FLORES G., J. y J. BENAVIDES S., 1993. Las quemas prescritas una alternativa en el manejo integral forestal. Folleto técnico N°3 . SARH, INIFAP. Guadalajara Jalisco.
- FLORES G., J. y J. BENAVIDES S., 1995. Efecto de la quemas prescritas sobre algunas características del suelo en un rodal de pino. Ciencia Forestal de México. vol. 20 N° 77.
- FULLER M. 1991. Forest fire "An introduction to wildland fire behavior, management, fire fighting and prescription. Wiley. United States of America. 238 p.
- HAROLD W., Jr HOCKER. 1984. Introducción a la biología forestal. Edit. AGT. 446 p.
- GARCIA G., E., V ANDREU. and J. L. RUBIO. 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations in soil a result of fire and water erosion in Mediterranean landscape. European Journal of Soil Science, 51:201-210.
- GUZMAN G., G. 1999. Evaluación de riesgo de degradación en el Ajusco. Tesis de Licenciatura. Depto de Agroecología. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México 78 p.

- GONZÁLEZ R., A. 2001. Efecto del Chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapíngo. Chapíngo, Méx, 98 p.
- GRANADOS S., D., G. LÓPEZ R., 2000. Sucesión ecológica "Dinámica del ecosistema". Universidad Autónoma Chapíngo. 197 p.
- KOZLOWSK T., T. 1974. Fire and ecosystems. Department of forestry University of Wisconsin . Madison, Wisconsin. 542 p.
- LANDIS D., T., R. TINUS W., S. McDONALD E., J. BARNETT P. *et al.* 1995 The container tree nursery manual " Nursery planning, development, and management. V. 1: 5-25. United States Department of Agriculture. Forest Service. Agriculture Handbook 674.
- LITTELL R., C. *et al.* 1999. SAS System for Mixed Models. SASI. Cary. 633p.
- LÓPEZ R., F. G. 1993. Ecología de la dispersión. Apoyo académico N° 19. Dirección de difusión cultural. Universidad Autónoma Chapíngo. Chapíngo, México.
- MARTÍNEZ M. 1992. Los Pinos Mexicanos. Tercera edición. Ediciones Bota. México D.F. 365 p.
- MARTÍNEZ H., C. Sinecología del fuego en el sotobosque de *Pinus hartwegii*. Tesis M.C. Programa forestal. División de Ciencias

Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Estado de México. (en revisión)

MATTSSON A. 1997. Predicting field performance using seedling quality assessment. *New Forests*. 13(1-3): 227-252.

MORRIS L., A., MOSS S., A. and GARBETT W. S. 1993. Competitive interference between selected herbaceous and woody plants and *Pinus taeda* L. during two growing season following planting. *Forest Science* 30:166-187.

MUSÁLEM S., M. A. y SOLÍS P., M. 2000. Monografía de *Pinus hatwegii* . SAGAR. INIFAP. CIRCE Campo Experimental del Valle de México. Libro técnico N° 3, Chapingo, Estado de México. 96 p.

MYERS R., L. 1992. Sub and high pine. In: Myers R. L. and Ewe I. J. J. (eds.). *Ecosystems of Florida*. University of Central Florida Press. Orlando, Florida. 150-193 pp.

NIETO P., C. 1995. Catalogo de la flora útil de la Sierra del Ajusco. Secretaría y Recursos Hidráulicos. Folleto técnico N° 12. México, D.F. 17 p.

NYLAND R., D. 1996. *Silviculture "Concepts and applications*. McGraw-Hill. 635 p.

ORME M., L and TEEGE T., A. 1976. Emergence and survival of redstem (*Ceanthus sanguineus*) following prescribed burning. *Proc. Tall Timbers Fire Ecol. Conf.* 14:391-420.

- PATIÑO V., F. y MARIN C., J. 1993. Viveros forestales, plantación, establecimiento y producción de planta. INIFAP, SARH. Centro de Investigación Regional del Sureste. Mérida Yucatán Méx.
- PERRY P., J. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber press, Portland, Oregon. 231 p.
- PINEDA O., T. y Olivas G. J. 2000. Análisis de la calidad de brinzales de *Pinus greggii* Engelm y *Pinus patula* Schl et Cham. Producidas en tres tamaños de envases rígidos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. 110 p.
- PRIETO R., J. VERA C., G., MERLÍN B., E. 1999. Factores que influyen en la calidad de brinzalez y criterios para su evaluación en el vivero. Inifap, SAGAR. Durango, Dgo. México. Folleto técnico N° 12. 23 p
- PYNE J., S., P. ANDREWS L., R. LAVEN D. 1996. Introduction to Wildland Fire. Second edition. John Wiley & Sons, Inc. New York, 769 p.
- RZEDOWSKI J., RZEDOWSKI G., G. 1979. Flora Fanerogámica del Valle de México. vol. 1 C.E.C.S.A. México. 403 p.
- ROBBINS E., L. y MYERS L., R. 1992. Seasonal effects of prescribed burning in Florida: A review. Tall Timbers research, Inc., Miscellaneous publication N° 8. Tallahassee, Florida 96 p.

- RODRÍGUEZ. T., D. A. 2003. Com. pos profesor-investigador. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo.
- RODRÍGUEZ. T., D. A., DURYEA M., L. 2003. Indicadores de calidad de planta en *Pinus palustris* Mill. Agrociencia. 37:1-9.
- RODRÍGUEZ. T., D. A., L. DURYEA M., I. WHITE T., J. English R. 2003. Artificially regeneration longleaf pine in conopy grups: initial survive and growth a year of drought. Forest Ecology and Management 180 (1-3):25-36.
- RODRÍGUEZ. T., D. A. 2002. Fertilización nitrogenada y concentración de carbohidratos en plántulas de *Pinus palustris* Mill. Producidas a raíz desnuda. Agrociencia. 36: 683-691.
- RODRÍGUEZ. T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Edit Mundi Prensa México. México. D.F. 630 p.
- ROMANYA J. CASALS P., R. VALLEJO V. 2001. Short-term effect of fire on soil nitrogen availability in Mediterranean grasslands and shrublands growing in old fields. Fores Ecology and Management 147:39-53.
- ROSE R. 1992. Root growth potential and starch differences in seedlings of six families of genetically improved Loblolly Pine. Forest Science. 38(2):448-456.
- SANCHEZ S., O. 1980. La flora del Valle de México. Edit. Herrero, S.A. 519 p.

- SANTIAGO T., O. 2002. Evaluación del crecimiento en viveros de plantulas de cinco especies de coníferas producidas en tres mezclas de sustratos y tres tamaños de contenedor. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapíngo. Chapíngo, Méx, 240 p.
- SARH 1987. Estudio de las subcuencas del Distrito Federal (memoria). México. Distrito Federal.
- SARUKÁN K., J. y M. FRANCO B., 1981. Un modelo de simulación de la productividad forestal en un bosque de pino. SARH, SFF. Serie Premio Nacional Forestal.
- SAWAMOTO T. *et al.* 2000. Soil respiration in Siberian Taiga Ecosystems with different histories of forest fire. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46(1). 31-42.
- SEGURA R. O., J. GARCÍA R., L. 2000. Evaluación de algunas variables morfológicas y fisiológicas para determinar la calidad de brinzales de *Pinus pseudostrobus* Lindl y *Pinus leiophylla* Schl et Cham, producidos en tres tamaños de envases rígidos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapíngo. 102 p.
- SIERRA P., A., VAZQUEZ S. J., A. RODRÍGUEZ T. 1995. La autoecología del *Pinus radiata* en la Cuenca de México. *Ciencia Forestal en México.* 16(69): 107-123.
- SMITH D., M. 1986. The Practice of Silviculture. Eighth edition. John Wiley & Sons. New York. 528 p.