



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**“Evaluación del uso de plantas nodriza en una plantación
de *Pinus hartwegii* Lindl.”**

TESIS

Como requisito parcial para obtener el grado
de Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

Presenta:

ALBERTO RAMIREZ CONTRERAS



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

Chapingo, Texcoco, Edo. de México, Octubre de 2006.



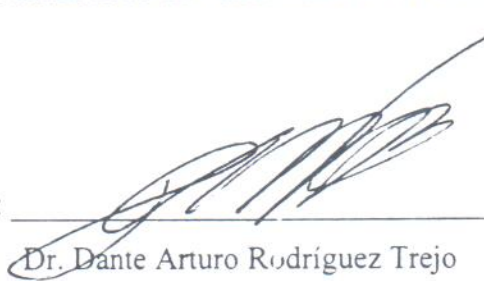
BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

EVALUACIÓN DEL USO DE PLANTAS NODRIZA EN UNA PLANTACIÓN DE
***Pinus hartwegii* Lindl.**

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____


Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ASESOR: _____


Dr. Diodoro Granados Sánchez

ASESOR: _____


M. C. Alejandro Corona Ambriz

Chapingo, Texcoco, Edo. de México, Octubre de 2006

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por apoyo otorgado durante los estudios de Maestría y la realización de esta investigación.

A CORENADER, por el apoyo de la planta con la que se realizó esta investigación.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo por la dirección de la presente tesis, así como el tiempo y apoyo brindados durante la investigación. Así como sus valiosas aportaciones realizadas a este trabajo.

Al Dr. Diodoro Granados Sánchez, por contribuir como asesor en esta investigación.

Al M.C. Alejandro Corona Ambríz, por sus valiosas aportaciones y sugerencias realizadas a la presente investigación.

Al Dr. Baldemar Arteaga Martínez, por sus valiosas observaciones, las cuales fueron muy oportunas.

Al Señor Gerardo Mendoza, por su apoyo en la plantación y levantamiento de datos de la presente investigación.

A la comunidad de San Miguel y Santo Tomás Ajusco, lugar donde se estableció la investigación.

A todos mis amigos que de alguna forma aportaron algo para este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Sr. Jaime Ramírez y Sra. Paula Contreras,
Por el apoyo brindado y
Sus valiosos consejos.

GABY

Por el apoyo brindado durante los momentos difíciles
Y por compartir los momentos de alegría.

A todas las personas y amigos por la amistad que
mantuvimos durante la estancia en los estudios de
Postgrado y elaboración de esta investigación.

DATOS BIOGRAFICOS

El autor de la presente tesis, nació en el 07 de Agosto de 1980, en El Ejido de Santa María Nativitas, Jiquipilco, Estado de México. En el periodo de 1986-1992 curso la primaria en la Escuela “General Pedro Maria Anaya”, en Santa María Nativitas, Jiquipilco, Edo. Méx. De 1992 a 1995 realizó sus estudios de secundaria en la escuela secundaria oficial No. 257 “Xicotencatl”, de la localidad de Santa María Santa María Nativitas, Jiquipilco, Edo. Méx. En ese mismo año ingresa a la preparatoria Oficial No. 71 de Jiquipilco, Edo. De México. En 1998 ingresa a la Universidad Autónoma Chapingo, para realizar un año de propedéutico y posteriormente la especialidad de Ingeniero en Restauración Forestal, egresando en el año de 2003. En Enero de 2004 inicia con sus estudios de posgrado en la Universidad Autónoma Chapingo, en el programa de Ciencias Forestales.

RESUMEN

En el Ajusco, D.F., México fueron plantados árboles de *Pinus hartwegii* Lindl., en cinco tratamientos: **a)** NE de *Lupinus montanus*, **b)** NE de *Penstemon gentianoides*, **c)** junto a *Festuca tolucensis* sin chaponeo, **d)** junto a *Festuca tolucensis* con chaponeo, y **e)** pequeños claros naturales (PCR). Lo anterior para evaluar su supervivencia, crecimiento, radiación fotosintéticamente activa y concentración de nutrientes a los seis y doce meses de establecida la plantación. La mortalidad fue analizada mediante regresión logística, mientras que las variables morfológicas y fisiológicas fueron evaluadas mediante el análisis de varianza multivariado. Asimismo, para determinar la relación entre variables se realizó análisis de regresión lineal multivariada. La mortalidad fue superior en el tratamiento *Lupinus* ($p<0.05$) respecto al tratamiento PCR; igualmente en los tratamientos zacatón y chaponeo la mortalidad fue superior ($p<0.10$) respecto al PCR. Para las variables biomasa total, diámetro y altura solamente se presentaron diferencias a los doce meses, siendo superior el tratamiento chaponeo ($p<0.05$) del tratamiento PCR. Para estas variables, la única donde hubo diferencias en el ANOVA fue la altura, siendo superior en los tratamientos *Penstemon*, *Lupinus* y chaponeo ($p<0.10$) con respecto al PCR. En el caso de las variables N, P, K y RFA, a los seis meses, únicamente el tratamiento chaponeo fue superior ($p<0.05$) al tratamiento *Lupinus*. Pero a los doce meses el tratamiento *Lupinus* fue superior ($p<0.05$) a los tratamientos PCR y zacatón. En el meses el tratamiento *Lupinus* fue superior ($p<0.05$), a los tratamientos PCR y zacaton. En el ANOVA, la concentración foliar de P ($p<0.05$) y K ($p<0.10$) fueron superiores únicamente a los doce meses en los tratamientos *Lupinus* y chaponeo respecto al tratamiento PCR. La RFA fue superior en el tratamiento PCR ($p<0.05$) al tratamiento *Penstemon* a los seis y doce meses. Con base en la regresión lineal multivariada, la RFA influye en la biomasa total y el diámetro ($p<0.10$) en los tratamientos *Penstemon*, *Lupinus* y RFA.

Palabras clave: Nodriz, *Pinus hartwegii*, *Lupinus montanus*, *Penstemon gentianoides*, nutrientes, radiación fotosintéticamente activa.

ABSTRACT

On the Ajusco volcano, south of Mexico City, *Pinus hartwegii* trees were planted, using five treatments: a) NE of *Lupinus montanus* shrubs, b) NE of *Penstemon gentianoides* shrubs, c) next to natural *Festuca tolucensis* grasses, d) in spaces where *Festuca tolucensis* was cleared away, and e) in small natural gaps among the grasses (PCR). Mortality, growth, photosynthetically active radiation, and foliar nutrient concentration were evaluated 6 and 12 months after tree-planting. Mortality was analyzed using logistic regression, while morphological and physiological variables were analyzed with multivariate variance analysis. In order to determine the relationship among variables, multivariate lineal regression was employed also. Mortality was higher in the *Lupinus* treatment in comparison to the PCR treatment ($p < 0.05$); the same occurred for treatments with *Festuca* (c) and without *Festuca* (d) in comparison to PCR ($p < 0.10$). Regarding total biomass, diameter and height, differences were only found after 12 months. The treatment without *Festuca* (d) was superior to PCR ($p < 0.05$). Differences in height, which was greater in the *Penstemon* and *Lupinus* treatments and the treatment without *Festuca* (d) ($p < 0.10$), were only found when compared to the PCR treatment. In relation to the N, P, K and PAR variables, only the treatment without *Festuca* (d) was superior to the *Lupinus* treatment after six months. After 12 months, the *Lupinus* treatment was superior ($p < 0.05$) to the PCR treatment and the treatment with *Festuca* (c). Regarding foliar nutrient concentration, the ANOVA for P ($p < 0.05$) and K ($p < 0.10$) were superior after 12 months for the *Lupinus* treatment and the treatment without *Festuca* (d) when compared to PCR. The PAR was greater in the PCR ($p < 0.05$) treatment in comparison to the *Penstemon* treatment after 6 and 12 months. Lineal multivariate regression showed that PAR influences the total biomass and the tree-diameter ($p < 0.10$) in the *Penstemon*, *Lupinus* and PCR treatments.

Key words: Nurse plants, *Pinus hartwegii*, *Lupinus montanus*, *Penstemon gentianoides*, nutrients, photosynthetically active radiation

INDICE

Pág.

I. AGRADECIMIENTOS	i
II. DEDICATORIA.....	ii
III. DATOS BIOGRAFICOS.....	iii
IV. RESUMEN	iv
V. ABSTRACT	v
VI. INDICE.....	vi
VII. LISTA DE TABLAS	ix
VIII. LISTA DE FIGURAS.....	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	3
3. HIPÓTESIS	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
4.1 Planta nodriza	5
4.2. Competencia	12
4.3. Nutrientes	15
4.3.1. Nitrógeno (N).....	17
4.3.2. Fósforo (P)	19
4.3.3. Potasio (K)	21
4.4. <i>Lupinus</i>	23
4.5. Temperatura.....	25
4.6. Radiación fotosintéticamente activa (RFA)	26
4.7. Fotografías hemisféricas.....	28
5. MATERIALES Y MÉTODOS	30
5.1.1. Localización	30
5.1.3 Orografía	30
5.1.2. Topografía	30
5.1.3. Geología	31
5.1.4. Suelos	31
5.1.5. Hidrología	31
5.1.6. Clima	32
5.1.7. Vegetación.....	32
5.1.8. Fauna	33
5.2. Establecimiento del Experimento	33
5.2.1 Obtención de brinzales.	33
5.2.2 Plantación.....	34
5.2.3. Análisis inicial de los brinzales	34
5.2.3.1. Parte aérea	34
5.2.3.2. Parte Subterránea.....	35

5.2.3.3. Biomasa.....	35
5.2.4 Medición de variables a los seis meses y doce meses de establecida la plantación	35
5.2.4.1 Laboratorio	35
5.3.4.2. Concentración de nutrientes en el follaje.....	35
5.3.5. Campo	36
5.3.5.1 Supervivencia	36
5.3.6. Radiación fotosintéticamente activa.....	36
5.4. Diseño experimental y análisis de datos	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1. MORTALIDAD	40
6.2. DIÁMETRO, ALTURA Y BIOMASA TOTAL.....	43
6.2.1. Temporada de sequía (marzo)	43
6.2.2. Temporada de lluvias (septiembre)	44
6.2.3. Diámetro.....	46
6.2.4. Altura	47
6.2.5. Biomasa total.....	49
6.3. NUTRIENTES (N, P, K) Y RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA	51
6.3.1. Temporada de sequía (marzo)	51
6.3.2. Temporada de lluvias (Septiembre).....	53
6.3.3. Nitrógeno.....	56
6.3.4. Fósforo	58
6.3.5. Potasio.....	60
6.3.6. Radiación fotosintéticamente activa.....	62
6.4. REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIADA	64
6.4.1. Árboles plantados al NE de los arbustos de <i>Penstemon gentianoides</i>	64
6.4.1.1. Marzo.....	64
6.4.1.1.1. Fósforo y potasio como función de radiación fotosintéticamente activa	64
6.4.1.1.2. Diámetro, biomasa total y potasio como función de radiación fotosintéticamente activa	66
6.4.1.2. Septiembre.....	68
6.4.1.2.1. Diámetro y biomasa total como función del potasio.....	68
6.4.1.2.2. Nitrógeno y potasio como función de la biomasa total.....	70
6.4.2. Árboles plantados al NE de los arbustos <i>Lupinus montanus</i>	71
6.4.2.1. Marzo.....	71
6.4.2.1.1. Altura, biomasa total y potasio como función de la radiación fotosintéticamente activa.	72
6.4.2.1.2. Diámetro y altura como función del potasio.....	73
6.4.2.2. Septiembre.....	75

6.4.2.2.1. Diámetro y biomasa total como función de la radiación fotosintéticamente activa.....	76
6.4.2.2.2. Altura y diámetro como función del fósforo.....	77
6.4.2.2.3. Altura, diámetro y biomasa total como función del potasio	78
6.4.3. Pequeños claros naturales (PCR)	80
6.4.3.1. Marzo.....	80
6.4.3.1.1. Diámetro y biomasa total como función del nitrógeno.....	81
6.4.3.1.3. Diámetro y biomasa total como función del potasio.....	83
6.4.3.2. Septiembre.....	84
6.4.3.2.1. Diámetro y biomasa total como función del fósforo.....	85
6.4.3.2.2. Altura, diámetro y biomasa total como función del potasio	86
6.4.3.2.3. Diámetro y nitrógeno como función de la biomasa total	88
6.4.4. ZACATÓN.....	89
6.4.4.1. Marzo.....	89
6.4.4.1.1. Altura y biomasa total como función del potasio.....	90
6.4.4.1.2. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la radiación fotosintéticamente activa .	91
6.4.4.2. Septiembre.....	93
6.4.4.2.1. Diámetro y biomasa total como función del nitrógeno.....	93
6.4.4.2.2. Diámetro y biomasa total como función del potasio.....	95
6.4.4.2.3. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la biomasa total	96
6.4.5. CHAPONEO	97
6.4.5.1. Marzo.....	97
6.4.5.1.1. Diámetro, biomasa total y fósforo como función de la radiación fotosintéticamente activa.....	98
6.4.5.2. Septiembre.....	99
6.4.5.2.1. Altura, biomasa Total como función de la radiación fotosintéticamente activa	100
6.4.5.2.2. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la biomasa total	101
7. CONCLUSIONES.....	103
9 LITERATURA CITADA	106

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Cuadro 1. Concentración de nutrientes en diferentes partes de brinzales de pinos.	15
Cuadro 2. Concentraciones de nutrientes en diferentes coníferas.	16
Cuadro 3. Concentraciones deficitarias de macronutrientes en brinzales de <i>Eucalyptus maculata</i> HOOK., (Dell y Robinson, 1993).	17
Cuadro 4. Valores de la regresión logística cuando x es dicotómica.	37
Cuadro 5. Comparación de la mortalidad entre tratamientos de los brinzales de <i>Pinus hartwegii</i>	40
Cuadro 6. Probabilidad de mortandad de brinzales de <i>Pinus hartwegii</i> en la comparación de los tratamientos de <i>Lupinus</i> , PCR, zacaton y chaponeo, respecto al tratamiento <i>Penstemon</i>	41
Cuadro 7. MANOVA para las variables diámetro, altura y biomasa total para la temporada de sequía.	43
Cuadro 8. MANOVA para las variables diámetro, altura y biomasa total para la temporada de lluvias.	44
Cuadro 9. MANOVA para las variables nitrógeno, fósforo, potasio y radiación fotosintéticamente activa para la temporada de sequía.	51
Cuadro 10. MANOVA para las variables nitrógeno, fósforo, potasio y radiación fotosintéticamente activa para la temporada de lluvias.	53
Cuadro. 11. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de <i>Penstemon gentianoides</i> , en la temporada de sequía.	64
Cuadro 12. Regresión multivariada para $P \ K = RFA$. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.	65
Cuadro 13. Regresión multivariada para diámetro, biomasa total $K = RFA$. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.	67
Cuadro. 14. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de <i>Penstemon gentianoides</i> , en la temporada de lluvias.	68
Cuadro 15. Cuadro de Regresión multivariada para diámetro biomasa total K . MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K.	69
Cuadro 16. Regresión multivariada para $N \ K = \text{biomasa total}$. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total.	70
Cuadro. 17. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de <i>Lupinus montanus</i> , en la temporada de sequía.	72
Cuadro 18. Regresión multivariada para altura biomasa total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.	72
Cuadro 19. Regresión multivariada para Diámetro altura = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K.	74
Cuadro. 20. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de <i>Lupinus montanus</i> , en la temporada de lluvias.	75
Cuadro 21. Regresión multivariada para Diámetro Biomasa Total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.	76
Cuadro 22. Regresión lineal multivariada para altura diámetro = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del P.	78
Cuadro 23. Regresión lineal multivariada para altura diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K.	79
Cuadro 24. Matriz de correlaciones del tratamiento PCR en la temporada de sequía.	81
Cuadro 25. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = N. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de N.	82
Cuadro 26. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K.	83
Cuadro 27. Matriz de correlaciones del tratamiento PCR en la temporada de sequía.	85
Cuadro 28. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de P.	86
Cuadro 29. Regresión lineal multivariada para altura diámetro biomasa total = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K.	87

Cuadro 30. Regresión lineal multivariada para Diámetro N = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de biomasa total.....	88
Cuadro 31. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton en la temporada de sequia.	90
Cuadro 32. Regresión lineal multivariada para altura biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K.....	91
Cuadro 33. Regresión lineal multivariada para N P K = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.....	92
Cuadro 34. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton en la temporada de sequia.	93
Cuadro 35. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = N. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de N.....	94
Cuadro 36. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K.....	96
Cuadro 37. Regresión lineal multivariada para N P K = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total.....	97
Cuadro 38. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo en la temporada de sequia.....	98
Cuadro 39. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total P = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA	98
Cuadro 40. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo en la temporada de lluvias.	100
Cuadro 41. Regresión lineal multivariada para altura y biomasa total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA	100
Cuadro 42. Regresión lineal multivariada para N P K = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total.....	102

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Figura de comparación multivariada de medias para las variables diámetro, altura y biomasa total de la temporada de sequía.....	44
Figura 2. Comparación multivariada de medias para las variables diámetro, altura y biomasa total de la temporada de lluvias. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.....	45
Figura 3. Variable diámetro para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias)...	46
Figura 4. Variable altura para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).....	48
Figura 5. Variable biomasa total para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).....	50
Figura 6. Comparación multivariada de medias para las variables concentración foiliar de N, P, K en <i>Pinus harwegii</i> y RFA de la temporada de sequía. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.	52
Figura 7. Comparación multivariada de medias para las variables N, P, K y RFA de la temporada de lluvias. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos.	54
Figura 8. Variable Nitrógeno para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).	56
Figura 9. Variable Fósforo para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias)....	59
Figura 10. Variable Potasio para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias). ..	61
Figura 11. Figura de la variable Radiación fotosintéticamente activa para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).	63
Figura 12. Regresión lineal simple $K=RFA$	66
Figura 13. Regresión lineal simple $Biomasa\ total=K$	69
Figura 14. Regresión lineal simple $N=Biomasa\ total$	71
Figura 15. Regresión lineal simple $altura=RFA$	73
Figura 16. Regresión lineal simple $Diametro=K$ 6.4.2.2. Septiembre	74
6.4.2.2. Septiembre.....	75
Figura 17. Regresión lineal simple $diámetro = RFA$	77
Figura 18. Regresión lineal simple $altura=P$	78

Figura 19. Regresión lineal simple biomasa total = K	80
Figura 20. Regresión lineal simple biomasa total = N	82
Figura 21. Regresión lineal simple biomasa total=K	84
Figura 22. Regresión lineal biomasa total = P	86
Figura 23. Regresión lineal biomasa total = K	88
Figura 24. Regresión lineal diámetro = biomasa total	89
Figura 25. Regresión lineal biomasa total = K	91
Figura 26. Regresión lineal biomasa total = N	95
Figura 27. Regresión lineal Biomasa total = K	96
Figura 28. Regresión lineal simple biomasa total=RFA	99
Figura 29. Regresión lineal Diámetro = RFA	101

1. INTRODUCCIÓN

Generalmente los ecosistemas que más resienten los efectos de la población humana son todas aquellas que se localizan en la periferia de los asentamientos humanos, una de las principales consecuencias es la deforestación. Lund *et. al.* (2002), mencionan que para México el rango de estimaciones de deforestación es muy amplio a partir de los 70s y va desde 75 mil a casi dos millones de hectáreas por año, mientras que la FAO refiere una deforestación de 314 mil hectáreas anuales para el país de 2000 a 2005 (Hoare, 2005). En este caso los bosques del sur del D. F. han estado sometidos a diversas perturbaciones históricamente. Ante estas circunstancias se debe de recurrir a diferentes medidas tanto preventivas, defensivas como correctivas (Bonfil *et. al.*, 1997), una de ellas puede ser la estrategia del desarrollo de programas de reforestación.

En 1989, el gobierno del D. F. expropia las tierras del Ajusco, por ser de mucha importancia, pues es en estos lugares donde se recargan los mantos acuíferos que abastecen a la ciudad. Una parte del Ajusco había sido ocupada temporalmente por asentamientos humanos, los que originaron la apertura del bosque, por lo cual era importante la recuperación del ahora Parque ecológico de la ciudad de México (Bonfil *et al.*, 1997). Considerando lo anterior y con la finalidad de poder contribuir con la rehabilitación del lugar se han realizado diferentes investigaciones para cumplir con el objetivo de restauración del parque.

La estrategia de reforestación es una parte de los esfuerzos que se han realizado, para contribuir con la restauración del Ajusco y con la finalidad de aumentar la supervivencia en las plantaciones que se llevan a cabo en el lugar, es necesario estudiar diferentes técnicas que ayuden a tener mayor supervivencia en las plantaciones, una de ellas es utilizando plantas nodrizas.

Encontrar especies arbóreas para grandes altitudes es muy difícil, es por ello que la reforestación que se lleva a cabo en la Sierra del Ajusco con *Pinus hartwegii* Lindl., es de mucha importancia y el éxito de estas plantaciones depende de una elección adecuada de la procedencia, de la calidad de planta y de las técnicas que utilicen para reforestar. Una planta tendrá mejores expectativas para sobrevivir y crecer en sitios donde cuente con protección ante distintos factores, y donde esté sometida a menores temperaturas extremas, donde exista mayor humedad y cuente con más nutrimentos, por mencionar algunos factores.

2. OBJETIVOS

- Determinar si *Lupinus montanus* Kunth tiene influencia como planta nodriza en la supervivencia y crecimiento de *Pinus hartwegii*.
- Determinar si *Penstemon gentianoides* Kunth influyen como planta nodriza en la supervivencia y crecimiento de *Pinus hartwegii*.
- Analizar la competencia entre zacates y los brizales plantados de *Pinus hartwegii*.
- Estudiar si la labor de chaponeo beneficia a los *P. hartwegii* plantados.

3. HIPÓTESIS

Ho: Con el uso de plantas nodriza hay menor supervivencia y poco crecimiento de los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Ha: Con el uso de plantas nodriza hay mayor supervivencia y mayor crecimiento de los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Ho: Los árboles plantados junto a *Festuca tolucensis* HBK, presentan mayor supervivencia y más crecimiento.

Ha: Los árboles plantados junto a *Festuca tolucensis*, presentan menor supervivencia y poco crecimiento.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Planta nodriza

Se denomina plantas nodriza a aquellas plantas que dan protección a plántulas de otras especies en un ambiente hostil, mientras éstas crecen lo suficiente para enfrentar las condiciones del medio (Muller 1953; Niering *et. al.*, 1963; Steenbergh y Lowe 1969). La razón principal por la que se da este efecto nodriza es un mejoramiento en las relaciones hídricas de las plántulas (Holmgren *et. al.*, 1997). Además, bajo la sombra de una planta nodriza las temperaturas del aire y del suelo son más bajas, y el contenido del agua de las capas superficiales del suelo tienden a permanecer más altas (Joffre y Rambal 1988; Del Pozo *et. al.*, 1989). Por lo tanto, las plántulas experimentan menos estrés hídrico y térmico (Valiente-Banuet y Escurre, 1991; Aguiar y Sala, 1994).

Las interacciones de facilitación han sido demostradas en un extenso campo de ecosistemas. Pero la mayor cantidad de evidencias vienen de ecosistemas donde las plantas son expuestas a un severo estrés, por ejemplo el resultado de condiciones de calor y desecación. En tales situaciones el establecimiento de nuevas plantas es frecuentemente restringido a lugares sombríos, bajo el dosel de otras plantas llamadas “plantas nodriza” (Holmgren *et. al.* 1997).

La facilitación de las plantas nodrizas ha sido enfocada desde el punto de vista de conservación de algunas especies, el cual juega un papel importante en la estructura de las comunidades de plantas y de igual manera se promueve la biodiversidad (Callaway y walter, 1997; Hacker y Gaines, 1997; Tewksbury y Lloyd, 2001).

La identificación de mecanismos de facilitación puede proveer el manejo local de algunas especies que se encuentren amenazadas o que la viabilidad de la población se encuentre en peligro, frecuentemente esta conservación de especies se apoya en el uso de plantas nodrizas, que puedan mejorar el hábitat (Suzan *et. al.*, 1994; Tewksbury *et. al.*, 1999; García *et. al.*, 2000). Muchos estudios recientes han mostrado que las plantas pueden tener fuertes efectos positivos directos o indirectos y frecuentemente con especies específicas o hacia otras plantas (Hunter y Aarssen, 1988; Wilson y Agnew, 1992; Bertness y Callaway, 1994; Callaway, 1995, 1997, 1998a).

La ocurrencia común de interacciones positivas o facilitación, sugiere que las plantas no siempre se pueden distribuir independientemente unas de otras. Bertness y Callaway (1994), propusieron un modelo conceptual en el que la importancia relativa de las interacciones positivas de las comunidades de plantas se incrementa con el estrés abiótico y al mismo tiempo la importancia relativas de la competición disminuye (Brooker y Callaghan, 1998).

Las interacciones de facilitación entre plantas juegan un papel muy importante en todos los ecosistemas, principalmente en los lugares donde hay poca precipitación. En ecosistemas áridos la regeneración de plantas no ocurre en los espacios abiertos, sino que bajo la sombra de árboles o arbustos nodriza (Del Pozo *et. al.*, 1989). En escenarios estresantes la presencia de arbustos pioneros que modifican el hábitat puede mejorar la diversidad de especies por la provisión de un refugio para una amplia cantidad de especies (Hacker y Gaines, 1997; Stachowicz, 2001).

West y Klemmenson (1978), mencionan que la distribución vertical y horizontal de nutrientes del suelo está estrechamente relacionada con la distribución de la vegetación, composición y biomasa. En los desiertos los nutrientes están concentrados en parches o “islas de fertilidad” (García-Moya y McKell, 1970), denominados también mosaicos de acumulación de nitrógeno (Nishita y Haug, 1973; Charley y West, 1975) o de disponibilidad de nitrógeno (Tiedemann y Klemmenson, 1973). Este patrón espacial resulta de los árboles o arbustos que absorben nitrógeno a través de sus sistemas radicales y que son retornados al suelo cuando caen sus hojas.

Ovalle *et. al.*, (1993) han encontrado que los niveles de nitrógeno del suelo se aumentan significativamente con la presencia de leguminosas arbustivas leñosas (por ejemplo *Acacia caven* Mol.), que tienen asociaciones con bacterias fijadoras de nitrógeno. De igual manera Gutiérrez *et. al.*, (1993), mostraron que bajo la copa de *Porlieria chilensis* (VU), creciendo en el Parque Nacional Bosque de Fray Jorge (Chile), había seis veces más nitrógeno, tres veces más materia orgánica y dos veces más fósforo bajo los arbustos en comparación con los espacios sin vegetación.

El efecto nodriza proporcionado por los arbustos leñosos y cactáceas en zonas áridas y semiáridas no sólo está limitado a otorgar condiciones más favorables para la germinación y crecimiento de las plantas sino, que muchas veces también otorgan un refugio ocultando a las plantas de la acción de los herbívoros (Gutiérrez y Squeo, 2004). Un ejemplo clásico es el cacto saguaro (*Cereus gigagntea*) que crece en el Desierto de

Sonora, pues las plantas nodriza ocultan los cactus juveniles de la acción depredadora de los roedores (Niering *et. al.*, 1963; Steenbergh y Lowe, 1969).

La sequía ocasiona estrés y limita el crecimiento de plántulas que se establecen de manera natural y también a aquellas que han sido plantadas (Herrera *et. al.*, 1994; Rey y Alcántara, 2000; Castro *et. al.*, 2002). Bajo condiciones de sequía los brinzales pueden beneficiarse del hábitat que es mejorado por arbustos quienes amortiguan las altas temperatura y la radiación y pueden incrementar los nutrientes y la humedad del suelo (Callaway 1995).

Gómez-Aparicio *et. al.*, (2004), realizaron un estudio, para analizar diferentes especies de arbustos, los cuales podrían utilizarse como nodrizas, los arbustos que se utilizaron como nodrizas los dividieron en cuatro grupos, basados en sus características ecológicas y de arquitectura: a) leguminosas, b) pequeños arbustos, c) arbustos espinosos deciduos y d) rosas que crecen en rocas, además se clasificó por altitud, menor de 1,400 m. s. n. m. y mayor a 1,400 m. s. n. m., otra clasificación que se utilizó fue la de soleado (exposiciones sur) *versus* sombreado (exposiciones norte). Uno de los resultados principales que se obtuvieron fue que los arbustos utilizados como nodrizas aumentaron la supervivencia de las plántulas en un 75%, de igual manera el mayor crecimiento de las plántulas se presentó en la condición de sombra comparado con la condición soleada, en el caso de los grupos de nodrizas. Las leguminosas, fueron las que favorecieron mayormente al crecimiento de los brinzales, con respecto a los demás grupos de nodrizas.

Verdú *et. al.*, (2004), estudiaron el efecto de facilitación en dos especies de *Juniperus*, en las altas montañas del este de España en la cual *J. sabina* L., fue la planta nodriza para *J. communis* L. En los resultados observaron que la asociación de *J. communis* con la planta nodriza (*J. sabina*) redujo su crecimiento y su capacidad reproductora. En contraste, la asociación de *J. communis* no afectó la condición de vigor de la planta nodriza (*J. sabina*). Así mismo, Callaway (1992) realizó una investigación en California, con plantaciones experimentales de *Quercus douglassi* Hook, y obtuvo una supervivencia de 30 y 55 %. Los brinzales que sobrevivieron más de un año, fueron los que se encontraban bajo la copa de dos especies de arbustos (*Salvia leucophylla* Pt. Sal y *Artemisia californica* Less.), mientras que las que se encontraban plantadas en sitios abiertos no mostraron supervivencia.

Del Carmen *et. al.*, (1998), evaluaron la contribución relativa de la propagación sexual y clonal en *Opuntia rastrera* FAC, de dos habitats del desierto de Chihuahua. Observaron que la sombra de la planta nodriza incrementó más la supervivencia de las plántulas en campo una ventaja adicional de la protección de depredadores debido a los pastos. Así mismo la competición por los recursos del suelo puede ser más intensa en un pastizal denso que bajo el dosel de un arbusto.

Cabrera *et. al.* (1998), realizaron una investigación con *Quercus rugosa* Née en el Ajusco, en la cual evaluaron la supervivencia en cuatro ambientes caracterizados por el tipo de suelo y el vecindario arbóreo. Los tratamientos que evaluaron fueron rocoso sin cobertura vegetal, rocoso con cobertura vegetal, suelo con cobertura y suelo sin

cobertura. El tratamiento que mayor mortalidad presentó fue el rocoso sin cobertura vegetal.

Callaway *et. al.*, (1991), encontraron que la biomasa de herbáceas bajo el dosel de individuos de *Quercus douglasii* en sabanas de encino y bosques en California varía continuamente cuando están bajo el dosel y mantienen una biomasa mayor que cuando se encuentran cerca de pastizales. En otro estudio, Callaway *et. al.*, (1996) encontraron que *Pinus monophylla* Torr., excepcionalmente tolerante a la sequía, fue facilitado por *Artemisia tridentata* Nutt., pero *P. ponderosa* (Dougl.) una especie poco tolerante a la sequía, no pudo competir con *A. tridentata* (De Lucia *et. al.*, 1988)

Otros trabajos mencionan la importancia de plantar los brinzales bajo la protección de plantas nodrizas o troncos que les proporcionen sombra. Por ejemplo, Castro *et. al.*, (2002) estudiaron el uso de arbustos como plantas nodrizas con dos coníferas *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arnold. Estos fueron plantados en cuatro tratamientos: 1) dentro de la vegetación, 2) bajo individuos de *Salvia lavandulifolia* Vahl, 3) al lado norte de arbustos espinosos, 4) al lado sur de arbustos espinosos. Los resultados fueron una diferencia mayor cuando se plantaba debajo de los arbustos, y menor en las áreas abiertas. Así mismo la supervivencia también fue mayor cuando se plantaba al lado norte de los arbustos, que cuando se plantaba al lado sur de éstos. La supervivencia fue similar a la supervivencia de las áreas abiertas. Observaron también que el crecimiento de los pinos no era inhibido por los arbustos.

Ramírez-Marcial *et. al.*, (1996), señalan un efecto de facilitación de *Baccharis vaccinoides* hacia los encinos de Chiapas. Algunos arbustos del género *Baccharis* (Asteraceae), cuando se encuentra en densidades altas, pueden proporcionar condiciones adecuadas para que otras especies leñosas (por ejemplo de los géneros *Acacia*, *Acer*, *Quercus*, *Pinus* y otros) se establezcan y continúen su desarrollo de matorrales a bosques (Van Auken y Bush, 1991).

Los arbustos y árboles con raíces pivotantes que alcanzan capas freáticas pueden también facilitar la presencia de otras plantas a través del levantamiento hídrico. El fenómeno del levantamiento hídrico define el transporte de agua por las raíces desde estratos profundos y húmedos a estratos superficiales y secos del suelo donde se produce su almacenamiento (León y Squeo, 2003).

El efecto de la interacción entre plantas es medido solamente por algunos parámetros, usualmente se utiliza la diferencia de biomasa entre individuos (experimentos donde en algunos sitios se han removido las plantas vecinas, *versus* sitios intactos). Pero el tamaño de la planta o biomasa solo muestra el balance de la interacción, por ejemplo la suma directa o indirecta de todas las influencias positivas o negativas pueden cambiar de una manera no proporcional los gradientes de productividad (Callaway y Pugnaire, 1999). La dinámica natural de las diferencias de los efectos positivos y negativos (Greenlee y Callaway, 1996; Brooker y Callaghan, 1998) son considerados raramente.

Pugnaire y Luque, (2001) colectaron semilla de *Artemisia barrelieri* Besser, la cual se germinó y se transplantó en dos zonas; Bajo el dosel de *Retama sphaerocarpa* L. y en

áreas abiertas. Así mismo, investigaron cambios en la competición y facilitación por la leguminosa *Retama sphaerocarpa*, en un ambiente semiárido en el suroeste de España. Los resultados muestran que hay cambios en el balance de la interacción entre el arbusto y varias de las especies asociadas la cual se considera como positiva. En ambas zonas se encontró *Eryngium campestre* L., mientras que *Artemisia barrelieri* sólo se permaneció bajo el dosel de *Retama sphaerocarpa*.

Kellman y Kading, (1992) encontraron que la fuerza de la interacción de facilitación puede depender de la edad del benefactor. Las densidades de plántulas y brinzales de *Pinus strobus* L. y *P. resinosa* Solana., fueron seis veces mas grandes bajo el dosel de *Quercus rubra* L., con respecto a los que se encontraban en áreas abiertas. En este experimento se confirma el papel primario de la sombra en la facilitación sobre plántulas de pinos. Algunos experimentos sugieren que la facilitación positiva sólo actúa sobre árboles viejos de *Q. rubra*, porque en árboles jóvenes (aproximadamente 35 años) no mostraron algún establecimiento preferente bajo ellos. Similarmente, Pugnaire *et. al.*, (1996) reportan que la diversidad de plantas bajo el dosel de *Retama sphaerocarpa*, un arbusto dominante, se incrementa significativamente con la edad y tamaño del arbusto.

4.2. Competencia

La competencia es un tipo de relación la cual puede ser interespecífica (tiene lugar entre varios individuos de distintas especies, pero del mismo nivel trófico o de obtención de recursos, cuando existe una demanda activa de un recurso común que puede ser limitante) o intraespecífica (este tipo de competencia se presenta entre individuos de la

misma especie, quienes compiten por los mismos recursos). También puede establecerse la interacción de competencia entre dos poblaciones cuando escasean factores de tipo abiótico. Así, dos plantas podrán competir por la cantidad de agua que hay en el suelo. En este tipo de relación, todas las especies implicadas en la competencia pueden ser perjudicadas de algún modo, lo que se simboliza (-/-)¹. Los factores específicos por los que compiten las especies son principalmente nutricionales: luz, dióxido de carbono, nutrientes y agua (Bidwell 2002). Entre especies no siempre hay relaciones de competencia, por ello cuando una especie se beneficia al crecer junto a otra se denomina facilitación¹.

Las interacciones entre los organismos se encuentran dentro de un lugar de procesos complejos de factores bióticos y abióticos, generalmente sólo se estudian como fenómenos individuales. Las combinaciones complejas de las interacciones negativas y positivas se han identificado en varias comunidades de plantas (Callaway y Walter 1997).

En los estudios de interacción entre plantas frecuentemente sólo existen efectos negativos (competencia, alelopatía), es lo que generalmente se piensa (Rice 1979; Connell 1983). El número de estudios de facilitación entre plantas son escasos y muy recientes, algunos de estos estudios muestran que la interacción entre especies tiene como resultados efectos positivos y negativos (Berkowitz *et. al.* 1995; Holmgren *et. al.* 1997; Sans *et. al.* 1998).

¹ Wikipedia Enciclopedia Libre. Competencia.
http://es.wikipedia.org/wiki/Competencia_%28biolog%C3%ADa%29. 15/Octubre/2004

Por ejemplo, el dosel de una planta nodriza puede mejorar la permanencia por poco tiempo.

La mayoría de los estudios del fenómeno planta nodriza se ha limitado a demostrar los mecanismos particulares de la influencia en el establecimiento y supervivencia de plantas en un lugar y momento dado. El balance entre las interacciones biológicas puede variar en relación al estado de vida de las especies y su contexto ecológico. (Greenlee y Callaway 1996; Callaway 1998). Por ejemplo, Walker (1994) mostró que la germinación de *Cecropia schreberiana* Miq., era favorecida por la formación de manchones de helechos, considerando que el crecimiento del brinzal se reduce. Sin embargo, el efecto a largo plazo del dosel de planta nodriza (helechos) en los arbolillos de *C. schreberiana* permanecen por poco tiempo.

En varios estudios se ha demostrado el efecto de competencia por algún recurso limitante, en este caso el agua es indispensable para la supervivencia y crecimiento de las plantas. Franco y Nobel, (1986) mencionan que las plántulas pueden verse más afectadas en su crecimiento y desarrollo cuando se encuentran cerca de plantas de la misma especie, pero en este caso adultas. Una de las razones por las que el crecimiento de las plántulas es reducido, se debe a la competencia por el recurso limitante agua, pues cuando se remueven las plantas aledañas a las plántulas, el crecimiento y desarrollo de éstas es mayor.

Las especies leguminosas solo compiten cuando se encuentran junto a especies que tienen una tasa de crecimiento más rápida, y la competencia puede ser desventajosa para

la especie que compite con la leguminosa, cuando los recursos son limitantes (Thompson y Bolguer, 1993). El estudio clásico de Drew (1975) y el de Jackson *et. al.*, (1990) demostraron que el efecto de la localización del suministro de P hace que las raíces de especies de pasto proliferen en gran cantidad.

4.3. Nutrientes

Los requerimientos de nutrientes de una planta pueden ser definidos como la cantidad mínima de éstos que una planta puede absorber para alcanzar las condiciones morfológicas y fisiológicas adecuadas. Los requerimientos de nutrientes varían en los diferentes estados de desarrollo o crecimiento de las plantas (May, 1984).

El crecimiento de las plantas está relacionado con la concentración interna de nutrientes. La identificación de la concentración crítica de nutrientes, que es la concentración mínima requerida para estar cerca del rendimiento o crecimiento máximo, ha sido estudiada por muchos fisiólogos especialistas en nutrición vegetal (Barraclough y Leigh, 1993). Se muestra concentración de nutrientes en diferentes partes de los brinzales de pinos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Concentración de nutrientes en diferentes partes de brinzales de pinos.

Componente	Nutriente		
	N (%)	P (%)	K (%)
Acículas	1.50	0.18	0.60
Tallo	0.6	0.17	0.60
Raíz	---	0.15	0.50

Fuentes: May *et. al.*, 1962; Steinbeck *et. al.*, 1966.

Es difícil de determinar los niveles en los que puede haber deficiencia o exceso de macro o micronutrientes en follaje, tallo y raíz de un brinjal (May, 1984). Algunas concentraciones de macronutrientes se muestran en el (Cuadro 2).

Los macronutrientes se acumulan como iones libres en todos los órganos de las plantas cuando hay un aprovisionamiento abundante, pero los requerimientos del crecimiento generalmente se satisfacen antes de tener una concentración alta. Las concentraciones bajas al inicio son necesarias para asegurar el crecimiento máximo. Por ejemplo, en hojas de trigo se debe tener alrededor de 0.5 mM de nitrato y fosfato, y 130 mM de potasio (Barraclough, 1993).

Cuadro 2. Concentraciones de nutrientes en diferentes coníferas.

Especie	Nutriente		
	N (%)	P (%)	K (%)
<i>Pinus elliottii</i> Engelman.	0.98-2.16	0.12-0.43	0.23-1.75
<i>Pinus taeda</i> L.	--	0.09-0.25	0.28-0.98
<i>Pinus banksiana</i> Lamb.	1.82-2.38	0.17-0.22	0.63-1.75
<i>Pinus strobus</i>	1.65-1.97	0.15-0.26	0.56-1.39
<i>Picea rubens</i> Sarg.	1.32-2.05	0.16-0.21	0.67-0.80
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.)	1.28-2.00	0.14-0.35	0.50-1.00
Concentración óptima de coníferas	1.3-3.00	0.1-0.3	0.5-1.6
Concentración deficiente en coníferas	< 1.1	<0.09	<0.40

Fuentes: Armson y Sadreika, 1974; Landis, 1977; May *et. al.*, 1962; Steinbeck *et. al.*, 1966.

El contenido adecuado de nutrientes en las plantas se encuentra entre el 2 – 5% de N y K, y 0.2 - 0.5 % de P en materia seca de tejidos vegetales (Benton *et. al.*, 1991). La

mayor parte del N y del P se presenta como componentes orgánicos, mientras que todo el K^+ se encuentra en forma de iones K^+ (Barraclough, 1993).

Cuadro 3. Concentraciones deficitarias de macronutrientes en brinzales de *Eucalyptus maculata* HOOK., (Dell y Robinson, 1993).

Nutriente (Hoja mg (gr MS)⁻¹)	Deficiente	Marginal	Adecuado
N	10 - 12	-	17 - 26
P	-0.4 – 0.5	0.8	1 – 2.6
K	4	5 - 7	10 - 17

4.3.1. Nitrógeno (N)

El nitrógeno (N) es uno de los 17 elementos esenciales que son requeridos para el crecimiento de las plantas, es indispensable para todas las células vivas, para la síntesis de aminoácidos y forma parte de todas las proteínas, enzimas, ácidos nucleicos y procesos metabólicos involucrados en la síntesis y transferencia de energía. También forma parte de la clorofila y los pigmentos verdes, que son los responsables para que se lleve a cabo la fotosíntesis. Es indispensable para el crecimiento de las plantas, además de que ayuda a incrementar la producción de semillas y frutos, las plantas lo pueden absorber de la siguientes formas: NO_3^- y NH_4^{+2} .

Gardner y Boundy (1983) mencionan que hay dos formas por las cuales el nitrógeno puede ser transferido de especies leguminosas a especies no leguminosas. La primera es

² David Dalton. Reed College Biology Department. <http://academic.reed.edu/biology/nitrogen/>. 10-01-2006.

cuando la especie leguminosa muere y en su lugar crecen las especies no leguminosas, de esta manera el nitrógeno que contenía la leguminosa es asimilado por la especie sustituta. La segunda forma es por la secreción de componentes nitrogenados por parte de las raíces de la leguminosa. Este mecanismo fue aclarado por la investigación de Nicol (1934), quien concluyó que los compuestos secretados por las leguminosas, pueden ser utilizados por las especies no leguminosas que estén asociadas (Eaglesham *et. al.*, 1981; Ruschel *et. al.*, 1979; Vest, 1971). No obstante, se reconoce que las leguminosas difieren en la habilidad de transferir nitrógeno (Wahua y Millae, 1978).

La disponibilidad de nitrógeno puede variar ampliamente en muchos sitios, y puede representar un límite para la producción de biomasa. Sin embargo, en plantas que se han acondicionado a cantidades bajas de nitrógeno por la limitación constante de este elemento, tienden a incrementar su follaje, en número y tamaño de hojas. Así mismo, las hojas tienden a aumentar el tamaño y número de células (McDonald y Stadenberg, 1993).

El nitrógeno puede ser absorbido por las plantas en tres formas distintas: nitrato, amonio o en forma de aminoácidos, dependiendo de la forma de asimilarlo las plantas gastarán más o menos energía para llevar a cabo este proceso, gastan más energías si se absorbe el nitrógeno en forma de aminoácidos, que si se absorbe en forma de nitrato (Lambers *et. al.*, 1998).

Del Moral y Bliss (1993) mencionan que después de la senescencia de *Lupinus lepidus* Dougl., se genera un parche de riqueza en nutrientes, el cual facilita el rápido

establecimiento de especies de los géneros *Anaphalis*, *Epilobium*, y *Hypochaeris* en la montaña St. Helens, Washington, USA.

Alt *et. al.*, (1993) reportan para *Picea pungens glauca* Hoopsii., un contenido de N de 1.98 % de masa seca, cuando el árbol se encuentra en buenas condiciones, pero el árbol presenta algunos síntomas de toxicidad cuando dicha concentración alcanza 2.41 %. Mientras que para *Picea abies* (L.) las deficiencias se presentan cuando el nitrógeno se encuentra entre 1.2 y 1.3 % (Ingestand, 1959; Hüttl, 1990)

4.3.2. Fósforo (P)

El fósforo (P) es uno de los 17 elementos esenciales que son requeridos para el crecimiento de las plantas (Bielecki, 1973; Dawson y Ahern, 1973; Raghothama, 1999). Este elemento juega un papel muy importante en la formación de procesos como: generación de energía, síntesis de ácidos nucleicos, fotosíntesis, glicólisis, respiración, síntesis y estabilidad de la membrana, activación e inactivación de enzimas, reacciones redox, metabolismo de carbohidratos y fijación de nitrógeno (Vance *et. al.*, 2003).

Generalmente el fósforo no se encuentra en forma disponible, pues adquiere una forma compleja insoluble, particularmente con cationes de aluminio y hierro, cuando se encuentra bajo condiciones ácidas (Vance *et. al.*, 2003). Para que este nutriente sea tomado por las plantas debe ser en forma de ortofosfato (Pi) H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} , el cual puede encontrarse en soluciones del suelo con una concentración muy baja (0.1-10 μm) (Hinsinger, 2001). El pH óptimo para tomar Pi es de 4.5 – 5.0, las plantas prefieren adquirir H_2PO_4^- en vez de HPO_4^{2-} (Raghothama, 1999). El P en el suelo puede

encontrarse en forma orgánica, que es derivado de residuos de plantas y organismos del suelo. Antes de ser tomado por las plantas el P orgánico, debe ser mineralizado, para que sea disponible (Horst *et. al.*, 2001).

Las raíces de las plantas pueden alterar la solución del suelo y hacer disponible o incrementar la disponibilidad de P inorgánico por la acidificación de la rizósfera, la exudación de ácidos orgánicos, ácido fosfático (la actividad de este ácido se incrementa bajo condiciones deficientes de P) y la secreción de fosfatos (Comerford, 1998; Hinsinger, 2001; Dinkelaker *et. al.*, 1989; Duff *et. al.*, 1991; Goldstein *et. al.*, 1988; Tadano y Sakai, 1991; Johnson *et. al.*, 1994, 1996a; Gilbert *et. al.*, 1998; Gilbert *et. al.*, 1999; Neumann y Römheld, 1999).

Cuando *Lupinus albus* L. es deficiente en P, las raíces proteoidas sintetizan y exudan notables cantidades de malato y citrato (Gardner *et. al.*, 1982; Dinkelaker *et. al.*, 1989; Johnson *et. al.*, 1994; Keerthisinghe *et. al.*, 1998; Neumann *et. al.*, 1999; Skene, 1998; Pate y Watt, 2001).

La adquisición de fuentes de P depende de las propiedades de las plantas, las cuales difieren por especie (Föhse *et. al.*, 1988), éstas han evolucionado por dos procesos estratégicos para adquirir P y usar nutrientes en ambientes donde estos se encuentran limitados: 1) Aquellos que lo usan de forma de conservación y 2) aquellos que lo toman o adquieren directamente (Lajtha y Harrison, 1995; Horst *et. al.*, 2001; Vance, 2001).

El primer proceso en el uso de P involucra la disminución en la tasa de crecimiento, incremento en crecimiento por unidad de P adquirido, remoción de P inorgánico interno, modificaciones en el metabolismo del carbono por los pasos requeridos para adquirir P, y una vía alternativa en la respiración (Schachtman *et. al.*, 1998; Plaxton y Carswell, 1999; Raghothama, 1999; Uhde-Stone *et. al.*, 2002a, b). El segundo proceso incluye producción y secreción de fosfato, exudación de ácidos orgánicos, mayor crecimiento y modificaciones en la arquitectura de la raíz, expansión del área superficial de las raíces, por el prolífico desarrollo de las raíces finas y el mejoramiento de los transportadores de P inorgánico (Marschner *et. al.*, 1987; Duff *et. al.*, 1994; Schachtman *et. al.*, 1998; Gilroy y Jones, 2000; Lynch y Brown, 2001). Aunque a pesar de la adaptación y evolución de las plantas por lo menos el 80% de todas las especies pueden adquirir P a través de la simbiosis con micorrizas (Koide y Kabir, 2000; Smith *et. al.*, 2000; Burleigh *et. al.*, 2002; Tibbett y Sanders, 2002).

4.3.3. Potasio (K)

El potasio (K) es caracterizado por su alta movilidad en las plantas; sin embargo para que las plantas adquieran K, se requiere de una selección muy alta y se cierra con la actividad metabólica (Marschner, 1995).

El potasio juega un papel muy importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas, el K^+ es el más abundante en las células y es requerido para muchos procesos (Läuchli y Pflüger, 1979). Por ejemplo, interviene en el PCR osmótico en las células de las plantas para mantener la turgencia, así como el PCR de los estomas y la regulación del contenido

de agua en las plantas (Hsiao y Läuchli, 1986), también participa en la activación de enzimas, la osmorregulación y la translocación de carbohidratos en las células de las plantas (Lüttge y Clarkson, 1989).

Existen evidencias de que la extensión de las células está relacionada con el contenido de K en las hojas. Por lo tanto, el área de las hojas, el tamaño de las células y la turgencia son afectados por la concentración de K (Mengel y Arneke, 1982). A pesar de la importancia de este ión, el proceso por el cual el K^+ es transportado a las células, órganos y a la planta entera (Kochian y Lucas, 1988).

Holopainen y Nygren (1989) reportan que la deficiencia de K ocasiona cambios específicos en plántulas *Pinus sylvestris*, en el cual se incluye la extensión del sistema vacuolar, daños en la estructura del tonoplasto, incremento y almacenamiento de lípidos citoplásmicos.

Una concentración foliar de K de 3.5-4.0 mg g⁻¹ es un indicador de una severa deficiencia de K en *Pinus sylvestris* cuando la especie no está en crecimiento (Paarlahti *et. al.*, 1971). A lo largo del año la respuesta bioquímica característica de K en *Pinus sylvestris* a la deficiencia de K es la acumulación de putrescina (Sarjala y Kaunisto, 1993; Jokela *et. al.*, 1997; 1998). Aunque la acumulación de putresina es considerada como un indicador de deficiencia de K, ésta también puede ocurrir en respuesta a otros factores de estrés (Flores, 1991).

Alt *et. al.*, (1993), reportan para *Picea pungens glauca* un contenido de 0.56 % de K, cuando el árbol se encuentra en buenas condiciones, y cuando el árbol presenta algunos síntomas de toxicidad, tal cifra alcanza 0.36 %; mientras que para *Picea abies* las deficiencias se presentan cuando el potasio se encuentra entre 0.3 y 0.45 % (Hüttl, 1990)

Jokela *et. al.*, (1997), definen tres concentraciones de potasio foliar (concentración alta $>3.5 \text{ mg g}^{-1}$, concentración intermedia $3.5 - 5.0 \text{ mg g}^{-1}$ y concentración baja $< 3.0 \text{ mg g}^{-1}$), para examinar el efecto que se obtiene en la morfología de acículas, ultraestructura de las células, concentración de poliamina en brinzales de *Pinus sylvestris*, y concentración de macronutrientes en las acículas. Los resultados obtenidos fueron: macronutrientes N y K se obtuvieron en óptimas concentraciones cuando la concentración foliar de K se encontraba en la clase intermedia, mientras que para el P y la proporción N/K, se obtuvieron en condiciones óptimas, cuando la concentración foliar de K era alta y baja. En cuanto a la morfología de las acículas, sólo se presentaron pequeños efectos a diferentes concentraciones de K.

4.4. *Lupinus*

Mead y Gadgil (1978), mencionan que los árboles plantados junto *Lupinus arboreus* Sims, se benefician del N fijado de la atmósfera por esta especie, que es a través de sus asociaciones simbióticas con la bacteria *Rhizobium lupini* Schroeter. Esta especie de *Lupinus* puede fijar hasta 160 kg ha^{-1} de N durante el primer año de crecimiento (Gadgil, 1971a). El mantenimiento de *Lupinus* implica una entrada continua de N en los ecosistemas forestales (Sprent y Silvester, 1973).

La descomposición de la materia orgánica y los brizales de *Lupinus* exudan componentes de N que los árboles cercanos pueden usar para su desarrollo (Gadgil, 1971b). Se considera que *Lupinus* sp. fija más nitrógeno por hectárea que otras leguminosas (Gladstone y Loneragan, 1975).

Gardener *et. al.*, (1981, 1983) demostraron que las raíces de *Lupinus albus* desarrollan raíces proteoidas. Además las especies del genero *Lupinus* no se identifican por su habilidad de crecer en suelos con bajas cantidades de fósforo disponible y por su aparente falta de asociación con micorrizas. Se ha propuesto que las raíces proteoideas de *Lupinus albus* L. poseen la habilidad de modificar químicamente el suelo para incrementar la solubilidad del fósforo inorgánico, a través de la producción de ácido y agentes quelatantes, puesto que el suelo que se encuentra cercano a las raíces de esta especie contiene más iones hidrogeno.

Gardner y Parbey (1982) sugieren que la tasa de movimiento de fósforo en las raíces, se debe a algún mecanismo y que la morfología del sistema de raíces de *Lupinus albus* esta habilitada para crecer en suelos con baja disponibilidad de fósforo y las raíces proteoidas proveen un incremento en el área superficial para la absorción de fosfato (Jeffrey, 1967; Lamont, 1977).

4.5. Temperatura

Un efecto directo por la disminución de la temperatura es la reducción de la tasa de crecimiento de las plantas (Boatwright *et. al.*, 1976). La deficiencia de fósforo en las plantas, ha sido asociada a las bajas temperaturas, ya que estas pueden ser una restricción para la adquisición de fósforo (Knoll *et. al.*, 1964).

La temperatura del suelo puede afectar la acumulación de biomasa entre los retoños y la raíz durante la estación de crecimiento (Ericsson *et. al.*, 1996; Pregitzer *et. al.*, 2000). Si la temperatura del suelo es baja limita el crecimiento, pero no la fotosíntesis (Hällgren y Öquist, 1990), se pueden acumular reservas de carbohidratos en los brinzales, particularmente si la temperatura del suelo permanece baja por un largo periodo (Repo *et. al.*, 2004). Cuando la temperatura del suelo se incrementa la reserva de carbohidratos acumulada es la que mantiene la compensación del crecimiento (Lambers *et. al.*, 1998).

La temperatura del suelo puede afectar la adquisición de nutrientes por que el agua se encuentra viscosa y las raíces son permeables, además se afecta la membrana de las células de las raíces, por el efecto de las bajas temperaturas (Marschner, 1990; Kozlowski y Pallardy, 1997). Cuando las temperaturas del suelo son bajas se disminuye la demanda de nutrientes en los brotes, además de que las bajas temperaturas pueden regular la adquisición de nutrientes (Lambers *et. al.*, 1998).

Lahti *et. al.*, (2005), reportan para brinzales de *Picea abies* L., mayor cantidad de N a temperaturas del suelo de 9 – 13 °C, mientras que a temperaturas de 21° C la

concentración de N foliar fue mas baja. De igual manera, las mayores concentraciones de P se obtuvieron a temperaturas de 9° C, mientras que a temperaturas de 13 – 21° C fue más baja la concentración. También la concentración de K fue mayor a 9° C que a 21° C.

4.6. Radiación fotosintéticamente activa (RFA)

La radiación solar es radiación electromagnética recibida del sol en la superficie terrestre, la cual se encuentra en una banda de longitud de onda de 0.29 – 4 μm , y frecuentemente es llamada radiación de onda corta. Esta radiación puede originar dos tipos de radiación. Radiación directa - es la radiación que pasa sin interferencia a través de la atmósfera. Para un sitio en particular depende de la posición relativa del sol, el cual varía a través del día, del año y de las condiciones atmosféricas y radiación difusa (radiación que es dispersada por la atmósfera). Así mismo, la radiación global es definida como la suma de la radiación directa, difusa y la reflejada por un sitio en particular (Delta-T Devices Ltd., 1999).

El flujo de radiación solar puede ser expresado, en términos de flujo de energía o en términos de flujo de densidad de fotones (PFD). El flujo de energía comúnmente es medido en unidades de megajoules por metro cuadrado por segundo ($\text{Mj m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El PFD es comúnmente medido en micromoles por metro cuadrado por segundo ($\text{Mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Delta-T Devices Ltd., 1999).

La radiación fotosintéticamente activa (RFA) se utiliza en el estudio de la ecofisiología de las plantas, especialmente cuando se estudian procesos de intercepción de luz para fotosíntesis. La longitud de onda para la fotosíntesis activa va de 400 a 700 nm, y constituye aproximadamente el 50% de la radiación solar total. Es la radiación utilizable en el proceso fotosintético. La intensidad de la fotosíntesis depende de la intensidad de la radiación interceptada (Larcher, 1983; Nobel, 1991; Jones, 1992). El flujo de RFA es referido como la densidad del flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) (Delta-T Devices Ltd., 1999).

La sombra ocasionada por plantas nodriza, puede disminuir la RFA disponible para las plántulas que se encuentran bajo el dosel de ésta, lo que ocasiona que la adquisición del CO₂ sea limitado para las plántulas, debido a una menor superficie fotosintética que es generada por la sombra de la especie nodriza. Este tipo de casos generalmente ocurre con especies del desierto (Nobel, 1986).

Franco y Nobel (1989), mencionan que la sombra provista por la planta nodriza reduce diariamente la radiación fotosintéticamente activa (RFA). Mencionan que cerca del equinoccio una plántula de *Carnegia gigantea* Engelm., localizada en el centro de *Acacia deltoidea* A.Cunn., diariamente recibió sólo el 77 % de la radiación fotosintéticamente activa, lo cual implica que se redujo la asimilación de CO₂ en un 90 %, comparado con plántulas que no se encontraban en la sombra.

4.7. Fotografías hemisféricas

Las fotografías hemisféricas son aquellas que proveen una imagen hacia el cenit, dando una vista de todas las partes del cielo. Típicamente las imágenes hemisféricas pueden ser adquiridas con una cámara estándar o digital ajustada con una lente hemisférica (“ojo de pescado”) que apunta hacia arriba. Basándose en las mediciones de la visibilidad y obstrucción geométrica del cielo, las fotografías hemisféricas pueden ser usadas para calcular características del dosel de las plantas, tales como índice de área foliar (LAI) (Delta-T Devices Ltd., 1999).

Las fotografías hemisféricas tomadas sobre plantas individuales pueden ser usadas para estimar regímenes de radiación solar o índices de sitio, desde el punto de vista de plantas individuales, y a su vez poder obtener medidas fisiológicas y ecológicas. Oberbauer *et. al.* (1993), examinaron relaciones entre los regímenes de radiación solar sobre el dosel de brinzales, intercambio de CO₂, y el crecimiento anual para tres especies de árboles tropicales. La medición del crecimiento anual estuvo correlacionada con los índices de radiación directa (ISF) y difusa (DSF).

Lerdau *et. al.*, (1992), realizaron un estudio tomando fotografías hemisféricas a diferentes altitudes dentro de un bosque deciduo, en el que se cuantificó la luz disponible para los cactus que crecían a diferente altitud, dentro del dosel. Observaron que en el bosque se observa un incremento exponencial en la disponibilidad de luz con la altura.

Canham *et. al.*, (1994) mencionan que la radiación solar que es interceptada por el dosel las plantas es una fuente disponible para el crecimiento de éstas, mientras que las plantas que se encuentran bajo ellas, ya no pueden utilizarla para su crecimiento. En este estudio se utilizaron fotografías hemisféricas para examinar la influencia de la intercepción de luz por el dosel de un bosque deciduo templado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

5.1.1. Localización

El Parque Nacional Cumbres del Ajusco se ubica a 19° 12' y 19° 12' 50" latitud norte y 99° 14' 35" y 99° 16' 20" longitud oeste. Se encuentra ubicado al Sur de la ciudad de México, forma parte de la Sierra Chichinautzin, que constituye el límite sur de la Cuenca de México. Esta última se encuentra ubicada dentro de la región hidrológica No. 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 s. n. m. hasta los 3 850 m s. n. m. El proyecto se enclava en el paraje Cerro Panza cerca del Valle del Tezontle, a 3 350 m s. n. m.

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)

5.1.2. Topografía

Constituye una región eminentemente volcánica. La estructura principal de la Sierra se formó al final del Mioceno. Posteriormente aparecieron numerosos volcanes adventicios,

como el 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 (Aranda *et. al.*, 1980; SARH, 1987).

5.1.3. Geología

Esta es una región eminentemente volcánica, caracterizado por el gran número de conos cineríticos presentes en la zona. Con esta base se piensa que las rocas del Ajusco son anteriores al Plioceno; sin embargo su falda Sur-Oriental está en contacto indefinido con el conjunto de brechas andesíticas correspondientes al grupo de las rocas volcánicas de Terciario medio (Vargas,1997).

5.1.4. Suelos

En la zona se identifican dos unidades de suelo que son: andosol y litosol (Reynoso, 1999). Los primeros son suelos formados a partir de materiales ricos en vidrio volcánico, que por lo común presentan un horizonte superficial de color oscuro. Los segundos son suelos con roca dura y de muy poca profundidad (Ortiz y Ortiz, 1984).

5.1.5. 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 (SARH, 1987).

5.1.6. Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Koeppen modificada por García (1973), el clima de la zona es C(W2)(w)(b')ig, que corresponde al clima templado subhúmedo con lluvias en verano, el más húmedo de los subhúmedos, con un porcentaje de lluvia invernal < 5% de la anual, semifrío con verano fresco largo, temperatura anual entre 5 y 12° C, del mes más frío entre -3 y 18° C, y del mes más caliente entre 6.5 y 22° C, isothermal, oscilación anual de las temperaturas medias anuales < 5° C, marcha de la temperatura tipo Ganges (García, 1973).

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. Los vientos dominantes soplan del noroeste durante la estación seca y del Noreste en la estación cálido- húmeda, sus velocidades son variables (Benítez, 1987).

5.1.7. Vegetación.

La cubierta vegetal de la zona está conformada en su mayoría por bosques mixtos de coníferas y latifoliadas localizados en las partes altas de la subcuenca y representado por asociaciones de pino - encino, pino - aile y pino - oyamel; acompañado en algunas zonas por matorrales y pastizales (Rzedowski, 1978).

Las especies más representativas de las coníferas son: *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus hartwegii*, *Pinus ayacahuite* Ehrenb. ex Schltdl., y *Abies religiosa* HBK.) Schltdl. et

Cham., en menor proporción existen otras especies como el *Pinus teocote* Schltdl. et Cham., *Pinus rudis* Endl., y más restringida aún se registra la existencia de *Pinus pseudostrobus* Lindl., y *Pinus patula* Schl. et Cham (Rzedowski, 1978).

En cuanto a los pastizales, los hay inducidos donde las principales especies son: *Muhlenbergia macroura* HBK, *Stipa ichu* Ruiz y Pavón. *Festuca amplissima* Rupr., *Festuca tolucensis* y *Calamagrostis tolucensis* HBK; estos pastizales son utilizados por los ejidatarios para el pastoreo extensivo de ovinos (Rzedowski, 1978).

5.1.8. Fauna.

Según Reynoso (1999) con base a las observaciones de campo, así como en la información obtenida de los campesinos, la vida animal silvestre actualmente se caracteriza por la presencia de reptiles como la víbora de cascabel (*Crotalus* spp.); aves como el cuervo (*Corvus corax*), lechuza (*Tyto alba* Scopoli), aguililla (*Buteo swainsoni* Bonaparte), pájaro carpintero (*Dryocopus martius* L.), pájaro azul (*Sialia sialis* L.); mamíferos como la tuza (*Pappogeomys merriami* Thomas), mapache (*Procyon lotor* Linnaeus), rata de campo (*Peromyscus maniculatus* Wagner) y teporingo o zacatuche (*Romerolagus diazii* Ferrari-Perez).

5.2. Establecimiento del Experimento

5.2.1 Obtención de brinzales.

Los brinzales de *Pinus hartwegii* fueron proporcionados por la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADER) del Gobierno de la Ciudad de México,

producidas en el vivero de San Luís Tlaxialtemalco. Estas plantas fueron producidas en contenedores V-93 y tenían 1.5 años de edad al momento de ser plantadas.

5.2.2 Plantación

La plantación se realizó el día 7 de Agosto de 2004, con la técnica de cepa común, utilizando como herramienta pala para horticultura. Las dimensiones de la cepa fueron de 20 X 20 X 20 cm. La cepa fue muy pequeña, con la finalidad de evitar dañar la planta nodriza. Se plantaron 500 árboles, distribuidos en cinco tratamientos explicados en la sección 5.4, los cuales se distribuyeron al azar.

5.2.3. Análisis inicial de los brinzales

Estos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Semillas Forestales de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

Se seleccionaron al azar 40 brinzales de *Pinus hartwegii* del mismo lote al que pertenecían los que se llevaron al campo para obtener los siguientes datos.

5.2.3.1. Parte aérea

- Altura total del brinzal. Se midió del ras del sustrato hasta la parte terminal de la yema apical con una regla de 30 cm.
- Diámetro en la base del cuello. La medición del diámetro se hizo a la altura del cuello de la raíz con un vernier, en milímetros.

5.2.3.2. Parte Subterránea

- Número de raíces laterales (secundarias).
- Longitud de la raíz principal. Esta medición se tomó del cuello de la raíz hasta la parte terminal de la raíz primaria, con una regla de 30 cm.

5.2.3.3. Biomasa

Se obtuvo: Biomasa aérea (hojas, tallo y ramas), subterránea (raíz principal y raíces laterales). La planta fue separada en partes: raíz principal, raíces laterales, tallo-yema y follaje. Cada parte se secó en un horno a 70°C hasta obtener peso constante; el peso se determinó con una balanza electrónica digital.

5.2.4 Medición de variables a los seis meses y doce meses de establecida la plantación

5.2.4.1 Laboratorio

Para las mediciones realizadas seis y doce meses después de establecida la plantación se extrajeron cinco brinzales del campo de los cinco tratamientos, (25 plantas en total). A esta muestra se le realizó la medición de diámetro, altura, longitud de la raíz principal, análisis de biomasa y concentración de nutrientes en el follaje.

5.3.4.2. Concentración de nutrientes en el follaje

Para las determinaciones de N, P y K las muestras de follaje 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 y 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 (K) la muestra fue digerida con mezcla diácida y determinado por espectrofotometría de emisión de flama.

5.3.5. Campo

5.3.5.1 Supervivencia

Se registro la supervivencia a un año de establecida la plantación, para ello se realizaron muestreos a los seis meses (marzo) y doce meses (septiembre) de establecida la plantación. Se tomó el número de árboles vivos por tratamiento, este valor se expresó porcentualmente. Para este propósito se revisaron los 500 árboles plantados.

5.3.6. Radiación fotosintéticamente activa.

Para medir la radiación fotosintéticamente activa (RFA), se tomó una fotografía en cinco puntos de plantación por tratamiento correspondiente a los brinzales que fueron cosechados, para medir nutrientes), se utilizó una cámara digital, con una lente hemisférica (ojo de pescado), las imágenes tomadas fueron analizadas con el programa HemiView V.2.1, utilizando el modelo simple molar, para obtener RFA en $\text{Mj m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

5.4. Diseño experimental y analisis de datos

Para el analisis de los datos obtenidos en la presente investigación se aplicaron varias tecnicas estadisticas univaridas y multivariadas. Es decir para evaluar la supervivencia de los brinzales en cada uno de los tratamientos **(a)** al NE de *Lupinus montanus*, **(b)** al NE de *Penstemon gentianoides*, **(c)** junto a *Festuca tolucensis* sin chaponeo, **(d)** junto a *Festuca tolucensis* con chaponeo **(e)** pequeños claros naturales de aproximadamente 1 m² (PCR)), se utilizo una regresión logistica para el caso en que la variable explicativa es dicotomica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Valores de la regresión logistica cuando x es dicotomica.

	X = 1	X = 0
Y = 1	$\pi(1) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1}}$	$\pi(0) = \frac{e^{\beta_0}}{1 + e^{\beta_0}}$
Y = 0	$1 - \pi(1) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1}}$	$1 - \pi(0) = \frac{1}{1 + e^{\beta_0}}$

Fuente: Hosmer and Stanley 1989.

Para determinar la superioridad de mortalidad de un tratamiento a otro se uso la siguiente expresión: $\psi = e^{\beta_1}$

Por otra, para determinar el efecto de los tratamientos sobre la las diferentes variables estudiadas se realizo un analisis de varianza (ANOVA). Mientras que para analizar el efecto de las variables se realizo un analisis de varianza multivariado (MANOVA). Para realizar los análisis de varianza (MANOVAS), se formaron dos grupos de variables, el primer grupo formado por la altura, el diámetro y la biomasa total y el segundo grupo

formado por la concentración del N, P, K y la RFA. El nivel de significancia utilizado para los análisis que se realizaron en esta investigación fue del 10 % ($\alpha = 0.10$).

Modelo estadístico utilizado: $Y_{ijr} = \mu_r + \alpha_{ir} + \varepsilon_{ijr}$

Donde:

μ_r = Media r-ésima variable.

α_{ir} = Efecto del i-ésimo tratamiento del factor especie vecina y la r-ésima variable.

ε_{ijr} = Error experimental.

Después del análisis de varianza y haber determinado las diferencias entre tratamientos se realizó la comparación de medias multivariada empleando el estadístico T^2 de Hotelling (Rencher, 2002).

$$T^2 = n\bar{d}'S_d^{-1}\bar{d} > \frac{(n-1)p}{(n-p)} F_{p, n-p}(\alpha)$$

Para las variables que mostraron diferencias significativas en el análisis de varianza univariado (ANOVA), se empleó la prueba de T, para determinar los tratamientos que resultaron diferentes.

Para determinar si había dependencia entre las variables utilizadas se realizó un análisis de correlaciones y se realizaron análisis de regresión lineal multivariada, utilizando el procedimiento Stepwise regression.

Modelo estadístico empleado $Y = Z \beta + \varepsilon$

Donde:

Y = Vector de respuestas

Z = Matriz diseño.

β = Vector de parámetros

ε = vector de errores.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. MORTALIDAD

Los valores de mortalidad por tratamiento fueron los siguientes: *Lupinus* 9 %, *Penstemon* 6 %, PCR 1 %, Zacaton 7 % y chaponeo 8 %. El análisis de regresión logística muestra diferencias significativas en la mortalidad de *Pinus hartwegii*, siendo superior en el tratamiento *Lupinus* ($p < 0.05$) al tratamiento PCR. Del mismo modo, la mortalidad en los tratamientos zacaton y chaponeo es superior ($p < 0.10$) a la mortalidad del tratamiento PCR. En cuanto a los demás tratamientos no se observaron diferencias significativas en la mortalidad (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de la mortalidad entre tratamientos de los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Comparación de tratamientos		P
PCR	<i>Penstemon</i>	0.1344
PCR	Zacaton	0.0900
PCR	Chaponeo	0.0620
PCR	<i>Lupinus</i>	0.0437
<i>Penstemon</i>	Zacaton	0.7560
<i>Penstemon</i>	Chaponeo	0.5519
<i>Penstemon</i>	<i>Lupinus</i>	0.3917
Zacaton	Chaponeo	0.7736
Zacaton	<i>Lupinus</i>	0.5790
Chaponeo	<i>Lupinus</i>	0.7875

La mortalidad de los brinzales de *Pinus hartwegii* en el tratamiento *Lupinus* es superior 8.68 veces a la del tratamiento PCR, 1.65 veces a la del tratamiento *Penstemon*, 1.36 a la del tratamiento zacaton y 1.15 veces a la del tratamiento chaponeo. En el caso del chaponeo la mortalidad es mayor 7.5 veces a la del PCR, 1.43 a la del *Penstemon*, 1.18 a la del tratamiento zacaton, Para el caso del zacaton la mortalidad en este tratamiento es mayor 6.35 veces a la del tratamiento PCR y 1.21 veces a la del *Penstemon*. Y en el caso del tratamiento *Penstemon* la mortalidad es mayor 5.23 veces a la del tratamiento PCR.

La probabilidad de que los árboles de *Pinus hartwegii* mueran en el tratamiento *Penstemon* es de 0.0556, para el tratamiento *Lupinus* es de 0.0889, en el caso del tratamiento PCR es de 0.0111, para el zacaton es de 0.0556 y para el chaponeo es de 0.0667 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Probabilidad de mortandad de brinzales de *Pinus hartwegii* en la comparación de los tratamientos de *Lupinus*, PCR, zacaton y chaponeo, respecto al tratamiento *Penstemon*.

Mortalidad	Vivos	Muertos	Probabilidad
<i>Penstemon</i>	85	5	0.0556
<i>Lupinus</i>	82	8	0.0889
PCR	89	1	0.0111
Zacaton	84	6	0.0667
Chaponeo	83	7	0.0778

Al respecto Myers (1992), menciona que los arbustos proporcionan un efecto de nodrizismo, puesto que ayudan a abatir las condiciones desecantes y aumentan la supervivencia de *Pinus palustris* Mill., de regeneración natural, en el sureste de Estados Unidos. De igual forma en un estudio realizado con *Quercus humilis* Mill, en Larzac

Plateau en el SO de Francia por Rousset y Lepart (2000), se encontraron mayor germinación de encinos bajo los arbustos de *Buxus sempervirens* L. y *Juniperus communis* L., con respecto a las áreas abiertas, lo que sugiere que el mecanismo de facilitación está relacionado con los cambios en el microclima ocasionado por los arbustos.

A un año de establecida la plantación se puede observar una mortalidad baja para los brinzales de *Pinus hartwegii*. Aunque los pastos compiten con los brinzales por luz, agua y nutrientes, éstos los protegen de los vientos y las bajas temperaturas que se presentan en la zona, del mismo modo ocurre con los arbustos (*Penstemon gentianoides* y *Lupinus montanus*).

Gray y Spies (1997), mencionan que los micrositios son muy importantes para el establecimiento y crecimiento de plántulas de *Abies* sp. y *Picea* sp. ya que los ayuda a tolerar las condiciones adversas del ambiente como pueden ser las bajas temperaturas, o las altas temperaturas del suelo, por estar expuesto a la alta radiación solar. Helgersson (1990), menciona que la sombra de arbustos puede facilitar el establecimiento de plántulas durante las temporadas de sequía en el verano, por proveer mayor humedad o temperatura más fría ocasionada por el efecto del micrositio, de igual manera Castro *et al.*, (2002), encontraron mayor supervivencia de *Pinus nigra* Arn., cuando se encontraban bajo el dosel del arbusto *Salvia lavandulifolia* Vahl., en una reforestación realizada en la Sierra Nevada del SE de España, mientras que en las áreas abiertas la supervivencia fue menor.

6.2. DIÁMETRO, ALTURA Y BIOMASA TOTAL

6.2.1. Temporada de sequía (marzo)

El MANOVA no mostró efectos significativos sobre las variables diámetro, altura y biomasa total, para el periodo de sequía. Lo anterior nos indica que no existen diferencias entre tratamientos, pero en la comparación de medias multivariada mediante el estadístico de la T^2 de Hottelling el tratamiento de árboles plantados cerca de *Lupinus* fue diferente al tratamiento de Chaponeo (Cuadro 7).

Cuadro 7. MANOVA para las variables diámetro, altura y biomasa total para la temporada de sequía.

Estadístico de prueba	Valor	Valor de F	Num GL	Den GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.61440411	0.81	12	47.915	0.6416
Pillai's Trace	0.42316928	0.82	12	60	0.6282
Hotelling-Lawley Trace	0.56798214	0.82	12	27.465	0.6323
Roy's Greatest Root	0.44538308	2.23	4	20	0.1026

A seis meses de establecida la plantación no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque no existan diferencias significativas en la Figura se puede observar que la biomasa total es la unica variable que presenta valores realivamente mayores en el tratamiento de chaponeo y PCR, con respecto a los demas tratamientos, por ejemplo el valor de la biomasa total para chaponeo se tuvo 6.74 g y 5.02 g para el tratamiento *Lupinus* (Figura 1).

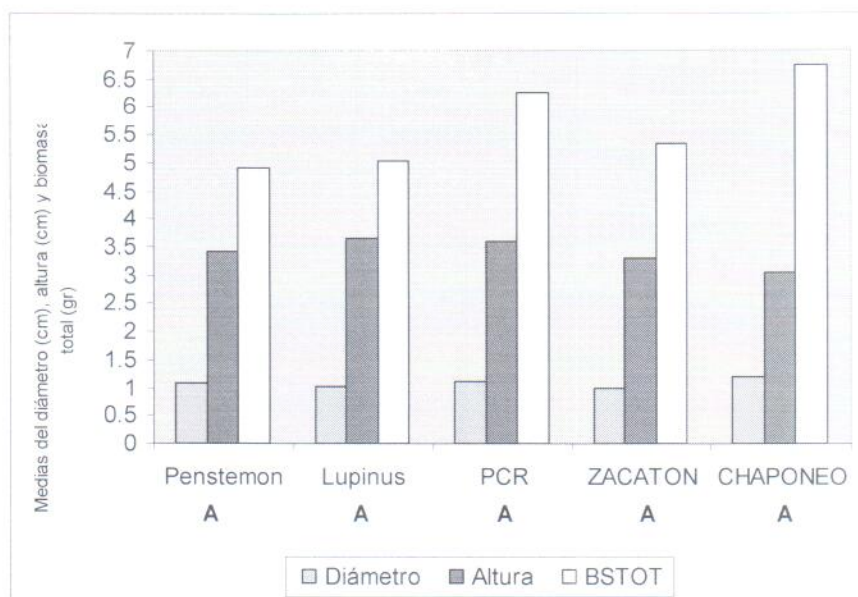


Figura1. Figura de comparación multivariada de medias para las variables diámetro, altura y biomasa total de la temporada de sequía.

6.2.2. Temporada de lluvias (septiembre)

El MANOVA para las variables diámetro y altura y biomasa total muestra que hay efectos significativos entre los tratamientos, o que al menos un tratamiento es diferente a los demás para la Lambda de Wilks' ($P < 0.10$), mientras que para la traza de Hotelling-Lawley ($P < 0.05$) y para la raíz más grande de Roy's ($P < 0.01$) (Cuadro 8).

Cuadro 8. MANOVA para las variables diámetro, altura y biomasa total para la temporada de lluvias.

Estadístico de prueba	Valor	Valor de F	Num GL	Den GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.36784943	1.83	12	47.915	0.0690
Hotelling-Lawley Trace	1.55102848	2.23	12	27.465	0.0402
Roy's Greatest Root	1.43625588	7.18	4	20	0.0009

Mediante la prueba de T^2 - Hotelling los tratamientos que resultaron diferentes entre sí fueron el de chaponeo y el PCR (Figura 2). Aunque en el tratamiento de PCR se obtuvo la mayor concentración de nutrientes, éstos no se reflejaron en las variables morfológicas (diámetro, altura y biomasa total), como se esperaba, pues de acuerdo con Shipley y Keddy (1988), cuando el suelo es más rico en nutrientes, se obtienen mayores incrementos en las plantas establecidas en dichos sitios.

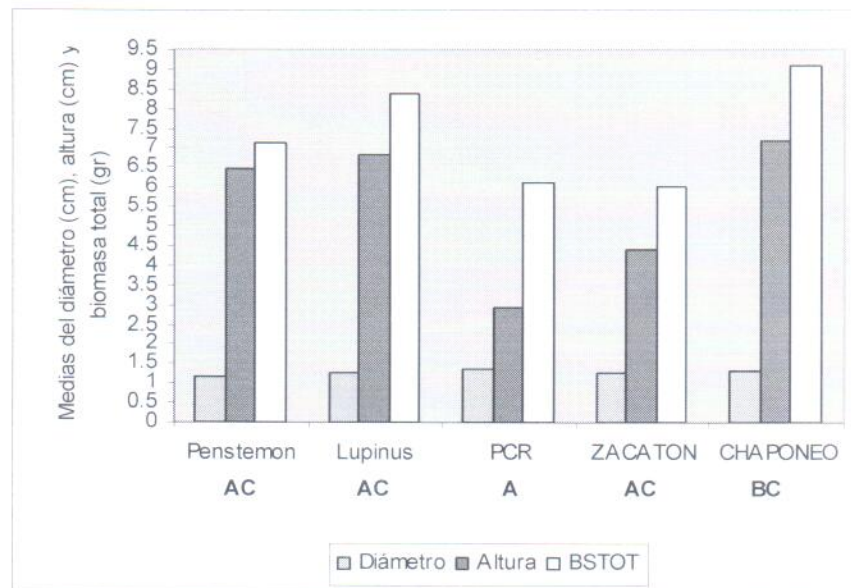


Figura 2. Comparación multivariada de medias para las variables diámetro, altura y biomasa total de la temporada de lluvias.

A falta de competencia por luz y nutrientes en el tratamiento chaponeo, se obtiene mayor crecimiento en diámetro, altura y biomasa total; en contraparte, Baker *et. al.*, (1986), refieren mayor crecimiento en árboles de *Pinus raiata* que fueron plantados cerca de plantas de *Lupinus*.

6.2.3. Diámetro

Para el caso univariado no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en las dos temporadas en que se evaluó el diámetro para la temporada de sequía ($F=1.71$, $P > F 0.1873$) y para el periodo de lluvias de igual manera no hubo diferencias significativas entre tratamientos ($F=0.7$, $P > F=0.6014$) (Figura 2).

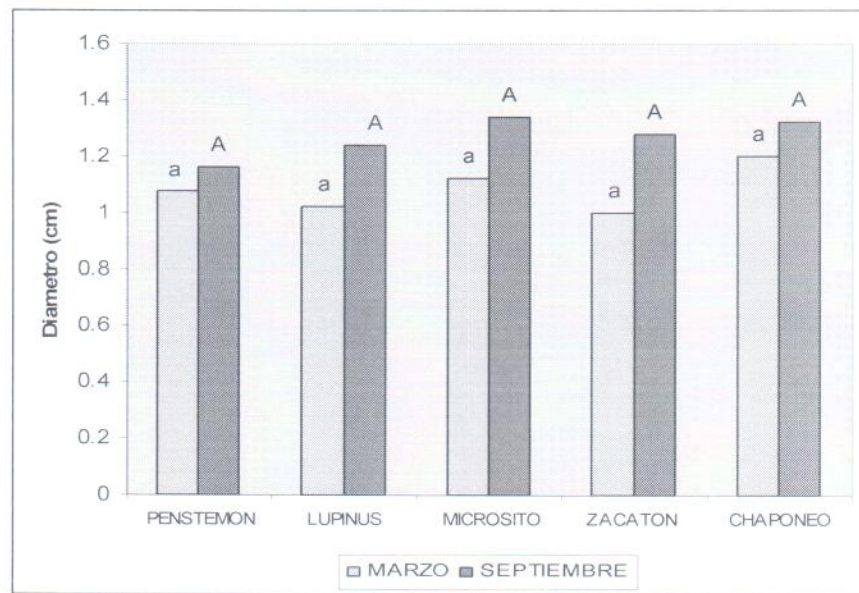


Figura 3. Variable diámetro para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

La variable diámetro no mostró diferencias significativas entre tratamientos en las dos temporadas que se realizaron las mediciones; en contraparte Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo (2003), obtuvieron mayor diámetro en plantas de *Quercus rugosa* plantados en micrositos los cuales consistían en dar protección a los brinzales, con respecto a las plantas que no contaban con alguna protección. De igual manera, Ortega (2003), no encontró diferencias significativas a los seis meses, en comparación con el

diámetro al momento de plantar, y de igual forma ocurrió con la biomasa total, sin el uso de micrositos.

En un estudio similar realizado en Los Altos de Chiapas por Ramírez-Marcial *et. al.*, (1996), obtuvieron diferencias significativas en dos especies de pino (*Pinus ayacahuite*, *Pinus oaxacana* Mirov.) y en el caso de encinos sólo hubo diferencias en *Quercus crassifolia* Humb. et Bonpl., pero no en *Quercus rugosa*. En especies cespitosas como *Pinus hartwegii* el incremento en diámetro es muy importante, pues este está relacionado con la resistencia de la planta a factores ambientales adversos (Johnson *et. al.*, 1985; Cuevas, 1995).

6.2.4. Altura

En el caso univariado para la variable altura en la temporada de sequía no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=0.51$, $P > F = 0.73$), en cambio, en la temporada de lluvias ya se pudieron observar diferencias significativas para esta variable entre tratamientos ($F=2.39$, $P > F=0.0855$) (Figura 4).

Para la temporada de sequía (seis meses después de la plantación), no se encontraron diferencias entre tratamientos, de manera contraria en la temporada de lluvias se comenzaron a manifestar la diferencias entre tratamientos. En este caso, el único tratamiento que fue diferente a los demás, excepto con el tratamiento de árboles plantados entre zacatón, fue el tratamiento PCR. Los tratamientos de árboles plantados junto a *Penstemon*, *Lupinus* y entre zacatón pero con chaponeo, presentaron mayor altura que el tratamiento PCR; Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo (2003), en una

plantación realizada con *Quercus rugosa*, utilizando micrositios, obtuvieron mayor incremento en altura, con respecto a los árboles que no contaban con alguna protección. De igual manera, Ramírez-Marcial *et. al.*, (2002), obtuvieron diferencias significativas en altura de árboles (*Pinus ayacahuite*, *Pinus oaxacana*, *Quercus crassifolia* y *Quercus rugosa*) que se encontraban plantados entre pastizales y matorrales.

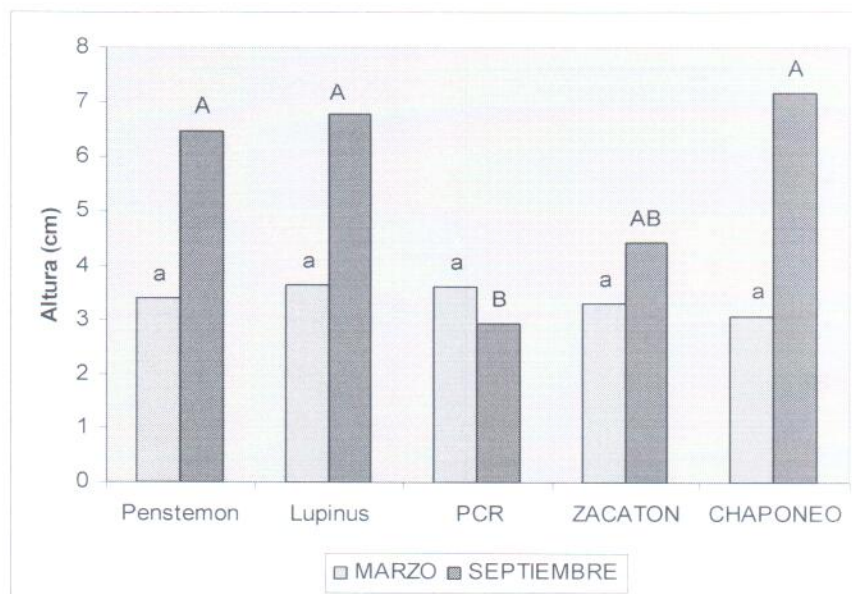


Figura 4. Variable altura para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

Se puede observar que hay mayor crecimiento en los tratamientos de árboles plantados al NE de *Penstemon* y *Lupinus* con respecto al tratamiento de árboles plantados entre zacaton. De acuerdo con Shribbs y Skroch (1986) cuando los árboles de *Picea* sp. están cerca de pastos como *Festuca* sp. su crecimiento tiende a reducirse. En el estudio realizado por Rousset y Lepart (2000), encontraron diferencias estadísticamente significativas en la altura de los brinzales de *Quercus humilis* cuando se encontraban plantados bajo la sombra de los arbustos de *Buxus semperviresn* y *Juniperus communis*, siendo mayor la altura bajo el dosel de los arbustos, con respecto a las áreas abiertas.

6.2.5. Biomasa total

En el caso univariado, para la variable biomasa total en la temporada de sequía no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=0.97$, $P > F=0.4457$); del mismo modo ocurrió en la temporada de lluvias en la que tampoco se observaron diferencias estadísticamente significativas para esta variable ($F=1.41$, $P > F=0.2670$) (Figura 5).

En un estudio realizado con la misma especie, y en el mismo sitio, pero sin especies nodriza, tampoco encontró diferencias significativas en la biomasa total después de seis meses de haber establecido la plantación (Ortega, 2003).

Una forma de apreciar si hay interacciones positivas o negativas entre plantas es determinando si hay diferencias en biomasa total. En este caso, en los dos periodos de medición no se encontraron diferencias significativas entre los diferentes tratamientos. De igual forma, Dormann y Brooker (2002), en un estudio de facilitación y competencia realizado con *Salix polaris* Wahlenb. Fl. Lap., y *Luzula confusa* Lindeberg, no encontraron diferencias significativas, cuando una de estas especies fue removida del lugar.

Aunque no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, en la figura 5 se puede observar que la mayor biomasa para la temporada de lluvias se encuentra en el tratamiento de chaponeo; de forma opuesta, Rousset y Lepart, (2000), encuentran diferencias estadísticamente en la biomasa de *Quercus humilis*, cuando éste se encuentra bajo el dosel de los arbustos (*Buxus sempervirens* y *Juniperus communis*),

siendo mayor la biomasa de *Quercus humilis* cuando se le removió el dosel que le producía sombra.

En este caso no se halló una mayor cantidad de biomasa total en el tratamiento de árboles plantados junto a *Lupinus* como se esperaba. De forma opuesta, en un estudio similar utilizando como especie facilitadora una leguminosa (*Retama sphaerocarpa*) sobre varias herbáceas (*Andryala ragusina* L., *Eryngium campestres* L., *Marrubium vulgare* Thunb., y *Stipa capensis* L.) creciendo en condiciones ambientales adversas, hubo diferencias significativas, en la biomasa total, favoreciendo a las especies que se encontraban bajo el dosel de la leguminosa, mientras que las que se encontraban en claros presentaron menor biomasa (Pugnaire y Luque, 2001).

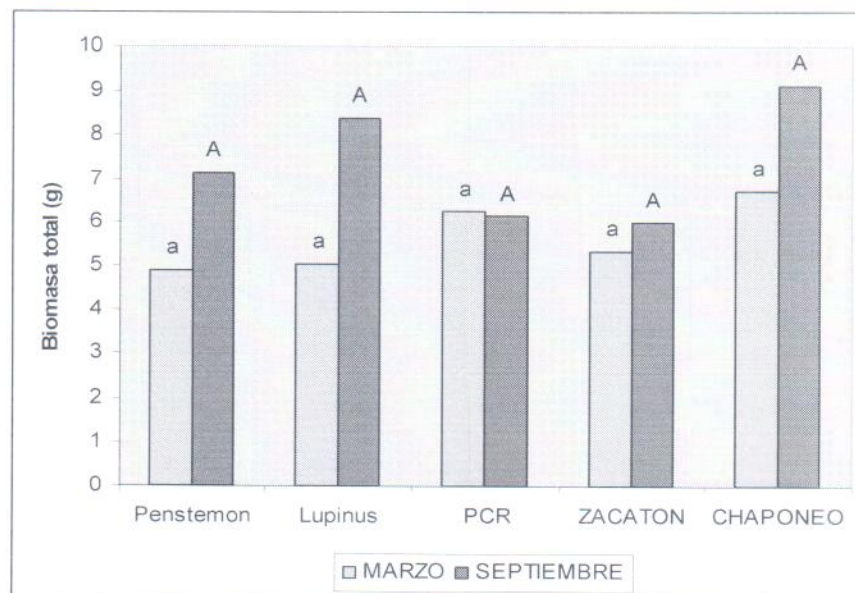


Figura 5. Variable biomasa total para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

Lenz y Facelli (2003) encontraron que cuando *Orbea variegata* J.Linn., se encuentra bajo la sombra de *Atriplex vesicaria* Heward, tiende a aumentar la biomasa total, en el estudio no ocurrió este efecto para los brinzales de *Pinus hartwegii*.

6.3. NUTRIENTES (N, P, K) Y RADIACIÓN FOTOSINTÉTICAMENTE ACTIVA

6.3.1. Temporada de sequía (marzo)

El MANOVA mostró efectos significativos para las variables nitrógeno, fósforo, potasio y radiación fotosintéticamente activa. Lo cual nos indica claramente que los tratamientos son diferentes, o al menos hay un tratamiento que es diferente a los demás (Cuadro 9).

Cuadro 9. MANOVA para las variables nitrógeno, fósforo, potasio y radiación fotosintéticamente activa para la temporada de sequía.

Estadístico de prueba	Valor	Valor de F	Num GL	Den GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.22610351	2.06	16	52.573	0.0255
Pillai's Trace	1.07137680	1.83	16	80	0.0412
Hotelling-Lawley Trace	2.23300020	2.25	16	28.471	0.0285
Roy's Greatest Root	1.61781197	8.09	4	20	0.0005

Mediante la prueba de T^2 - Hotelling los tratamientos que fueron diferentes entre sí fueron el tratamiento de árboles plantados junto a arbustos de *Lupinus*, y el tratamiento de árboles plantados entre zacatón pero con chaponeo (Figura 6).

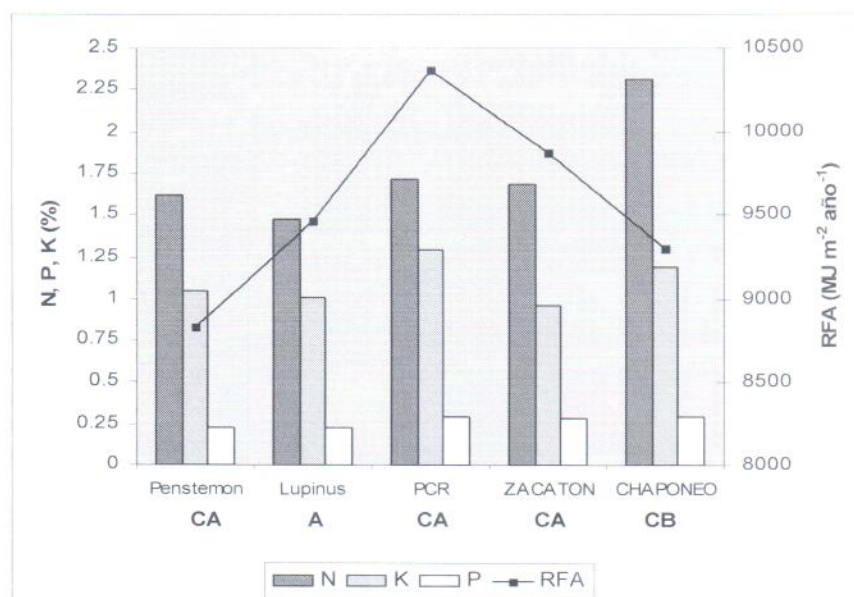


Figura 6. Comparación multivariada de medias para las variables concentración foliar de N, P, K en *Pinus hartwegii* y RFA de la temporada de sequía.

De acuerdo con Covelo y Gallardo (2002), se puede confirmar que los brinzales plantados entre pastos se ven afectados en la acumulación de nutrientes, y de igual manera se confirma que hay una mayor competencia por nutrientes entre pastos (*Festuca toluensis*) y los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Por ser *Lupinus* un arbusto de mayores dimensiones que el zacatón, hay una menor cantidad de RFA para los brinzales plantados (*Pinus hartwegii*) junto a los arbustos de *Lupinus*, por lo cual se puede pensar que la concentración de nutrientes fuese menor para este tratamiento; en este caso ocurre lo contrario, y lo que se puede sugerir es que el arbusto de *Lupinus montanus* no ocasiona efectos negativos en el crecimiento de los brinzales de *Pinus hartwegii* y por lo tanto se puede utilizar como planta nodriza para esta especie. Al respecto, Lenz y Facelli (2003), confirman que cuando las plantas de

Orbea variegata crecen bajo la sombra de un arbusto (*Atriplex vesicaria*), aumentan la concentración de nutrientes.

6.3.2. Temporada de lluvias (Septiembre)

El MANOVA muestra para las variables Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Radiación fotosintéticamente activa que hay efectos significativos entre tratamientos o que al menos hay un tratamiento que diferente a los demás (Cuadro 10).

Cuadro 10. MANOVA para las variables nitrógeno, fósforo, potasio y radiación fotosintéticamente activa para la temporada de lluvias.

Estadístico de prueba	Valor	Valor de F	Num GL	Den GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.19706240	2.31	16	52.573	0.0119
Pillai's Trace	1.11976428	1.94	16	80	0.0278
Hotelling-Lawley Trace	2.54170147	2.56	16	28.471	0.0138
Roy's Greatest Root	1.71887617	8.59	4	20	0.0003

Para la temporada de lluvias la diferencia entre tratamiento fue entre el tratamiento de árboles plantados al NE de *Lupinus montanus* con el tratamiento PCR y el de árboles plantados entre zacaton, presentando en ambos casos mayor concentración de nutrientes el tratamiento de árboles plantados al NE de *Lupinus montanus*, para el caso del tratamiento de *Penstemon* puede observarse que la concentración de nutrientes no es diferente con respecto a los tratamientos PCR, zacaton y chaponeo (Figura 7).

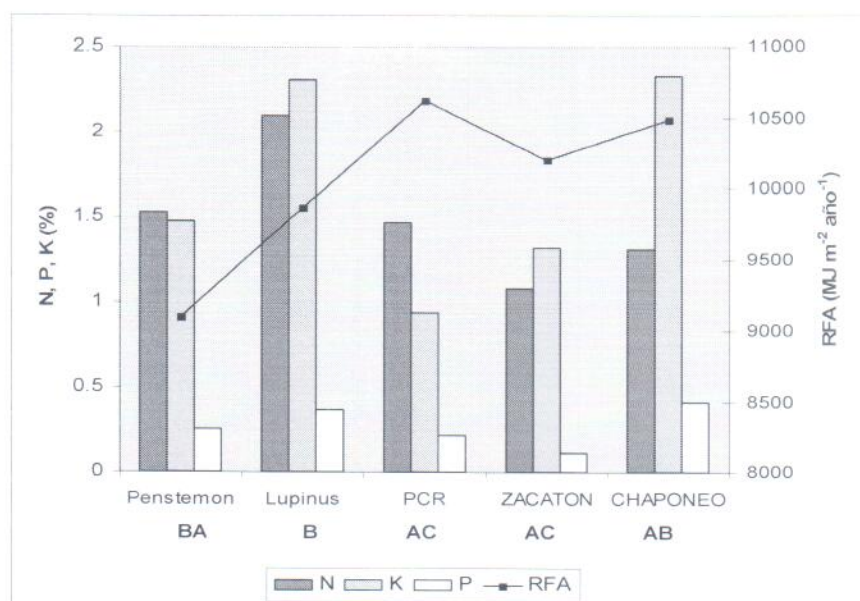


Figura 7. Comparación multivariada de medias para las variables N, P, K y RFA de la temporada de lluvias.

La mayor concentración de nutrientes se presenta en el tratamiento *Lupinus*, con excepción del potasio, Baker *et. al.*, (1986), también obtienen mayor concentración de nutrientes en el tratamiento realizado con plantas de *Lupinus* en árboles de *Pinus radiata* D. Don. De forma opuesta, Covelo y Gallardo (2002), observaron que la mayor concentración de N y K la obtuvieron en el tratamiento control en árboles de encino (*Quercus ruber* L.), plantados en una área de corta de *Pinus pinaster* L. De manera similar no se observaron diferencias en el fósforo. La mayor concentración de nutrientes en las acículas de *Pinus* puede ser tomada como un indicador de mayor cantidad de nutrientes disponibles para las plantas (Binkley y Vitousek, 1991), en este caso el tratamiento PCR es el que presenta la mayor concentración de N y P.

El tratamiento de PCR, es en el que hubo mayor RFA, pero también es uno de los tratamientos con menor concentración foliar de N, P y K, aunque la luz puede aumentar

la absorción de nutrientes disponibles (Covelo y Gallardo, 2002; Reich *et. al.*, 1994; Niinemets, 1997), en el tratamiento PCR no se refleja la misma concentración de N, P y K, como en el caso del tratamiento de *Lupinus*. Otros autores también refieren que la hay mayor eficiencia en el uso de nutrientes en *Fagus sylvatica* L., y *Pinus resinosa* Solana., cuando hay mayor cantidad de luz disponible (Minotta y Pinzauti, 1996; Elliot y White, 1994).

Por la concentración de nutrientes que hay en el tratamiento *Lupinus*, se puede justificar los arbustos de *Lupinus montanus* al ser una planta fijadora de N y exudar quelatos de P, aumentan la disponibilidad de éstos nutrientes para que los brinzales de *Pinus hartwegii* puedan aprovecharlos. De forma opuesta Margolis y Brand (1990), sugieren que en sitios que se mantienen totalmente cubiertos por herbáceas, generalmente son pobres en nutrientes, y comúnmente los pinos que crecen junto a herbáceas tienden a competir por N (Robinson *et. al.*, 2002).

En la figura 6 puede observarse que el tratamiento de árboles plantados entre zacaton es el que presenta menor concentración de nutrientes, y aunque las diferencias entre este tratamiento y el de chaponeo no hayan sido significativas puede observarse que en el chponeo la concentración de nutrientes es superior. De acuerdo con Nambiar y Sands, (1993) la competencia por nitrógeno frecuentemente ha sido citada como una razón, por la cual las plantas tienden a crecer lentamente en algunas plantaciones de coníferas. Además, puede confirmarse que los zacates son fuertes competidores por nutrientes.

6.3.3. Nitrógeno

En el caso univariado, para la variable nitrógeno en la temporada de sequía no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=1.35$, $P > F = 0.2855$), del mismo modo ocurrió en la temporada de lluvias en la que se observaron diferencias significativas para esta variable ($F=0.62$, $P > F = 0.6516$) (Figura 8).

Aunque no se muestran diferencias significativas, se sabe que las leguminosas aumentan la cantidad de nitrógeno que puede estar disponible para especies que se encuentran creciendo junto a las leguminosas (Haines *et. al.*, 1978). De manera similar, se reporta mayor cantidad de nitrógeno foliar en *Juglans regia*, cuando crece junto a leguminosas Van Sambeek *et. al.*, (1986)

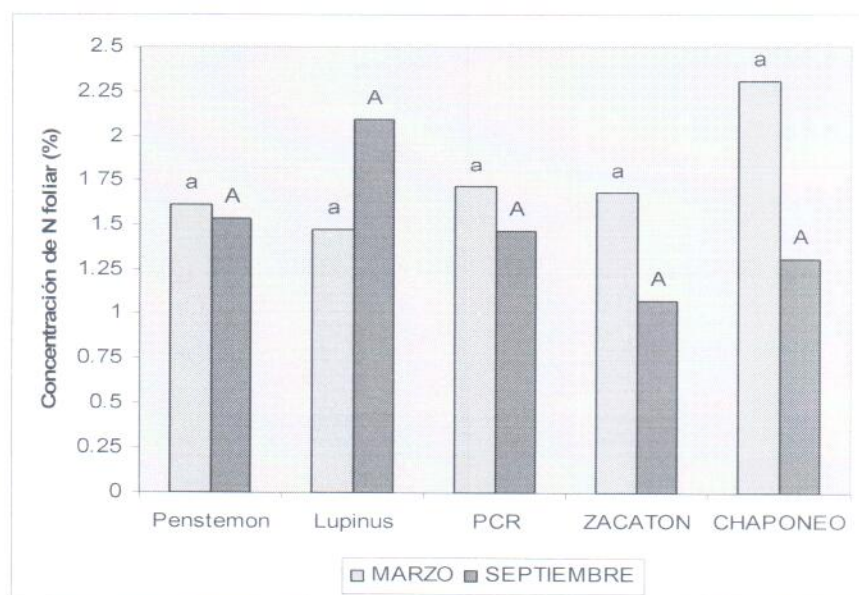


Figura 8. Variable Nitrógeno para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

Aunque no se muestran diferencias significativas, se sabe que las leguminosas aumentan la cantidad de nitrógeno que puede estar disponible para especies que se encuentran

creciendo junto a las leguminosas (Haines *et. al.*, 1978). En otro estudio Shumway (2000), reporta mayor concentración de nitrógeno en el suelo bajo arbustos de *Myrica pensylvanica* Loisel, comparado con áreas abiertas. De igual forma, Baker *et. al.*, (1986), señala mayor concentración de N en árboles de *Pinus radiata* plantados junto a *Lupinus arboreus*, mientras que los árboles que no se encuentran junto a plantas de la leguminosa presentan menor concentración de N.

Para la temporada de sequía la mayor concentración de nitrógeno en las acículas de *Pinus hartwegii* puede reflejar una mayor cantidad de nitrógeno disponible en suelo para los árboles que se plantaron en el tratamiento de árboles plantados entre zacaton pero con chaponeo, y puede observarse que en el tratamiento de árboles plantados entre el zacatón (*Festuca tolucensis*) presentan menor cantidad de nitrógeno, puesto que los pastos son excelentes competidores. De manera similar, Robinson *et. al.*, (2002) mencionan que cuando los brinzales de *Pinus banksiana* Lamb., se encuentran con ausencia de competencia tienden a incrementar la acumulación de nitrógeno. Aunque se ha documentado que los árboles compiten generalmente con los pastos por luz, agua y nutrientes, la competencia más importante es por nitrógeno (Woods *et. al.*, 1990).

En esta investigación la menor cantidad de nitrógeno se presenta en los tratamientos de árboles plantados entre zacatón y entre zacatón pero con chaponeo para la temporada de lluvias, por lo que se puede verificar que los pastos afectan más los árboles de *Pinus hartwegii* que los *Penstemon* de forma opuesta con lo que ocurre en el tratamiento de *Lupinus* donde se puede observar mayor concentración de N foliar en los brinzales de *Pinus hartwegii* que fueron plantados en este tratamiento. De forma similar, Ellis *et. al.*,

(1985) observaron competencia por N en árboles de *Eucalyptus delegatensis* RT Baker., y pastos en una investigación realizada en un sitio húmedo de Tasmania, otro estudio similar a el de Ellis *et. al.*, (1985), fue confirmado por Laughlin *et. al.* (1984) donde se refiere el supuesto de competencia por nitrógeno entre pastos y árboles.

En la temporada de sequía no se observaron diferencias significativas entre tratamientos; en contraparte, Ortega (2003) obtuvo diferencias significativas en concentración de N foliar a seis meses de haber establecido la plantación de *Pinus hartwegii*, en el Ajusco; después de 1 año de haber establecido la plantación (temporada de lluvias) sí hubo diferencias estadísticamente significativas. En este caso el tratamiento de árboles plantados al NE de arbustos de *Penstemon* fue diferente al tratamiento de árboles plantados en el tratamiento de zacatón, pero con chaponeo.

En un estudio realizado con plantas de *Cryptantha flava* (A. Nels.) Payson, las cuales se plantaron bajo la sombra de varios arbustos (*Atriplex tridentata* Kuntze, *Chrysothamnus nauseosus* (Pall.) Brito y *Juniperus osteosperma* (Torr.) Little), se obtuvo mayor concentración de nitrógeno foliar en planta que se encontraban bajo la sombra de los arbustos, en comparación con las que se encontraban en áreas abiertas (Forseth *et. al.*, 2001).

6.3.4. Fósforo

En el caso univariado para la variable fósforo en la temporada de sequía no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F= 0.63$, $P > F =0.6478$). De

forma opuesta ocurrió en la temporada de lluvias en la que si se observaron diferencias significativas para esta variable ($F=2.91$, $P > F=0.0477$) (figura 9). En la evaluación realizada en marzo no se observaron diferencias significativas, pero en la evaluación realizada en septiembre la concentración de P es mayor en los tratamientos de *Lupinus* y de chaponeo.

De acuerdo con Gardner y Boundy (1983), mencionan que en presencia de especies que presentan raíces proteoideas como las leguminosas, pueden movilizar fósforo y otros nutrientes hacia las especies que se encuentran cerca de estas. En este caso se puede observar que la concentración de P es mayor en los brinzales de *Pinus hartwegii* que se encuentran plantados en el tratamiento de *Lupinus* puesto que éstos arbustos generalmente tienden a exudar quelatantes de malato y citrato, los cuales hacen más disponible el P para las plantas aledañas a estos (Horst *et. al.*, 2001).

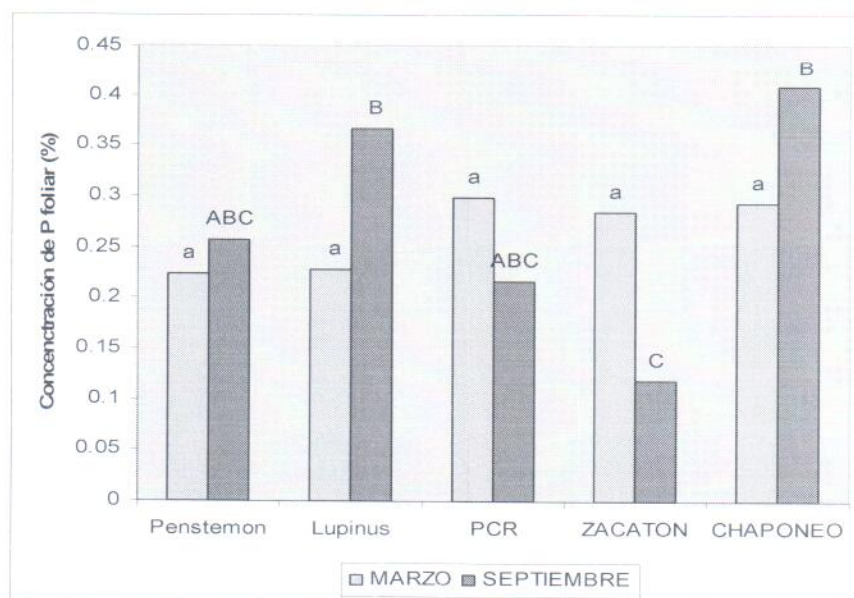


Figura 9. Variable Fósforo para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

Así mismo, Baker *et. al.*, (1986), obtuvieron menor concentración de P en árboles de *Pinus radiata* que no se encontraban cerca de *Lupinus arboreus*, con respecto a los que sí estaban cerca de esta leguminosa. Una mayor concentración de P aumenta las posibilidades de que los brinzales de *Pinus hartwegii* aumenten su crecimiento y sus posibilidades de supervivencia. Según Brown, (1999) cuando los pinos tienen muy poco fósforo disponible, su crecimiento tiende a disminuir.

En cuanto a la diferencia entre temporadas de medición, en la figura 9 se puede observar que en la temporada de sequía hay menor concentración de P, mientras que en lluvias, la concentración de P es mayor. De acuerdo con Jeschke y Pate (1995), las plantas tienden a incrementar sus niveles de P al igual que otros nutrientes en invierno (temporada de sequía), y por lo general lo almacenan en hojas y tallos. De igual modo, Jeschke y Pate (1995), relacionan este almacenamiento con el crecimiento de las plantas. Así mismo, Lamont *et. al.*, (1984), mencionan que las raíces proteoideas pueden llegar a inducir la formación de una capa de materia orgánica. Dicha capa generalmente es rica en componentes de ácidos fosfáticos, fenólicos, agua, etc., que enriquecen el suelo (Watt y Evans, 1999).

6.3.5. Potasio

En el caso univariado para la variable potasio en la temporada de sequía no se obtuvieron diferencias significativas, ($F= 0.61$, $P > F= 0.6576$). De forma opuesta ocurrió en la temporada de lluvias en la que si se observaron diferencias significativas para esta variable ($F= 2.47$, $P > F= 0.0774$). solamente se presentaron diferencias

significativas entre el tratamiento de *Lupinus* y el tratamiento PCR, de igual forma entre el tratamiento de chaponeo y el PCR, siendo en ambos casos inferior en la concentración de K el tratamiento PCR. Aunque no hay diferencias significativas entre los de *Penstemon* y zacaton, con respecto a los tratamientos *Lupinus* y chaponeo, puede observarse que la concentración de K en el tratamiento de árboles de *Lupinus* y el de chaponeo es mayor (Figura 10). Del mismo modo, Baker *et. al.* (1986) obtuvieron mayor concentración de K en árboles de *Pinus radiata* que se encontraban plantados cerca de *Lupinus arboreus*, con respecto a los que se encontraban lejos de esta leguminosa.

En caso contrario a lo que mencionan Baird y Alexander (1963), los tratamientos con menor cantidad de K presentan menor crecimiento en altura. Mika y Moore (1990), mencionan que cuando hay un aumento en la cantidad de nitrógeno en *Picea abies*, se tiende a reducir la asimilación de K.

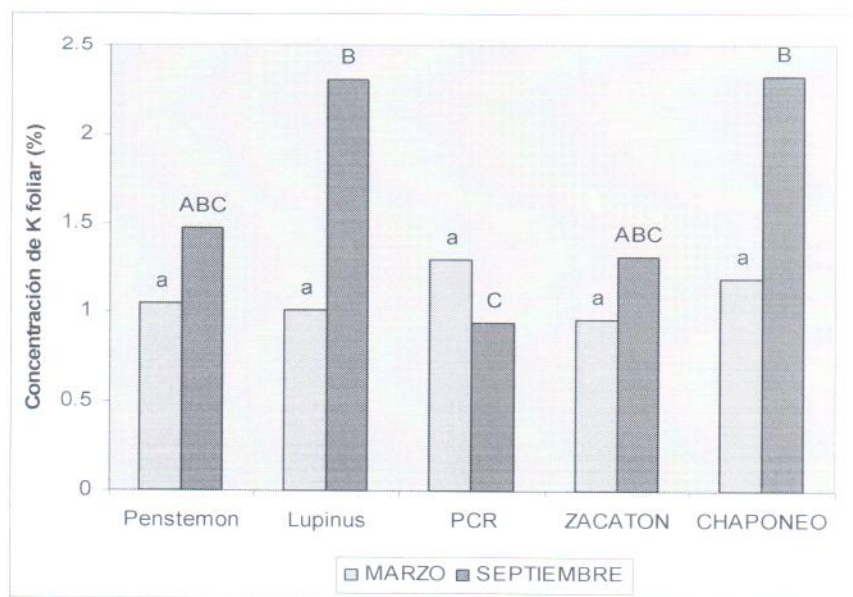


Figura 10. Variable Potasio para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

Es importante que los árboles que crecen en lugares secos o en lugares muy fríos, como es el caso de *Pinus hartwegii* mantengan una concentración adecuada de K en sus tejidos, pues de acuerdo con Van Den Driessche (1984), una buena concentración de K puede reflejarse en la resistencia a la sequía cuando la planta se encuentra bajo condiciones de estrés hídrico, lo cual ocurre comúnmente a bajas temperaturas, propias de las altitudes a las que se desarrollo el presente trabajo.

6.3.6. Radiación fotosintéticamente activa

En el caso univariado para la variable radiación fotosintéticamente activa en la temporada de sequía se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($F=7.11$, $P > F=0.0010$), del mismo modo ocurrió en la temporada de lluvias en la que también se observaron diferencias para esta variable ($F=6.63$, $P > F=0.0014$) (Figura 11).

Se puede observar que en las dos temporadas de medición de esta variable hubo diferencias estadísticamente significativas y en los dos casos el tratamiento que presentó mayor cantidad de RFA fue el PCR, pues este tratamiento no proporciona sombra a los brinzales de *Pinus hartwegii*. De igual manera, Ramirez-Marcial (1996) menciona que en áreas abiertas hay mayor RFA que en lugares protegidos por arbusto; de acuerdo con Nobel (1986) y Franco y Nobel, (1989), la sombra de las plantas nodrizas disminuyen la radiación fotosintéticamente activa, que puede ser disponible para las plántulas que se encuentran bajo su dosel, y una baja cantidad de RFA, puede limitar la absorción de CO_2 , como ocurre con varias plantas del desierto (CAM).

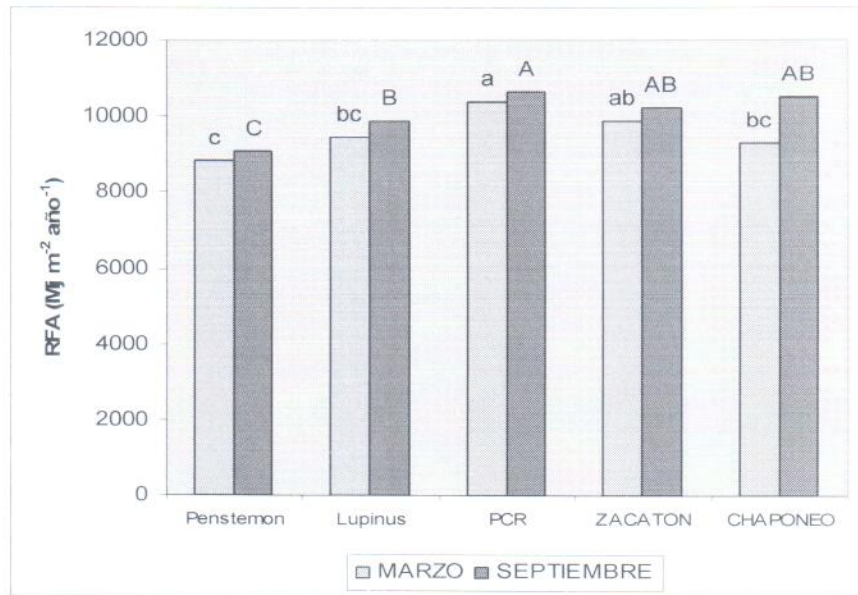


Figura 11. Figura de la variable Radiación fotosintéticamente activa para las dos temporadas de medición (sequía y lluvias).

El tratamiento de árboles plantados al NE de *Penstemon*, fue el que menor RFA presentó, por lo que se puede afirmar que los brinzales plantados mediante este tratamiento recibieron a lo largo del año menor RFA. Chadzon (1988) menciona que una reducción del 20 % de la radiación plena pueden afectar el crecimiento de algunas especies.

En la temporada de lluvias el tratamiento de árboles plantados al NE de *Penstemon* fue diferente al tratamiento de árboles plantados al NE de *Lupinus*, siendo mayor la RFA para los árboles que se encontraban en el tratamiento de *Lupinus*, esto se debe a que los arbustos de *Penstemon* son más grandes que los arbustos de *Lupinus*, por lo tanto estos últimos permiten pasar más luz. De acuerdo con Holmgren *et. al.*, (1997), la cantidad de RFA es menor para las plantas que se encuentran bajo el dosel de otras plantas.

6.4. REGRESIÓN LINEAL MULTIVARIADA

6.4.1. Árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*

6.4.1.1. Marzo

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, con la finalidad de poder observar si la relación entre las variables RFA (variable independiente), P y K (variables dependientes) es significativa y del mismo modo para RFA (variable independiente) y diámetro, biomasa total y K (variables dependientes) (Cuadro 11), en la cual se puede observar que las variables que componen la matriz de correlaciones no existe una relación significativa con un nivel de significancia del 10 %, excepto para la biomasa total y el K..

Cuadro. 11. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, en la temporada de sequía.

	Diámetro	BSTOT	RFA	P	K
Diámetro	1.000	0.643	-0.431	0.100	0.462
BSTOT		1.000	-0.343	0.807	0.809
RFA			1.000	-0.248	-0.779
P				1.000	0.779
K					1.000

6.4.1.1.1. Fósforo y potasio como función de radiación fotosintéticamente activa

Aunque no es significativa la relación de forma lineal simple para las variables P, K y RFA, en el análisis multivariado se puede observar que con un nivel de significancia del

10 % la regresión multivariada entre las variables P, K y RFA es significativa, de este modo se puede inferir que la concentración de P y K en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegii*, es afectada por la cantidad de radiación fotosintéticamente activa que los arbustos de *Penstemon gentianoides* permiten utilizar (Cuadro 12).

Cuadro 12. Regresión multivariada para P K = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.06429158	14.55	2	0.0643
Pillai's Trace	0.93570842	14.55	2	0.0643
Hotelling-Lawley Trace	14.55413514	14.55	2	0.0643
Roy's Greatest Root	14.55413514	14.55	2	0.0643

Lo que se puede observar, es que a medida de que se incrementa la cantidad de RFA, la concentración de P y K disminuye en el follaje de *Pinus hartwegii*. En el caso del K se puede observar más claramente que cuando se incrementa la RFA en 1 $Mj/m^2/año$, la concentración del K disminuye en un 0.00044 % (Figura 12). En el caso del P ocurre lo mismo, pero por cada 1 $Mj/m^2/año$, la concentración del P disminuye en un 0.000023 % ($P = 0.42815 - 0.000023 \text{ RFA}$).

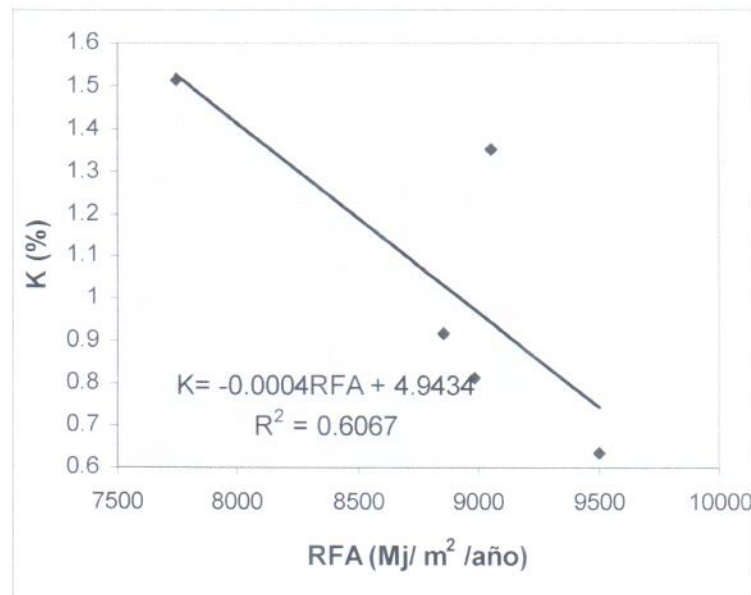


Figura 12. Regresión lineal simple K=RFA

6.4.1.1.2. Diámetro, biomasa total y potasio como función de radiación fotosintéticamente activa

Aunque no es significativa la relación de forma lineal simple para las variables diámetro, biomasa total, K y RFA, en el análisis multivariado se puede observar que con un nivel de significancia del 10 % la regresión multivariada entre las variables diámetro, biomasa total, K y RFA es significativa, de este modo se puede inferir que el diámetro, la cantidad de biomasa total y la concentración de K en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegii*, es afectada por la cantidad de RFA que los arbustos de *Penstemon gentianoides* permiten utilizar (Cuadro 13).

De acuerdo con los resultados que se presentan en la matriz de correlaciones, la relación lineal entre el diámetro, biomasa total, K y RFA es negativa, lo cual indica que cuando se incrementa la cantidad de RFA, el diámetro, la biomasa total y la concentración de K tienden a disminuir. De forma opuesta a los resultados que se obtuvieron en esta investigación, Linder (1987) menciona que a mayor disponibilidad de luz para *Picea*

abies y *Pinus sylvestris*, hay mayor incremento de biomasa y diámetro. Del mismo modo Robinson *et. al.*, (2002), consideran que la fotosíntesis es un buen indicador de producción de biomasa en *Pinus banksiana*, y es una respuesta a la competencia con especies herbáceas. Según Albrektson *et. al.*, (1997), una de las razones por las que aumenta el diámetro, se debe a que la copa de los brinzales tiende a expandirse cuando hay mayor presencia de luz.

Cuadro 13. Regresión multivariada para diámetro, biomasa total K = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00295871	112.33	3	0.0692
Pillai's Trace	0.99704129	112.33	3	0.0692
Hotelling-Lawley Trace	336.98545822	112.33	3	0.0692
Roy's Greatest Root	336.98545822	112.33	3	0.0692

Al igual que en los casos anteriores se puede observar que a medida de que se incrementa la RFA en $1 \text{ Mj/m}^2/\text{año}$, el diámetro disminuye en -0.00012658 cm . (diámetro = $2.19733 - 0.000127 \text{ RFA}$), mientras que la biomasa total disminuye -0.00066805 g (biomasa total = $10.7918 - 0.000668$) y la concentración de K disminuye -0.00044156% ($K = 4.9434 - 0.00044 \text{ RFA}$), por lo que se puede suponer que mientras estén más protegidos los brinzales de *Pinus hartwegii* de la radiación directa, aumentarán en diámetro, biomasa total, y concentración de K, dichas variables son de mucha importancia, para que los brinzales puedan resistir las condiciones adversas (bajas temperaturas, la intensidad de los vientos, poca disponibilidad de agua, etc.) que se presentan en la región donde se encuentran plantados.

6.4.1.2. Septiembre

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables K (variable independiente) y diámetro, biomasa total (variables dependientes), es significativa y del mismo modo para biomasa total (variable independiente) y N, K (variables dependientes) (Cuadro 14), en la cual se puede observar que entre las variables N y biomasa total, la relación lineal es significativa con un nivel de significancia del 10 %. De igual forma la relación lineal entre la concentración de K y biomasa también es significativa con una $r=0.978$.

Cuadro. 14. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, en la temporada de lluvias.

	DIA	BSTOT	N	K
DIA	1.000	-0.451	-0.429	-0.451
BSTOT		0.446	0.471	0.446
N	-0.451	1.000	0.819	0.978
K	0.446		0.090	0.004
	-0.429	0.819	1.000	0.876
	0.471	0.090		0.051
	-0.451	0.978	0.876	1.000
	0.446	0.004	0.051	

6.4.1.2.1. Diámetro y biomasa total como función del potasio.

Para la medición realizada en septiembre, en el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, la relación lineal entre la concentración de K y el diámetro no fue significativa, de de forma opuesta ocurrió entre la concentración de K y la biomasa total donde se puede observar que la relación lineal simple es

significativa. De igual forma el análisis regresión multivariada entre el diámetro, biomasa total y la concentración de K también es significativa con un nivel de significancia del 10 % (Cuadro 15).

Cuadro 15. Cuadro de Regresión multivariada para diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.04269004	22.42	2	0.0427
Pillai's Trace	0.95730996	22.42	2	0.0427
Hotelling-Lawley Trace	22.42466856	22.42	2	0.0427
Roy's Greatest Root	22.42466856	22.42	2	0.0427

De esta forma se puede inferir que la concentración de K influye directamente en la morfología de los brinzales de *Pinus hartwegii*, en el caso del diámetro cuando la concentración de K aumenta 1%, el diámetro disminuye 0.7341 cm. (Diámetro = $12.6813 - 0.7341 K$), pero de forma opuesta ocurre con la biomasa total, a medida que la concentración de K se incrementa en 1 % la biomasa aumenta en 3.86709 g (Figura 13).

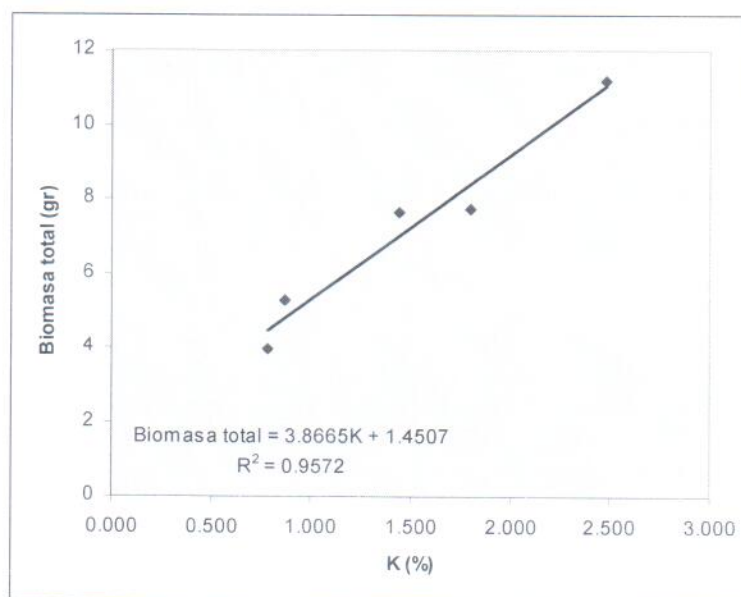


Figura 13. Regresión lineal simple Biomasa total=K

6.4.1.2.2. Nitrógeno y potasio como función de la biomasa total.

La regresión lineal simple, para la concentración de N y la biomasa total, al igual que la concentración de K y Biomasa total, son significativas con un nivel de significancia del 10 %, y 5 % respectivamente. El análisis de regresión multivariada para estas tres variables es significativa con un nivel de significancia del 5 %, por lo tanto se puede inferir que la biomasa total influye de manera individual en ambas concentraciones de nutrientes en el follaje de *Pinus hartwegii* (Cuadro 16).

Cuadro 16. Regresión multivariada para N K = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.03656131	26.35	2	0.0366
Pillai's Trace	0.96343869	26.35	2	0.0366
Hotelling-Lawley Trace	26.35131475	26.35	2	0.0366
Roy's Greatest Root	26.35131475	26.35	2	0.0366

Para el caso del N se puede observar que cuando aumenta la biomasa total, de igual forma aumenta la concentración de N, por 1 g de biomasa total la concentración de N aumenta 0.1938 % (Figura 14), Woods *et. al.* (1992) y Maule *et. al.*, (1995) mencionan que a medida que aumenta la cantidad de nitrógeno en árboles de *Pinus radiata* la biomasa también aumenta, además a mayor concentración de N los árboles tienden a aumentar su crecimiento, tanto en diámetro como en altura. De igual forma ocurre para el K, pues por 1 g. de biomasa total la concentración de K aumenta 0.2475 % ($K = -0.2958 + 0.2475 \text{ biomasa total}$).

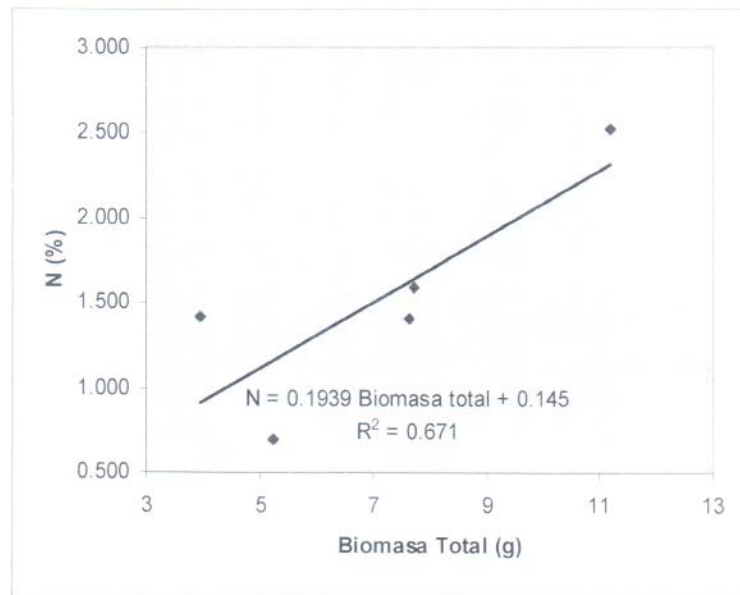


Figura 14. Regresión lineal simple N=Biomasa total

6.4.2. Árboles plantados al NE de los arbustos *Lupinus montanus*

6.4.2.1. Marzo

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Lupinus montanus*, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables altura, biomasa total, K (variables dependientes) y RFA (variable independiente), es significativa y del mismo modo para el diámetro, altura (variables dependientes) y K (variable independiente) (Cuadro 17), en la cual se puede observar que entre las variables que componen la matriz de correlaciones no existe una relación lineal significativa a nivel de significancia del 10%, excepto para el diámetro y el K, en la cual el valor de $r = -0.857$.

Cuadro. 17. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Lupinus montanus*, en la temporada de sequía.

	Diámetro	Altura	BSTOT	RFA	K
Diámetro	1.000	-0.648	-0.324	-0.361	-0.857
		0.237	0.595	0.550	0.064
Altura	-0.648	1.000	0.027	0.801	0.236
		0.237	0.966	0.104	0.703
BSTOT	-0.324	0.027	1.000	0.445	0.560
		0.595	0.966	0.453	0.326
RFA	-0.361	0.801	0.445	1.000	0.085
		0.550	0.453		0.892
K	-0.857	0.236	0.560	0.085	1.000
		0.064	0.703	0.892	

6.4.2.1.1. Altura, biomasa total y potasio como función de la radiación fotosintéticamente activa.

Para la medición realizada en marzo, en el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Lupinus montanus*, la relación lineal simple entre las tres variables (altura, biomasa total y concentración de K) y la RFA significativa con un nivel de significancia del 5 %. En el análisis regresión multivariada, se puede observar que la RFA influye en las tres variables de manera muy importante, en la cual los brinzales de *Pinus hartwegii* dependen totalmente de la cantidad de RFA que el arbusto de *Lupinus montanus* les permite utilizar (Cuadro 18).

Cuadro 18. Regresión multivariada para altura biomasa total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	GL Den	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0004114	809.91	3	1	0.0258
Pillai's Trace	0.9995886	809.91	3	1	0.0258
Hotelling-Lawley Trace	2429.727	809.91	3	1	0.0258
Roy's Greatest Root	2429.727	809.91	3	1	0.0258

De forma contraria con lo que ocurre en el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides*, en este tratamiento la RFA, influye en el crecimiento en altura, pues por cada 1 $Mj/m^2/año$ la altura aumenta en 0.00086 cm. (Figura 15), de igual forma ocurre con la biomasa total, pues por cada 1 $Mj/m^2/año$ la biomasa aumenta 0.00076 g (Biomasa Total = $-2.18234 + 0.00076$ RFA) y para el caso del K por cada 1 $Mj/m^2/año$ el potasio aumenta en 0.00004 % ($K = 0.59116 + 0.00004$ RFA).

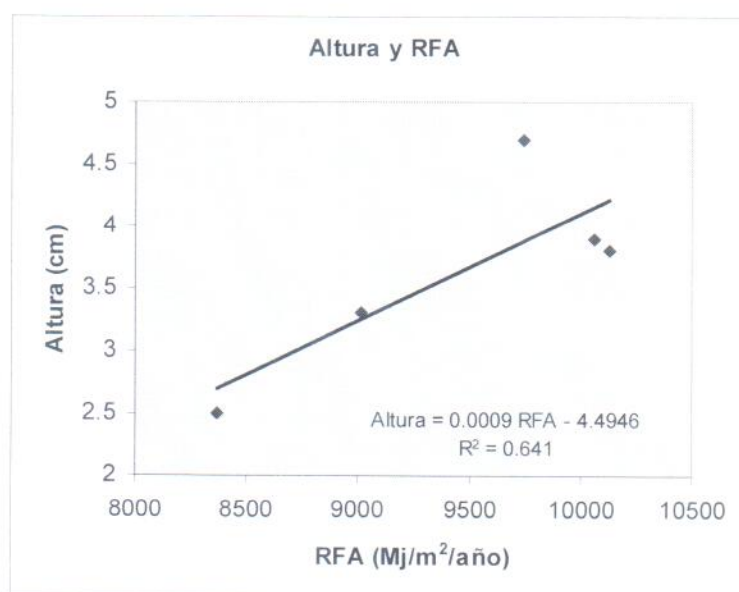


Figura 15. Regresión lineal simple altura=RFA

6.4.2.1.2. Diámetro y altura como función del potasio

Aunque la relación entre la altura y la concentración de K no haya sido significativa en la regresión lineal simple, para el caso de la regresión lineal multivariada esta variable adquiere mucha importancia, pues en esta prueba con un nivel de significancia del 10 % se puede constatar que la altura y el diámetro dependen de manera simultánea de la concentración de K (Cuadro 19). De acuerdo con Drew (1975), a medida que la

concentración de K disminuye, también la altura disminuye, en los brinzales de *Pinus hartwegii*, pero de manera opuesta el diámetro en este caso se incrementa, a cuando hay menor concentración de K.

Cuadro 19. Regresión multivariada para Diámetro altura = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.08957	10.16	2	0.0896
Pillai's Trace	0.91042	10.16	2	0.0896
Hotelling-Lawley Trace	10.1638	10.16	2	0.0896
Roy's Greatest Root	10.1638	10.16	2	0.0896

De igual forma que en el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Penstemon gentianoides* cuando aumenta la concentración de K, el diámetro disminuye, en este caso por cada 1 % de aumento en la concentración de K el diámetro disminuye 0.284 cm. (Figura 16), pero de forma contrario ocurre con la altura, pues por cada 1% de aumento en la concentración de K la altura se incrementa en 0.486 cm. (Altura = $3.1487 + 0.486 K$).

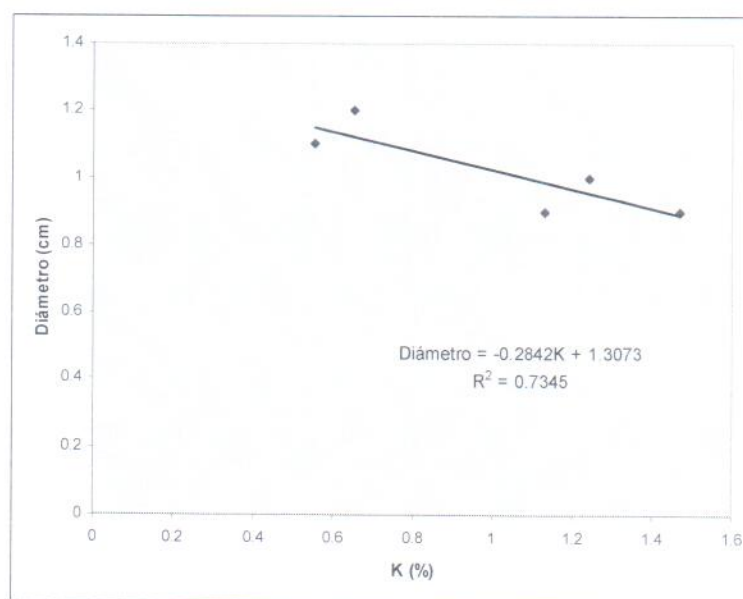


Figura 16. Regresión lineal simple Diámetro=K

6.4.2.2. Septiembre

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Lupinus montanus*, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables diámetro, biomasa total (variables dependientes) y RFA (variable independiente), es significativa y del mismo modo para el diámetro, altura (variables dependientes) y P (variable independiente), así como para las variables altura, diámetro, biomasa total (variables dependientes) y K (variable independiente) (Cuadro 20), en la cual se puede observar que las variables biomasa total y diámetro presentan una relación lineal significativa, con una $r=0.939$, del mismo modo ocurre entre el diámetro y la RFA quienes presentan una $r=-0.916$.

Cuadro. 20. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados al NE de los arbustos de *Lupinus montanus*, en la temporada de lluvias.

	Diámetro	Altura	BSTOT	RFA	P	K
Diámetro	1.000	0.122	0.939	-0.916	0.635	0.551
Altura		0.845	0.018	0.029	0.250	0.336
	0.122	1.000	0.192	-0.068	0.826	0.609
BSTOT	0.845		0.756	0.913	0.085	0.276
	0.939	0.192	1.000	-0.748	0.700	0.772
RFA	0.018	0.756		0.146	0.188	0.127
	-0.916	-0.068	-0.748	1.000	-0.529	-0.280
P	0.029	0.913	0.146		0.360	0.648
	0.635	0.826	0.700	-0.529	1.000	0.848
K	0.250	0.085	0.188	0.360		0.070
	0.551	0.609	0.772	-0.280	0.848	1.000
	0.336	0.276	0.127	0.648	0.070	

6.4.2.2.1. Diámetro y biomasa total como función de la radiación fotosintéticamente activa

Aunque la regresión lineal simple entre las variables biomasa total y RFA no hayan sido significativas, en la prueba multivariada con un nivel de significancia del 10 %, se demuestra que la biomasa total y el diámetro son dependientes de manera simultánea de la RFA (Cuadro 21).

Cuadro 21. Regresión multivariada para Diámetro Biomasa Total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0535	17.67	2	0.0536
Pillai's Trace	0.9464	17.67	2	0.0536
Hotelling-Lawley Trace	17.671	17.67	2	0.0536
Roy's Greatest Root	17.671	17.67	2	0.0536

De forma similar a otros casos la RFA influye en el diámetro y biomasa total de los brinzales de *Pinus hartwegii*, pues puede observarse que a medida que la RFA aumenta el diámetro y la biomasa total disminuyen, por el caso del diámetro por cada 1 $Mj/m^2/año$ el diámetro disminuye 0.0005 cm. (Figura 17), mientras que la biomasa total disminuye 0.0048 g (Biomasa total = 55.8842 – 0.0048 RFA).

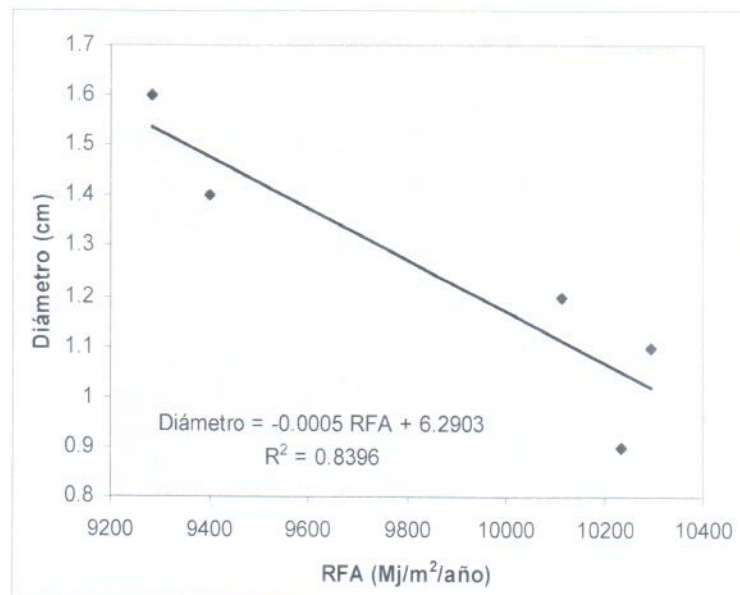


Figura 17. Regresión lineal simple diámetro = RFA

6.4.2.2.2. Altura y diámetro como función del fósforo

Mediante el análisis de regresión multivariada se puede observar que las variables altura y diámetro dependen de manera significativa de la concentración de P que se encontraba en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegi*, lo que nos indica que una variación en la concentración del P no solo afectaría a una variable, sino que las dos variables en cuestión se verían afectadas (Cuadro 22). McKevlin y McKee (1986), mencionan que el P influye de manera significativa en el incremento en diámetro, altura y biomasa total de *Pinus taeda*, y además de que facilita la adquisición de nutrientes de los árboles.

Se puede observar que a medida que el P se incrementa, la altura y el diámetro también tienden a aumentar, para este caso por cada 1% de aumento en el P la altura aumenta

21.7583 cm (Figura 18), mientras que el diámetro se incrementaría 13.592 cm (diámetro = 7.41720 + 13.592 P).

Cuadro 22. Regresión lineal multivariada para altura diámetro = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del P

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.02876053	33.77	2	0.0288
Pillai's Trace	0.97123947	33.77	2	0.0288
Hotelling-Lawley Trace	33.76987452	33.77	2	0.0288
Roy's Greatest Root	33.76987452	33.77	2	0.0288

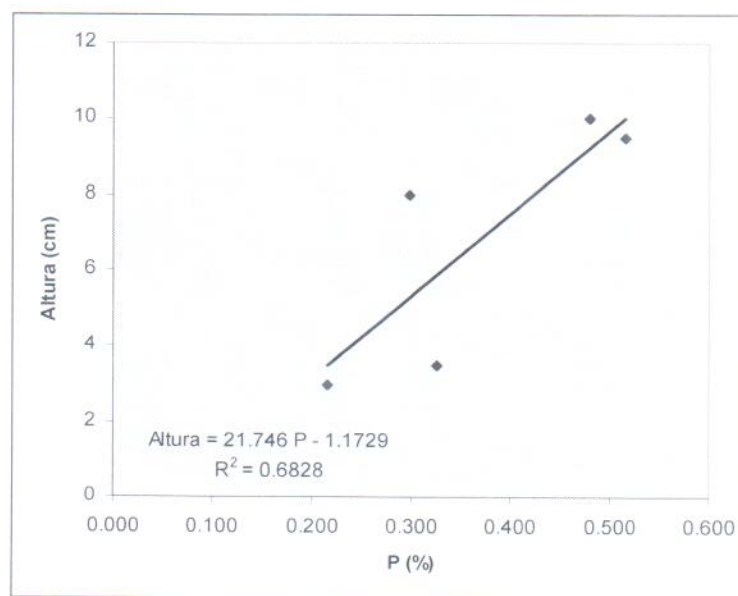


Figura 18. Regresión lineal simple altura=P

6.4.2.2.3. Altura, diámetro y biomasa total como función del potasio

Aunque la matriz de correlaciones no se demuestran dependencia alguna entre las variables morfológicas y la concentración de K en el follaje de los brizales de *Pinus hartwegii*, en el análisis multivariado la dependencia de las variables morfológicas con la concentración de K es significativa con un nivel de significancia del 5 %, de este

modo se puede afirmar que las tres variables dependen de manera simultanea de la concentración de K, pues si este varia, las tres variables también se modificarían (Cuadro 23).

Cuadro 23. Regresión lineal multivariada para altura diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0003867	861.74	3	0.0250
Pillai's Trace	0.9996133	861.74	3	0.0250
Hotelling-Lawley Trace	2585.2274	861.74	3	0.0250
Roy's Greatest Root	2585.2274	861.74	3	0.0250

Se puede observar que a medida que la concentración de K aumenta también aumenta la altura, el diámetro y la biomasa total, en este caso por cada 1% de incremento en la concentración de K la altura aumenta 1.5399 cm ($\text{Altura} = 3.2533 + 1.5399 K$), el diámetro aumenta 1.1313 cm ($\text{diámetro} = 9.7944 + 1.1313 K$) y la biomasa total 1.8264 g (Figura 19). De acuerdo con Drew (1975), a medida que la concentración de K disminuye, también el diámetro, la altura y la cantidad de biomasa tienden a disminuir, en los brinzales de *Pinus hartwegii*.

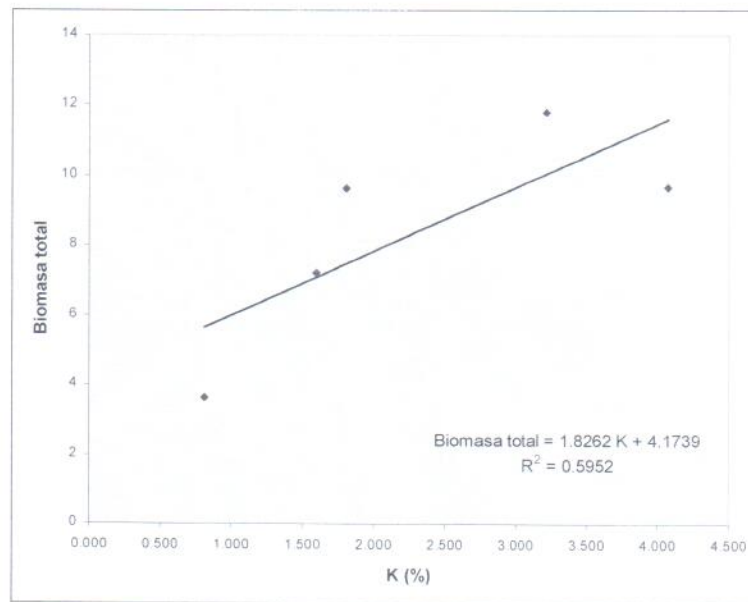


Figura 19. Regresión lineal simple biomasa total = K

6.4.3. Pequeños claros naturales (PCR)

6.4.3.1. Marzo

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento PCR, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables diámetro, biomasa total (variables dependientes) y N (variable independiente), así como para las variables diámetro y biomasa total (variables dependientes) y K (variable independiente) (Cuadro 24), en la cual se puede observar que las variables biomasa total y N presentan una relación lineal significativa, con una $r=0.987$, del mismo modo ocurre entre biomasa total y P con una $r=0.889$, y para las variables biomasa total y K quienes presentan una $r=0.955$.

Cuadro 24. Matriz de correlaciones del tratamiento PCR en la temporada de sequía.

	Diámetro	BSTOT	N	K
Diámetro	1.000	0.630	0.714	0.697
		0.255	0.176	0.191
BSTOT	0.630	1.000	0.987	0.955
		0.255	0.002	0.011
N	0.714	0.987	1.000	0.986
		0.176		0.002
K	0.697	0.955	0.986	1.000
		0.191	0.002	

6.4.3.1.1. Diámetro y biomasa total como función del nitrógeno

Aunque la regresión entre las variables diámetro y N no haya sido significativa, en el análisis multivariado el diámetro y la biomasa total son dependientes de la concentración de N presente en el follaje de *Pinus hartwegii*, en este caso si aumenta la concentración de N, no solo afecta a la variable Biomasa total, sino que también afecta al diámetro (Cuadro 25). De manera similar, Woods *et. al.*, (1992) encuentran una correlación positiva entre la cantidad de N presente en las acículas de *Pinus radiata* y el diámetro, y de igual forma a medida que la concentración de N aumenta el diámetro también aumenta, de igual forma Borders *et. al.*, (2004) y Maule *et. al.*, (1995), mencionan que cuando hay mayor cantidad de nitrógeno los brinzales de *Pinus taeda* tienden a aumentar su desarrollo, tanto en diámetro como en biomasa.

Cuadro 25. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = N. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de N

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.01223940	80.70	2	0.0122
Pillai's Trace	0.98776060	80.70	2	0.0122
Hotelling-Lawley Trace	80.70335376	80.70	2	0.0122
Roy's Greatest Root	80.70335376	80.70	2	0.0122

Se puede observar que a medida que la concentración de N aumenta, también aumenta el diámetro, y del mismo modo la biomasa total se incrementa. Para este caso si el N aumenta en 1% el diámetro aumenta 0.09256 cm (diámetro = $0.96176 + 0.09256 N$), mientras que la biomasa total aumenta 4.08521 g (Figura 20).

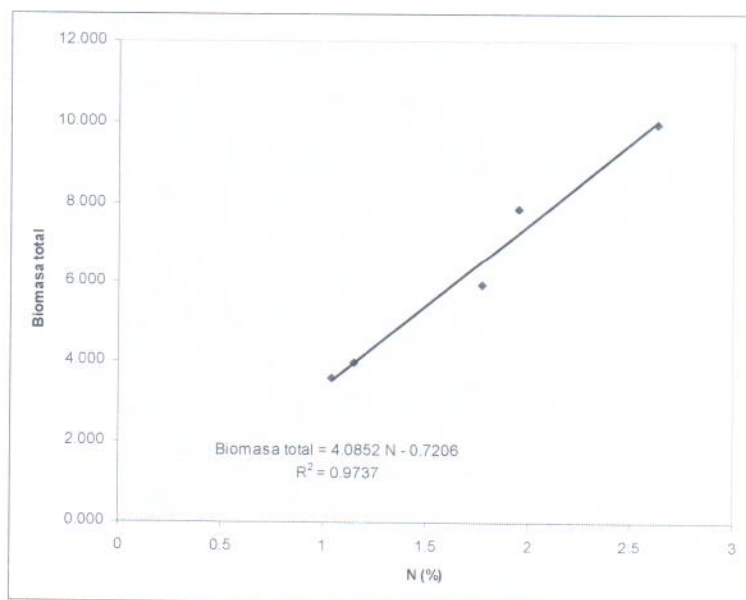


Figura 20. Regresión lineal simple biomasa total = N

6.4.3.1.3. Diámetro y biomasa total como función del potasio

Aunque la regresión entre las variables diámetro y K, no haya sido significativa, en el análisis multivariado, el diámetro y la biomasa total son dependientes de la concentración de K, en este caso si aumenta la concentración de K, no solo afecta a la variable biomasa total, sino que también afecta al diámetro (Cuadro 26). De acuerdo con Drew (1975), a medida que la concentración de K disminuye, también el diámetro y la cantidad de biomasa tienden a disminuir, en los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Cuadro 26. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K

Estadístico	Valor	Valor F	GL	GL Den	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0723	12.83	2	2	0.0723
Pillai's Trace	0.9277	12.83	2	2	0.0723
Hotelling-Lawley Trace	12.830	12.83	2	2	0.0723
Roy's Greatest Root	12.830	12.83	2	2	0.0723

De manera similar que con el N, a medida que se incrementa la concentración del K, el diámetro y la biomasa total también aumentan. Para este caso cuando el K aumenta en 1% el diámetro aumenta 0.0925cm (diámetro = $1.0001 + 0.0925 K$), y la biomasa total aumenta 4.0476g (Figura 21).

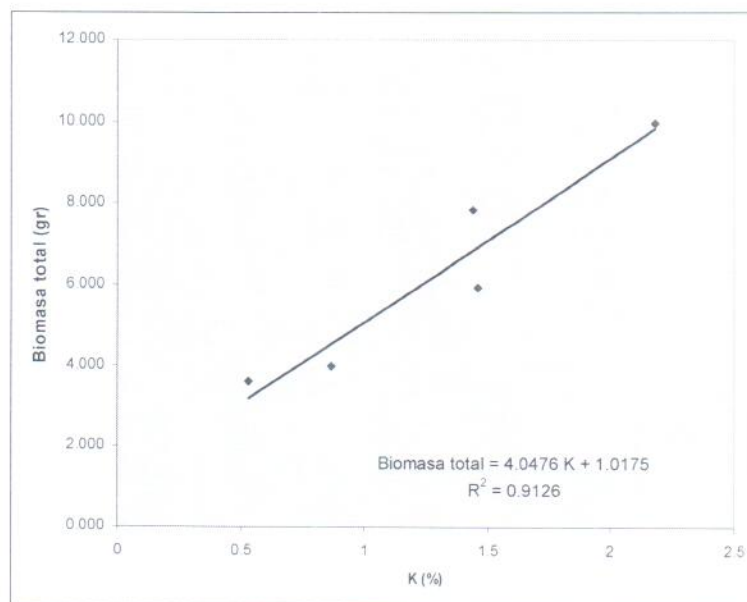


Figura 21. Regresión lineal simple biomasa total=K

6.4.3.2. Septiembre

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento PCR, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables diámetro, biomasa total (variables dependientes) y P (variable independiente) es significativa, del mismo modo para la altura, diámetro, biomasa total (variables dependientes) y K (variable independiente) y para las variables diámetro, N (variables dependientes) y biomasa total (variable independiente) (Cuadro 27), en la cual se puede observar que la variable biomasa total presenta una relación lineal significativa con el N, P y K.

Cuadro 27. Matriz de correlaciones del tratamiento PCR en la temporada de sequía.

	Diámetro	Altura	BSTOT	N	P	K
Diámetro	1.000	-0.457	0.921	0.671	0.676	0.721
		0.439	0.026	0.215	0.210	0.170
Altura	-0.457	1.000	-0.446	-0.738	-0.217	-0.512
		0.439	0.452	0.154	0.726	0.378
BSTOT	0.921	-0.446	1.000	0.826	0.895	0.926
		0.026	0.452	0.085	0.040	0.024
N	0.671	-0.738	0.826	1.000	0.717	0.909
		0.215	0.154	0.085	0.173	0.032
P	0.676	-0.217	0.895	0.717	1.000	0.939
		0.210	0.726	0.173		0.018
K	0.721	-0.512	0.926	0.909	0.939	1.000
		0.170	0.378	0.032	0.018	

6.4.3.2.1. Diámetro y biomasa total como función del fósforo

Aunque la regresión lineal simple entre las variables diámetro y P no haya sido significativa, en el análisis multivariado el diámetro y la biomasa total son dependientes de la concentración de P presente en el follaje de *Pinus hartwegii*, en este caso si aumenta la concentración de P, no solo afecta a la biomasa total, sino que también afecta al diámetro (Cuadro 28). McKevlin y McKee (1986), mencionan que el P influye de manera significativa en el incremento en diámetro, altura y biomasa total de *Pinus taeda*, de igual modo Tessier y Raynal (2003), mencionan que cuando se incrementa el P en *Acer spp.*, *Dryopteris intermedia* (Muhl. ex Willd.) A. Gray., *Erythronium americanum* Ker., *Lycopodium lucidulum* Michx. X L. porophilum FELloyd & Underw., *Oxalis acetosella* L. y *Viola macloskeyi* Lloyd., la biomasa tiende a aumentar.

Cuadro 28. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de P.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0516	18.38	2	0.0516
Pillai's Trace	0.9484	18.38	2	0.0516
Hotelling-Lawley Trace	18.378	18.38	2	0.0516
Roy's Greatest Root	18.378	18.38	2	0.0516

De manera similar que con el N y K, a medida que se incrementa la concentración del P, el diámetro y la biomasa total también aumentan. Para este caso cuando el P aumenta en 1% el diámetro aumenta 1.0064 cm (diámetro = $1.1222 + 1.0064 P$), y la biomasa total aumenta 11.889 g (Figura 22).

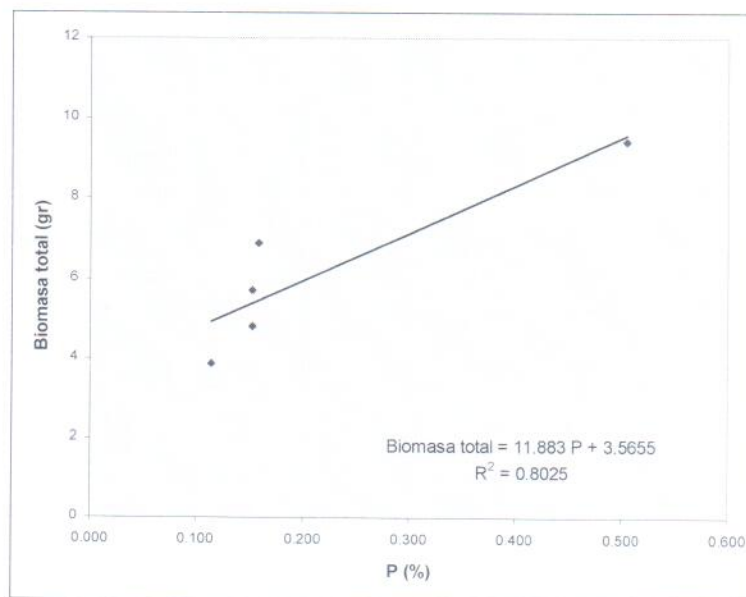


Figura 22. Regresión lineal biomasa total = P

6.4.3.2.2. Altura, diámetro y biomasa total como función del potasio

Aunque las regresiones simples no demuestren dependencia alguna entre las variables diámetro, altura y la concentración de K en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegii*,

en el análisis multivariado con un nivel de significancia del 5 % la dependencia de las variables morfológicas (diámetro, altura y biomasa total) con la concentración de K es significativa, de este modo se puede afirmar que las tres variables dependen de manera simultánea de la concentración de K, pues si éste varía, las tres variables también se modificarían (Cuadro 29). De acuerdo con Drew (1975), a medida que la concentración de K disminuye, también el diámetro y la cantidad de biomasa tienden a disminuir, en los brinzales de *Pinus hartwegii* excepto en la altura, para este tratamiento a medida que la concentración de K disminuye, la altura tiende a aumentar.

Cuadro 29. Regresión lineal multivariada para altura diámetro biomasa total = P. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0004203	792.82	3	0.0261
Pillai's Trace	0.9995797	792.82	3	0.0261
Hotelling-Lawley Trace	2378.4475803	792.82	3	0.0261
Roy's Greatest Root	2378.4475803	792.82	3	0.0261

Se puede observar que a medida que la concentración de K aumenta la altura disminuye, mientras que el diámetro y la biomasa total aumentan, en este caso por cada 1% de incremento en la concentración de K la altura disminuye -0.417cm (altura = 1.0586 + 0.2994 K), el diámetro aumenta 2.994 cm (diámetro = 3.3322 - 0.417 K) y la biomasa total 3.4326 g (Figura 23).

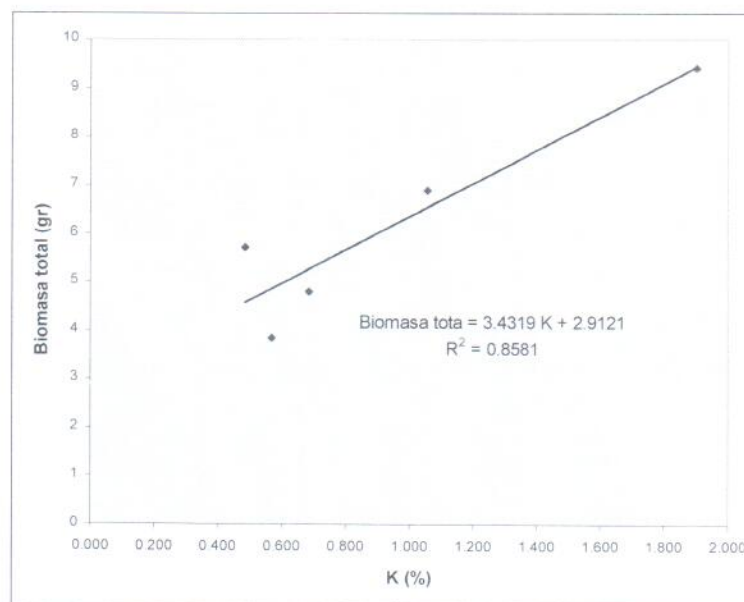


Figura 23. Regresión lineal biomasa total = K

6.4.3.2.3. Diámetro y nitrógeno como función de la biomasa total

Aunque la matriz de correlaciones demuestre existe dependencia significativa entre el diámetro, nitrógeno y biomasa total, en el análisis multivariado muestra dependencia significativa entre las variables diámetro y N con la biomasa total con un nivel de significancia del 10 %, de este modo se puede afirmar que las dos variables dependen de manera simultanea de la biomasa total (Cuadro 30).

Cuadro 30. Regresión lineal multivariada para Diámetro N = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de biomasa total.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.07279962	12.74	2	0.0728
Pillai's Trace	0.92720038	12.74	2	0.0728
Hotelling-Lawley Trace	12.73633597	12.74	2	0.0728
Roy's Greatest Root	12.73633597	12.74	2	0.0728

Se puede observar que a medida que la biomasa total aumenta el diámetro y la concentración de N también aumentan, en este caso por cada 1g de incremento en la biomasa total la altura aumenta 0.1033 cm (Figura 24) y el N aumenta 0.4196 % ($N = -1.114 + 0.4196 \text{ Biomasa total}$).

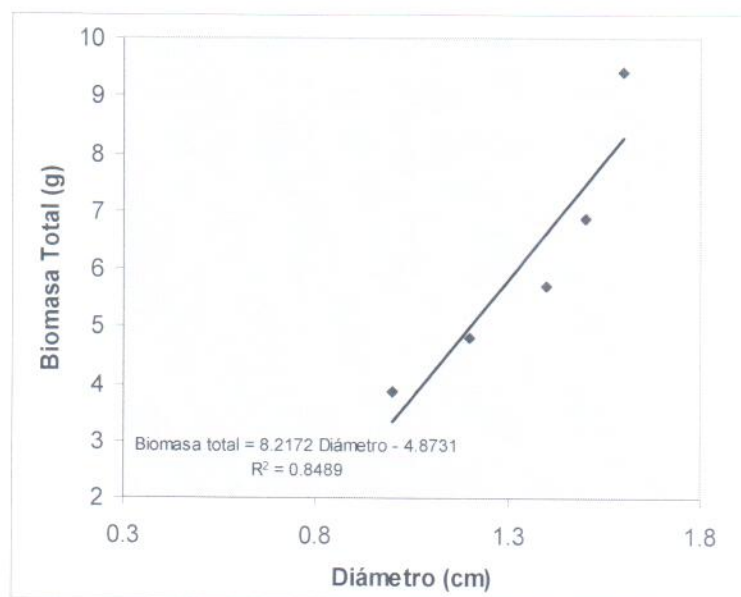


Figura 24. Regresión lineal diámetro = biomasa total

6.4.4. ZACATÓN

6.4.4.1. Marzo

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados entre zacaton, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables altura, biomasa total (variables dependientes) y K (variable independiente) es significativa y del mismo modo para el N, P, K (variables dependientes) y la RFA (variable

independiente) (Cuadro 31), en la cual se puede observar que existe una relación lineal significativa entre el K y la biomasa total con una $r=0.944$.

Cuadro 31. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton en la temporada de sequía.

	Altura	BSTOT	RFA	N	P	K
Altura	1.000	-0.267	0.080	-0.370	-0.539	-0.013
		0.664	0.899	0.540	0.349	0.983
BSTOT	-0.267	1.000	-0.216	0.735	0.774	0.944
		0.664	0.727	0.157	0.125	0.016
RFA	0.080	-0.216	1.000	-0.747	-0.504	-0.155
		0.899	0.727	0.147	0.387	0.803
N	-0.370	0.735	-0.747	1.000	0.941	0.679
		0.540	0.157	0.147	0.017	0.207
P	-0.539	0.774	-0.504	0.941	1.000	0.718
		0.349	0.125	0.017		0.172
K	-0.013	0.944	-0.155	0.679	0.718	1.000
		0.983	0.016	0.803	0.207	0.172

6.4.4.1.1. Altura y biomasa total como función del potasio

Se puede observar que la relación lineal entre la altura y el K, no es significativa, pero en el análisis de regresión multivariada se puede ver que la altura y la biomasa total, son afectadas por la concentración de K de forma simultanea (Cuadro 32). De acuerdo con Drew (1975) a medida que la concentración de K disminuye, también el la cantidad de biomasa tiende a disminuir, en los brinzales de *Pinus hartwegii* excepto en la altura, para este tratamiento a medida que la concentración de K disminuye, la altura tiende a aumentar.

Cuadro 32. Regresión lineal multivariada para altura biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de K

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.04713303	20.22	2	0.0471
Pillai's Trace	0.95286697	20.22	2	0.0471
Hotelling-Lawley Trace	20.21654290	20.22	2	0.0471
Roy's Greatest Root	20.21654290	20.22	2	0.0471

A medida que la concentración de K aumenta la altura disminuye, de forma opuesta ocurre con la biomasa total pues al aumentar la concentración de K la biomasa aumenta. Para este caso por 1 % de incremento de K la altura disminuye 0.078 cm ($\text{altura} = 3.3747 - 0.078 K$) y la biomasa total aumenta 10.306 % (Figura 25).

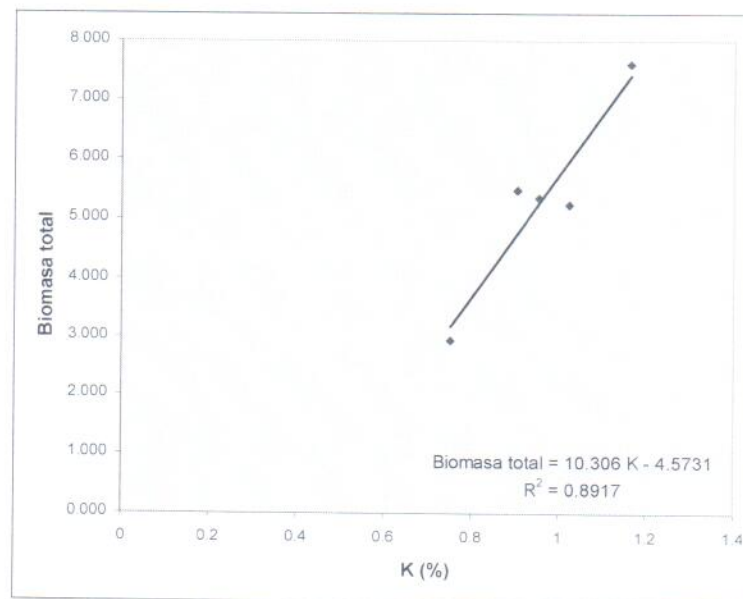


Figura 25. Regresión lineal biomasa total = K

6.4.4.1.2. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la radiación fotosintéticamente activa

Aunque en la regresiones simples no hayan resultado significativas, analizándolas mediante un análisis de regresión multivariada la dependencia de estas tres variables (N,

P y K), con la RFA es significativa (Cuadro 33) lo cual nos indica que una variación en la RFA modificaría las concentraciones de los tres nutrientes en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegii*. De igual forma, Kellomäki y Wang (1997) mencionan que la concentración de nitrógeno foliar en *Pinus sylvestris* depende totalmente de la cantidad de RFA y la temperatura que el árbol puede recibir, Weih y Karlsson (1999), mencionan que cuando las plantas de *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* (N. I. Orlova) Hämet-Ahti., se encuentran bajo sombra, o menor cantidad de RFA tienden a disminuir la concentración de N.

Cuadro 33. Regresión lineal multivariada para N P K = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00385	86.23	3	0.0790
Pillai's Trace	0.99615	86.23	3	0.0790
Hotelling-Lawley Trace	258.678	86.23	3	0.0790
Roy's Greatest Root	258.678	86.23	3	0.0790

Se puede observar que a medida que la RFA aumenta, la concentración de los tres nutrientes tienden a disminuir, en este caso por 1 $Mj/m^2/año$ de aumento en RFA la concentración de nitrógeno disminuye 0.0009 % ($N = 10.4478 - 0.0009 \text{ RFA}$). Robinson *et. al.* (2002), mencionan que a medida que hay mayor cantidad de N la fotosíntesis disminuye en *Pinus banksiana*, en este caso observamos que a medida que se incrementa la RFA la concentración de N disminuye, lo que se puede inferir es que a medidas que aumenta la RFA, también la fotosíntesis aumenta, lo que ocasiona que la concentración de N disminuya, en el caso del P disminuye 0.0002 % ($P = 2.3235 - 0.0002 \text{ RFA}$) y el K disminuye 0.00009 % ($K = 1.82037 + -0.00009 \text{ RFA}$).

6.4.4.2. Septiembre

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados entre zacaton, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables diámetro, biomasa total (variables dependientes) y N (variable independiente) es significativa, del mismo modo para el diámetro, biomasa total (variables dependientes) y K (variable independiente) es significativa y para N, P, K (variables dependientes) y la biomasa total (variable independiente) (Cuadro 34), en la cual se puede observar que existe una relación lineal significativa entre la biomasa total y el diámetro, al igual que el N y la biomasa total, y el K y la biomasa total.

Cuadro 34. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton en la temporada de sequía.

	Diámetro	BSTOT	N	P	K
Diámetro	1.000	0.811	0.649	0.101	0.790
		0.096	0.236	0.871	0.112
BSTOT	0.811	1.000	0.965	0.151	0.969
	0.096		0.008	0.809	0.006
N	0.649	0.965	1.000	0.029	0.964
	0.236	0.008		0.963	0.008
P	0.101	0.151	0.029	1.000	-0.095
	0.871	0.809	0.963		0.879
K	0.790	0.969	0.964	-0.095	1.000
	0.112	0.006	0.008	0.879	

6.4.4.2.1. Diámetro y biomasa total como función del nitrógeno

Aunque en la relación lineal entre diámetro y el N no haya sido significativa, se puede observar que el diámetro junto con la biomasa total dependen de la concentración de N que hay en el follaje de *Pinus hartwegii*, pues analizándolas estas variables mediante un

análisis de regresión multivariada la dependencia de estas tres variables (diámetro y biomasa total), con la concentración de N es significativa, lo cual nos indica que una variación en la concentración de N modificaría el diámetro y la biomasa total de los brinzales de *Pinus hartwegii* (Cuadro 35).

Cuadro 35. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = N. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de N.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.01653012	59.50	2	0.0165
Pillai's Trace	0.98346988	59.50	2	0.0165
Hotelling-Lawley Trace	59.49562037	59.50	2	0.0165
Roy's Greatest Root	59.49562037	59.50	2	0.0165

Se puede observar que a medida que la concentración de N aumenta el diámetro tiende a aumentar, de forma similar ocurre con la biomasa total. Para este caso por 1 % de incremento de N el diámetro aumenta 0.0566 cm ($\text{diámetro} = 1.2192 + 0.0566 N$) y la biomasa total aumenta 2.3241 g (Figura 26), Woods *et. al.* (1992) y Maule *et. al.*, (1995), mencionan que a medida que aumenta la cantidad de nitrógeno en árboles de *Pinus radiata*, la biomasa, altura y el diámetro también tienden a aumentar.

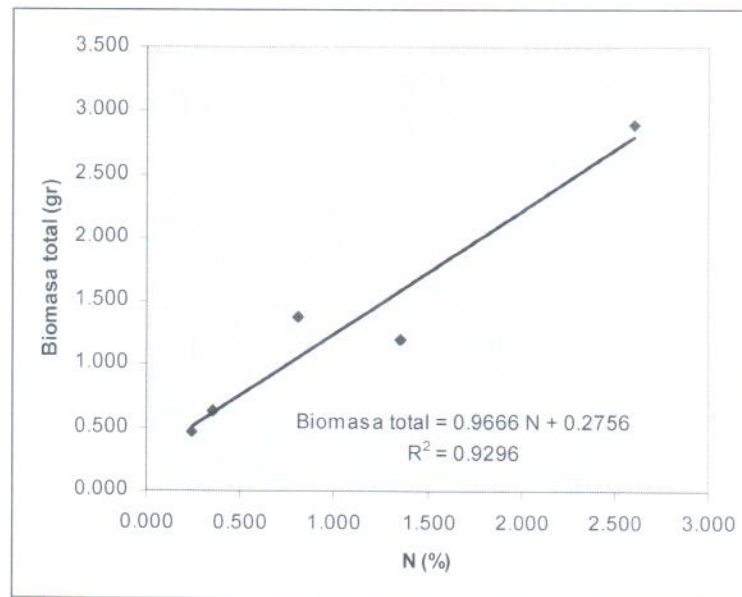


Figura 26. Regresión lineal biomasa total = N

6.4.4.2.2. Diámetro y biomasa total como función del potasio

Aunque en la regresión simple entre diámetro y K no haya sido significativa, se puede observar que el diámetro junto con la biomasa total dependen de la concentración de K que hay en el follaje de *Pinus hartwegii* si se analizan estas variables mediante regresión multivariada, puede observarse que la dependencia de estas tres variables (diámetro y biomasa total), con la concentración de K es significativa, lo cual nos indica que una variación en la concentración de K modificaría el diámetro y la biomasa total de los brinzales de *Pinus hartwegii* (Cuadro 36). De acuerdo con Drew (1975), a medida que la concentración de K disminuye, también el diámetro y la cantidad de biomasa tienden a disminuir, en los brinzales de *Pinus hartwegii*.

Cuadro 36. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total = K. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis del K

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.06037076	15.56	2	0.0604
Pillai's Trace	0.93962924	15.56	2	0.0604
Hotelling-Lawley Trace	15.56431157	15.56	2	0.0604
Roy's Greatest Root	15.56431157	15.56	2	0.0604

A medida que la concentración de K aumenta el diámetro también tiende a incrementar, de forma similar ocurre con la biomasa total. Para este caso por 1 % de incremento de K el diámetro aumenta 0.0687 cm (diámetro = $1.1897 + 0.0687 K$) y la biomasa total aumenta 2.3295 g (Figura 27).

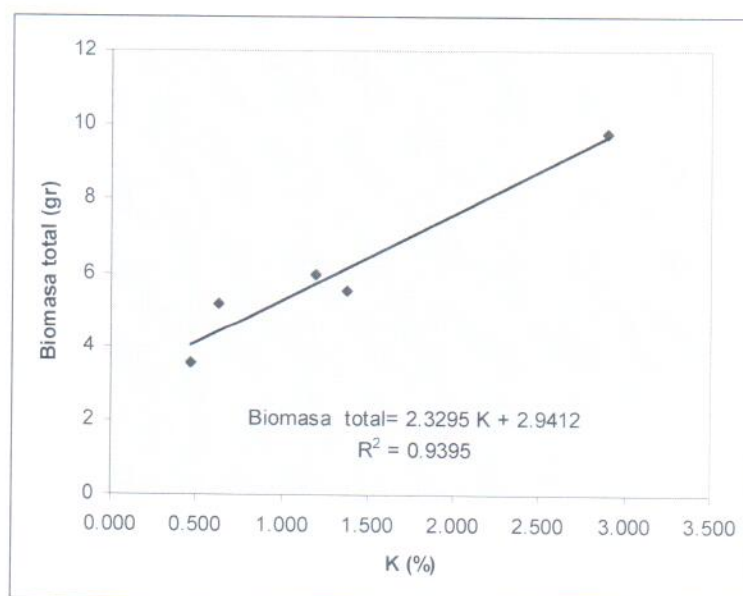


Figura 27. Regresión lineal Biomasa total = K

6.4.4.2.3. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la biomasa total

Aunque la regresión simple entre las variables P y biomasa total no hayan resultado significativas, analizando el P en forma conjunta con el N y el K mediante un análisis de

regresión multivariada se puede confirmar que la regresión multivariada es significativa para estas tres variables (N, P y K), con la biomasa total (Cuadro 37).

Cuadro 37. Regresión lineal multivariada para N P K = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00087	382.77	3	0.0376
Pillai's Trace	0.99913	382.77	3	0.0376
Hotelling-Lawley Trace	1148.3	382.77	3	0.0376
Roy's Greatest Root	1148.3	382.77	3	0.0376

Se puede observar que a medida que la biomasa total aumenta la concentración de N, P y K tienden a aumentar. Para este caso por 1g de incremento de biomasa total la concentración de N aumenta 0.40059 % ($N = 0.21666 + 0.23836 \text{ biomasa total}$) y la concentración de P aumenta 0.00389 % ($P = -0.00984 + 0.04935 \text{ biomasa total}$) y la concentración de K aumenta 0.40335 % ($K = -0.1169 + 0.22548 \text{ biomasa total}$).

6.4.5. CHAPONEO

6.4.5.1. Marzo

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables diámetro, biomasa total, P (variables dependientes) y la RFA (variable independiente) es significativa. Se puede observar que sólo el diámetro y el P presentan dependencia lineal significativa con $r = -0.917$ (Cuadro 38).

Cuadro 38. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo en la temporada de sequía.

	Diámetro	BSTOT	RFA	P
Diámetro	1.000	-0.261	0.333	-0.917
		0.672	0.584	0.029
BSTOT	-0.261	1.000	-0.775	0.458
		0.672	0.124	0.438
RFA	0.333	-0.775	1.000	-0.670
		0.584	0.124	0.216
P	-0.917	0.458	-0.670	1.000
		0.029	0.438	0.216

6.4.5.1.1. Diámetro, biomasa total y fósforo como función de la radiación fotosintéticamente activa

Aunque en la regresiones simples para el diámetro, biomasa total y P con la RFA no hayan resultado significativas, analizándolas mediante un análisis de regresión multivariada la dependencia de estas tres variables (diámetro, biomasa total y P), y RFA es significativa, lo que indica que una variación en la RFA modificaría el diámetro, la biomasa total y la concentración de P en el follaje de los brinzales de *Pinus hartwegii* (Cuadro 39).

Cuadro 39. Regresión lineal multivariada para diámetro biomasa total P = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0027	121.33	3	0.0666
Pillai's Trace	0.9973	121.33	3	0.0666
Hotelling-Lawley Trace	363.99	121.33	3	0.0666
Roy's Greatest Root	363.99	121.33	3	0.0666

A medida que la RFA aumenta el diámetro tiende a aumentar, mientras que la biomasa y la concentración de P disminuyen. Para este caso por $1 \text{ Mj/m}^2/\text{año}$ de incremento de

RFA el diámetro aumenta 0.000162 cm ($\text{diámetro} = -0.30518 + 0.000162 \text{ RFA}$), la biomasa total disminuye 0.0048 g (Figura 28) y la concentración de P disminuye 0.00018% ($P = 2.00815 - 0.00018 \text{ RFA}$).

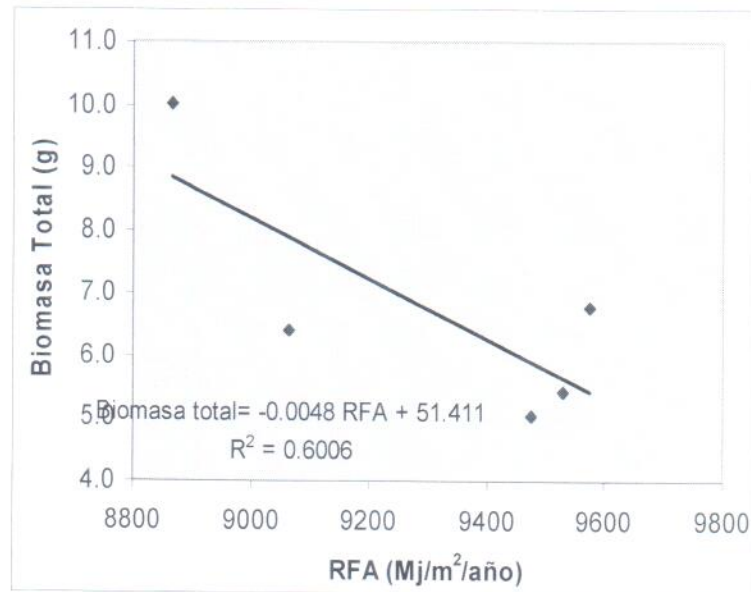


Figura 28. Regresión lineal simple biomasa total=RFA

6.4.5.2. Septiembre

Se presenta la matriz de correlaciones para el tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo, con la finalidad de poder observar si la relación lineal entre las variables altura, biomasa total (variables dependientes) y la RFA (variable independiente) es significativa, y del mismo modo para N, P, K (variables dependientes) y la biomasa total (variable independiente). Se puede observar que la RFA y la altura presentan dependencia significativa con $r = -0.937$, así como el K y la biomasa total también es significativa la relación lineal con $r = 0.858$ (Cuadro 40).

Cuadro 40. Matriz de correlaciones del tratamiento de árboles plantados entre zacaton con chaponeo en la temporada de lluvias.

	Altura	BSTOT	RFA	N	P	K
Altura	1.000	0.031	-0.937	-0.366	0.502	0.298
BSTOT		0.960	0.019	0.545	0.389	0.626
	0.031	1.000	0.242	0.641	0.327	0.858
RFA			0.695	0.244	0.591	0.063
	-0.937	0.242	1.000	0.431	-0.339	0.014
N				0.469	0.576	0.982
	-0.366	0.641	0.431	1.000	-0.476	0.157
P					0.418	0.801
	0.545	0.244	0.469		1.000	0.729
K						0.162
	0.502	0.327	-0.339	-0.476		1.000
	0.389	0.591	0.576	0.418		
	0.298	0.858	0.014	0.157	0.729	
	0.626	0.063	0.982	0.801	0.162	

6.4.5.2.1. Altura, biomasa Total como función de la radiación fotosintéticamente activa

Aunque en la regresión simple no hayan resultado significativa para la biomasa total y la RFA, analizándolas mediante un análisis de regresión multivariada la dependencia de estas dos variables (Altura y Biomasa total), con la RFA es significativa, lo cual nos indica que una variación en la RFA modificaría la altura y la biomasa total de los brinzales de *Pinus hartwegii* (Cuadro 41).

Cuadro 41. Regresión lineal multivariada para altura y biomasa total = RFA. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de RFA

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.0480	19.82	2	0.0480
Pillai's Trace	0.9519	19.82	2	0.0480
Hotelling-Lawley Trace	19.820	19.82	2	0.0480
Roy's Greatest Root	19.820	19.82	2	0.0480

Se puede observar que a medida que la RFA aumenta la altura tiende a disminuir, mientras que la biomasa aumenta. Para este caso por $1 \text{ Mj/m}^2/\text{año}$ de incremento de RFA la altura disminuye 0.0125 cm (Figura 29) y la biomasa total aumenta 0.00248 g (biomasa total = $-16.886 + 0.00248 \text{ RFA}$).

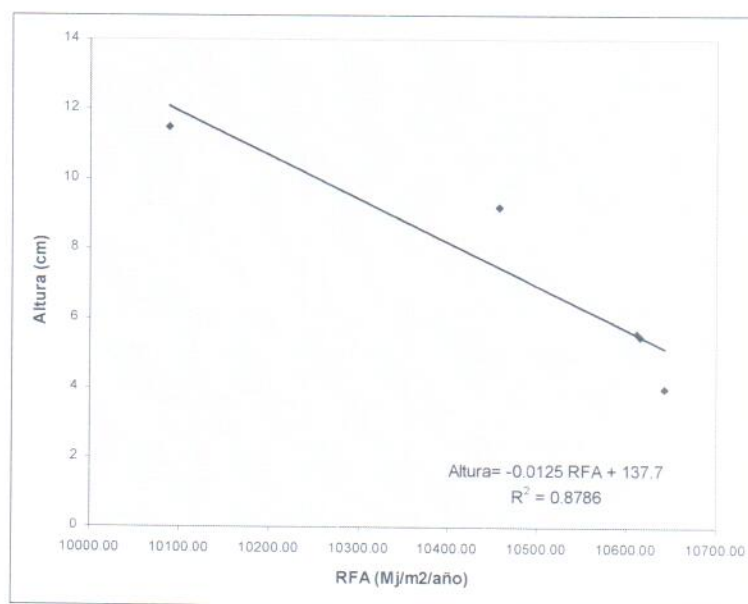


Figura 29. Regresión lineal Diámetro = RFA

6.4.5.2.2. Nitrógeno, fósforo y potasio como función de la biomasa total

Aunque en la regresión simple entre las variables N y biomasa total, y P y biomasa total no hayan resultado significativas, analizando el N, P y K en forma conjunta mediante un análisis de regresión multivariada se puede confirmar la dependencia de estas tres variables (N, P y K), con la biomasa total, la cual es significativa (Cuadro 42).

Cuadro 42. Regresión lineal multivariada para N P K = biomasa total. MANOVA criterio de prueba y estadístico exacto de F sobre todos los efectos de la hipótesis de la biomasa total.

Estadístico	Valor	Valor F	GL	Pr > F
Wilks' Lambda	0.00022	1460.31	3	0.0192
Pillai's Trace	0.99977	1460.31	3	0.0192
Hotelling-Lawley Trace	4380.9192	1460.31	3	0.0192
Roy's Greatest Root	4380.9192	1460.31	3	0.0192

A medida que la biomasa total aumenta la concentración de N, P y K tienden a aumentar. Para este caso por 1g de incremento de biomasa total la concentración de N aumenta 0.2541% ($N = -1.0089 + 0.2541 \text{ biomasa total}$) y la concentración de P aumenta 0.0293% ($P = 0.14211 + 0.0293 \text{ biomasa total}$) y la concentración de K aumenta 0.2169% ($K = 0.3472 + 0.2169 \text{ biomasa total}$).

7. CONCLUSIONES

A un año de establecida la plantación de *Pinus hartwegii*, mediante el uso de plantas nodrizas se concluye que:

- En general la mortalidad de *Pinus hartwegii*, fue muy baja un promedio igual de 5 % en todos los tratamientos.
- El tratamiento que mayor supervivencia presentó fue el PCR (pequeños claros naturales) con un 100 % de supervivencia, mientras que el tratamiento con menor supervivencia fue el de árboles plantados al NE de arbustos de *Lupinus montanus* con un 92 %.
- A seis meses de establecida la plantación no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, para las variables altura, diámetro y biomasa total. Pero a los 12 meses de establecida la plantación si se observaron diferencias significativas para estas variables, siendo mejor el tratamiento de chaponeo.
- Para el caso univariado de las variables diámetro, altura y biomasa total a seis y doce meses de establecida la plantación, solamente hubo diferencias significativas entre tratamientos para la variable altura a los doce meses de establecida la plantación, siendo el tratamiento de PCR el que presentó las menores dimensiones.

- En la concentración de nutrientes y RFA a los seis meses de establecida la plantación hubo diferencias significativas entre tratamientos, siendo mejor el tratamiento de chaponeo con respecto al tratamiento de *Lupinus*. Pero a los doce meses las diferencias fueron mayores entre los tratamientos PCR, zacaton y *Lupinus*, siendo este ultimo superior a el PCR y zacaton.
- Para el caso univariado del N a la concentración de N, no se observaron diferencias significativas entre tramientos en las dos temporadas de medición.
- En lo que corresponde al P y al K, las diferencias significativas solamente se presentaron a los doce meses de establecida la plantación, siendo mejores los tratamientos de *Lupinus* y chaponeo con respecto al PCR.
- En lo que respecta a la RFA, el tratamiento que presenta mayor RFA es el de tratamiento PCR, seguido por el de árboles plantados entre *Festuca tolucensis* con chaponeo, y los que menor RFA presentan son los árboles que se plantaron al NE de los arbustos *Penstemon gentianoides* y *Lupinus montanus*.
- El uso de plantas nodriza como *Lupinus montanus* en las plantaciones de *Pinus hartwegii*, aumenta la concentración de nutrientes.

- La especie nodriza *Lupinus montanus* es mejor que el uso de *Penstemon gentianoides*.
- El uso del chaponeo de pastos en las plantaciones de *pinus hartwegii*, disminuye la competencia por nutrientes y RFA.
- La RFA es muy importante en todos los tratamientos, y juega un papel muy importante en los procesos fisiológicos de los brinzales de *Pinus hartwegii*, ya que una pequeña variación en la RFA, algunas variables se afectarían, como es el caso de la altura, el diámetro, la biomasa total o las concentraciones de nutrientes (N, P y K).
- Del mismo modo que la RFA la concentración de K, P o N si varían en su concentración pueden alterar la morfología de los brinzales de *pinus hartwegii*, como su altura o diámetro y en algunos casos la biomasa total.

9 LITERATURA CITADA

- AGUIAR, M.R. and O.E. SALA. 1994. Competition, facilitation, seed distribution and the origin of patches in a Patagonian steppe. *Oikos* 70: 26-34.
- ALBREKTSON, A., ARONSSON, A., TAMM, C.-O., 1997. The effect of forest fertilization on primary production and nutrient cycling in the forest ecosystem. *Sylvia Fennica* 11(3):233-239.
- ALT, D., JACOB S., RAU N. and WIRTH N. 1993. Potassium deficiency causes injuries to *Picea pungens glauca* in nurseries. . In Barrow (Ed). Plant nutrition – from genetic engineering to field practice. N.J. Kluwer Academic Publishers. 629-631
- ARANDA, S., J.M.; M.C. MARTÍNEZ DEL RÍO.; L.V. COLMENERO, R. and M. del C. MAGALLÓN S. 1980. Los mamíferos de la Sierra del Ajusco. Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Departamento del Distrito federal. Toluca, Edo. de México. 146 p.
- ARMSON, K. A. and SADREIKA V. 1974. Forest Tree Nursery Soil Management and Related Practices. Ottawa, Ontario. Ministry of Natural Resources. 177 pp.
- AULD, T.D. 1995. Seedling survival under grazing in the arid perennial *Acacia oswaldii*. *Biological Conservation* 72: 27-32.
- BAIRD, D.D. , and J.S. ALEXANDER. 1963. (Abstract) The influence of different levels of nitrogen and potassium on *Ilex crenata* in three soil series. Pp. 32 in SNA Seventh Annual Report of Ornamental Research.
- BAKER, T.G., OLIVER G.R. and HODGKISS P.D. 1986. Distribution and cycling of nutrients in *Pinus radiata* as affected past lupin growth and fertilizer. *Forest Ecology and Management* 17:169-187.
- BARRACLOUGH, P. B. and LEIGH R. A. 1993. Critical plant K concentrations for growth and problems in the diagnosis of nutrient deficiencies by plant analysis. In Barrow (Ed). Plant nutrition – from genetic engineering to field practice. N.J. Kluwer Academic Publishers. Pp. 195-198.
- 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.
- BENTON JONES, J., WOLF, B. and MILLS, H.A. 1991. Plant analysis handbook. Micro-Macro Publishing, USA.

- BERKOWITZ, A.R., CANHAM, C.D. and KELLY, V.R. 1995. Competition vs. facilitation of tree seedling growth and survival in early successional communities. *Ecology*: 76, 1156-1168.
- BERTNESS, M. D., and R. CALLAWAY. 1994. Positive interaction in communities. *Trends in Ecology and Evolution* 9:191-193.
- BIDWELL R.G.S. 2002. Fisiología Vegetal. AGT EDITOR, S. A. 3ra reimpresión. México D. F. pp. 717.
- BIELESKI R. L. 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology* 24: 225-252
- BINKLEY, D., and P. VITOUSEK. 1991. Soil nutrient availability. Pages 75-96 in R. W. Pearcy, J. R. Ehleringer, H. A. Mooney, and P. W. Rundel, editors. *Plant physiological ecology*. Chapman and Hall, London, UK.
- BOATWRIGHT, G. O., FERGUSON H. and SIMS J. R. 1976. Soil temperature around the crown node influences early growth, nutrient uptake and translocation of spring wheat. *Agronomy Journal*. 68:227-231.
- BONFIL, C., I. PISANTY, A. MENDOZA y J. SOBERÓN. 1997. Investigación y restauración ecológica: el caso del Ajusco Medio. *Ciencia y Desarrollo* 135: 15-23.
- BROOKER, R. W. and CALLAGHAN, T. V. 1998. The balance between positive and negative plant interactions and its relationship to environmental gradients: a model. *Oikos* 81: 196-207.
- BORDERS, B. E., WILL, R. E., MARKEWITZ, D., CLARK, A., HENDRICK, R., TESKEY, R. O. and Y. ZHANG. 20004. Effect of complete competition PCR and annual fertilization on stem growth and canopy relations for a chronosequence of loblolly pine plantations in the lower coastal plain of Georgia. *Forest Ecology and Management* 192(1): 21-37.
- BROWN, R. KEVIN.1999. Mineral Nutrition and Fertilization of Deciduous Broadleaved Tree Species in British Columbia. Res. Br., B.C.Min. For., Victoria, B.C.Work. Pap. 42
- BURLEIGH SH, CAVAGNARO T. and JAKOBSEN I. 2002. Functional diversity of arbuscular mycorrhizas extends to the expression of plant genes involved in P nutrition. *Journal of Experimental Botany* 53: 1593-1601.
- CABRERA , L., P. MENDOZA, V. PEÑA, C. BONFIL y J. SOBERÓN. 1998. Evaluación de una plantación de encinos (*Quercus rugosa*) en el Ajusco Medio, D. F. *Agrociencia* 32: 149-156.

- CALLAWAY, R. M. 1995. Positive interactions among plants. *Botanical Review* 61:306–349.
- CALLAWAY, R. M. 1997. Positive interactions in plant communities and the individualistic-continuum concept. *Oecologia* 112:143–149.
- CALLAWAY, R. M. 1998a. Are positive interactions species-specific? *Oikos* 82:202–207.
- CALLAWAY, R.M. 1998b. Competition and facilitation on elevation gradients in subalpine forests of the northern Rocky Mountains, USA. *Oikos* 82: 561–573.
- CALLAWAY, R. M. and WALKER, L. R. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology* 78: 1958–1965.
- CALLAWAY, R. M. and PUGNAIRE, F. I. 1999. Facilitation in plant communities. – In: Pugnaire, F. I. and Valladares, F. (eds), *Handbook of functional plant ecology*. Marcel Dekker, pp. 623–648.
- CALLAWAY, R. M., E. H. DELUCIA, D. MOORE, R. NOWAK, and W. H. SCHLESINGER. 1996. Competition and facilitation: contrasting effects of *Artemisia tridentata* on *Pinus ponderosa* and *P. monophylla*. *Ecology* 77:2130–2141.
- CALLAWAY, R. M., N. M. NADKARNI and B. E. MAHALL. 1991. Facilitation and interference of *Quercus douglasii* on understory productivity in central California. *Ecology* 72:1484–1499.
- CANHAM, C.D., A.C. FINZI, S.W. PACALA, and D.H. BURBANK. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Canadian Journal of Forest Research* 24:337–349.
- CASTRO, J., ZAMORA, R., HÓDAR, J.A. and GÓMEZ, J.M., 2002. Use of shrubs as nurse plants: a new technique for reforestation in mediterranean mountains. *Restoration Ecology* 10 (2): 297–305.
- CHADZON, R.L. 1988. Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Adv. Ecol. Res.* 18:1–63.
- CHARLEY J.L. and N.E. WEST. 1975. Plant-induced soil chemical patterns in some shrub-dominated semi-desert ecosystems in Utah. *Journal of Ecology* 63:945–963.
- COMERFORD NB. 1998. Soil phosphorus bioavailability. In: Lynch JP Deikman J, eds. *Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic, and ecosystem processes*. Rockville, MD, USA: American Society of Plant Physiology, 136–147.

- CONNELL, J.H. 1983. On the prevalence and relative importance of interspecific competition: evidence from field experiments. *American Naturalist* 122: 661-696.
- COVELO FELISA and GALLARDO ANTONIO. 2002. Effect of pine harvesting on leaf nutrient dynamics in young oak trees at NW Spain. *Forest Ecology and Management* 167(1-3):161-172
- CUEVAS, R. A.R. 1995. Viveros Forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Publicación especial No. 3. Coyoacan, Méx. 24 p.
- DAWSON, NM, and AHERN, CR (1973). Soils and landscapes of mulga. lands with special reference to southwestern Queensland. *Tropical. Grasslands* 7, 23-34
- DELL, B. and ROBINSON M. 1993. Symptoms of mineral nutrient deficiencies and the nutrient concentration ranges in seedlings of *Eucalyptus maculate* Hook. In Barrow (Ed). *Plant nutrition – from genetic engineering to field practice*. N.J. Kluwer Academic Publishers. 285-288
- DEL CARMEN, M., MARÍA, MONTANA C., MÉNDEZ, I. and GOLUBOV, J. 1998. The relative contributions of sexual reproduction and clonal propagation in *Opuntia rastrera* from two habitats in the Chihuahuan Desert. *Journal of Ecology* 86: (6): 911-921.
- DE LUCIA, E. H., W. H. SCHLESINGER, and W. D. BILLINGS. 1988. Water relations and the maintenance of Sierran conifers on hydrothermally altered rock. *Ecology* 69:303-311.
- DEL MORAL, R. and L.C. BLISS. 1993. Mechanism of primary succession: Insights resulting from the eruption of Mount St. Helens. *Advances in Ecological Research* 24: 1-66.
- DEL POZO, A.H., E.R. FUENTES, E. R. HAJEK y J. D. MOLINA. 1989. Zonación microclimática por efecto de los manchones de arbustos en el matorral de Chile central. *Revista Chilena de Historia Natural* 62: 85-94.
- DINKELAKER B, ROMHELD V. and MARSCHNER H. 1989. Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant, Cell & Environment* 12: 285-292.
- DORMANN, F. CARSTEN and ROB W. BROOKER. 2002. Facilitation and competition in the high Arctic: the importance of the experimental approach. *Acta Oecologica* 23: 297-301
- DREW MC. 1975. Comparison of the effect of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytologist* 75: 479-490.

DUFF SM, PLAXTON WC. and LEFEBVRE DD. 1991. Phosphate-starvation response in plant cells: de novo synthesis and degradation of acid phosphatases. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 88: 9538-9542.

DUFF SMG, SARATH G. and PLAXTON WC. 1994. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. *Physiologia Plantarum* 90: 791 -800.

EAGLESHAM, A. R., AYANABA A. RANGA RAO V. and ESKEW D. L. 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping by cowpea. *Soil Soil Biochem.* 13:169-171

ELLIOTT J. KATHERINE and WHITE ALAN S. 1993. Effects of competition from young northern hardwoods on red pine seedling growth, nutrient use efficiency, and leaf morphology. *Forest Ecology and Management* 57(1-4):233-255

ELLIS, R.C., WEBB, D.P., GRALEY, A.M., and ROUT, A.F. 1985. The effect of weed competition and N nutrition on the growth of seedling of *Eucalyptus delegatensis* in a highland area of Tasmania. *Aust. For. Res.* 15:395-408.

ERICSSON, T., L. RYTTER and E. VAPAAVUORI. 1996. Physiology of carbon allocation in trees. *Biomass Bioenergy* 11:115-127.

FLORES, H.E. 1991. Changes in polyamine metabolism in response to abiotic stress. *In* Biochemistry and Physiology of Polyamines in Plants. Eds. R.D. Slocum and H.E. Flores. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 213--228.

FÖHSE D, CLAASSEN N. and JUNGK A. 1988 Phosphorus efficiency of plants. I. External and internal requirement and P uptake efficiency of different plant species. *Plant Soil* 110, 101-109

FORSETH, I.N., WAIT, D.A. and CASPER, B.B. 2001. Shading by shrubs in a desert system reduces the physiological and demographic performance of an associated herbaceous perennial. *Journal of Ecology*, 89, 670-680.

FRANCO, A. C. and NOBEL P. S. 1989. Effect of nurse plants on the microhabitat and growth of cacti. *Journal of ecology*, 77: 870-886.

GARCÍA, DE M., E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía, UNAM. México, D. F. 2a. edic. 246 pp.

GARCÍA-MOYA, E. and C. M. MCKELL. 1970. Contribution of shrubs to the nitrogen ecology of a desert-wash plant community. *Ecology* 51: 81-88.

GARCÍA DANIELS. *et. al.* 2000. Yew (*Taxus baccata* L.) regeneration is facilitated by fleshy-fruited shrubs in Mediterranean environments. *Biol. Conserv.* 95: 31–38.

GADGIL, R. L. 1971a. The nutritional role of *Lupinus arboreus* in coastal sand dune forestry. III. Nitrogen distribution in ecosystem before tree planting. *Plant and Soil* 35:113-126.

GADGIL, R. L. 1971b. The nutritional role of *Lupinus arboreus* in coastal sand dune forestry. I. The potential influence of undamaged lupin plant on nitrogen uptake by *Pinus radiata*. *Plant and Soil* 34:357-367.

GARDNER, W. K. and BOUNDY K. A. 1983. The acquisition of Phosphorus by *Lupinus albus* L. IV. The effect of the interplanting wheat and white lupin on the growth and mineral composition of the two species. *Plant and Soil* 70:391-402.

GARDNER W. K. and PARBERY D. G. 1982. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. I. Some characteristics of the soil/root interface. *Plant and Soil*. 68:19-32.

GARDNER, W. K., BARBER D. A. and PARBERY D. G. 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. III The probable mechanism by which phosphorus movement in the soil/root interface is enhanced. *Plant and Soil*. 70:107-124.

GARDNER, W. K., PARBERY D. G. and BARBER D. A. 1981. Proteoid root morphology and function in *Lupinus albus*. *Plant and Soil*. 60:143-147.

GARDNER WK, PARBERY DG. and BARBER DA. 1982. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. I. Some characteristics of the soil/root interface. *Plant and Soil* 68: 19-32.

GILBERT GA, KNIGHT JD, VANCE CP, and ALLAN DL. 1999. Acid phosphatase activity in phosphorus-deficient white lupin roots. *Plant, Cell & Environment* 22: 801-810.

GILBERT GA, VANCE CP, and ALLAN DL. 1998. Regulation of white lupin metabolism by phosphorus availability. In: Lynch JP Deikman J, eds. *Phosphorus in plant biology: regulatory roles in molecular, cellular, organismic and ecosystem processes*. Rockville, MD, USA: American Society of Plant Physiology, 157-167

GILROY S. and JONES DL. 2000. Through form to function: root hair development and nutrient uptake. *Trends in Plant Science* 5: 56-60.

GLANDSTONE J. S. and LONERAGAN J. F. 1975. Nitrogen in temperate crop and pasture plants. *Aust. J. Agric. Res.* 26:103-112.

- GOLDSTEIN AH, BAERTLEIN DA, and MCDANIEL RG. 1988. Phosphate starvation inducible metabolism in *Lycopersicon esculentum*. I. Excretion of acid phosphatase by tomato plants and suspension-cultured cells. *Plant Physiology* 87: 711–715.
- GÓMEZ-APARICIO, L., REGINO-ZAMORA, J. M., GÓMEZ, J. A., HÓDAR-CASTRO J. and ELENA BARAZA. 2004. Applying plant facilitation to forest restoration: A meta-analysis of the use of shrubs as nurse plants. *Ecological Applications*, 14(4), 2004, pp. 1128–1138
- GRAY, N. ANDREW and SPIES A. THOMAS. 1997. Microsite PCRs on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology*. 78(8):2458-2473
- GREENLEE, J.T. and CALLAWAY, R.M. 1996. Abiotic stress and the relative importance of interference and facilitation in montane bunchgrass communities in Western Montana. *American Naturalist* 148: 386-896.
- GUTIÉRREZ, J.R. y SQUEO, F.A. 2004. Importancia de los arbustos leñosos en los ecosistemas semiáridos de Chile. *Ecosistemas* 1(Enero-Abril).
- GUTIÉRREZ, J.R., MESERVE, P.L., CONTRERAS, L.C., VÁSQUEZ, H. y JAKSIC, F.M. 1993b. Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. *Oecologia* 95: 347-352.
- HACKER, S. D. and GAINES, S. D. 1997. Some implications of direct positive interactions for community species diversity. *Ecology* 78: 1990–2003.
- HAINES, S.G., HAINES, L.W. and WHITE G. 1978. Leguminous plant increase sycamore growth in Northern Alabama. *Soil Sci Soc Am J.* 42: 130–132.
- HÄLLGREN, J.-E. and G. ÖQUIST. 1990. Adaptations to low temperatures. *In* Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms. Eds. R.G. Alscher and J.R. Cumming. *Plant Biol.* 12: 265–293.
- HELGERSON, O.T. 1990. Heat damage in tree seedlings and its prevention. *New Forest* 3:333-358.
- HERRERA, C. M., P. JORDANO, L. LÓPEZ-SORIA, and J. A. AMAT. 1994. Recruitment of a mast-fruiting, bird-dispersed tree: bridging frugivore activity and seedling establishment. *Ecological Monographs* 64:315–344.
- HINSINGER P. 2001. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant Soil* 237: 173-195.

- HOARE, A. 2005. Irrational numbers: Why the FAO's forest assessments are misleading. A report by the Rainforest Foundation UK, Norway and US, 23 pp.
- HOLMGREN, M., M. SCHEFFER and M.A. HUSTON. 1997. The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology* 78: 1966-1975.
- HOLOPAINEN, T. and P. NYGREN. 1989. Effects of potassium deficiency and simulated acid rain, alone and in combination, on the ultrastructure of Scots pine needles. *Can. J. For. Res.* 19:1402--1411.
- HORST WJ, KAMH M, JIBRIN JM, and CHUDE VA. 2001. Agronomic measures for increasing P availability to crops. *Plant and Soil* 237: 211-233.
- HOSMER JR. DAVID W. and STANLEY LEMESHOW. 1998. Applied Logistic Regression. Wiley and Sons. USA. 307 pp.
- HSIAO T. C. and LÄUCHLI A. 1983. In *Advances in plant Nutrition*, Volume 2. Eds. P B Tinker and Läuchli. Pp. 281-312. Praeger, New York.
- HUNTER, A. F., and L. W. AARSEN. 1988. Plants helping plants. *Bioscience* 38:34-40.
- HÜTTL, R.F., 1990: Nutrient supply and fertilizer experiments in view of N saturation. *Plant and Soil*, 128, 45-58.
- JAKSIC, F.M. and FUENTES, E.R. 1980. Why are native herbs in the Chilean matorral more abundant beneath shrubs: microclimate or grazing? *Journal of Ecology* 68: 665-669.
- JACKSON RB, MANWARING JH, and CALDWELL MM. 1990. Rapid physiological adjustment of roots to localized soil enrichment. *Nature* 344: 5860.
- JEFFREY DW. 1967. Phosphate nutrition of Australian heath plants. I. The importance of
- JESCHKE, W and PATE J. 1995. Mineral nutrition and transport in xylem and phloem of *Banksia prionotes* (Proteacea), a tree with dimorphic root morphology. *Journal of Experimental Botany* 46: 895-905.
- JOFFRE, R. and S. RAMBAL. 1988. Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Acta Oecologica* 9: 405-422.
- JHONSON, J.D., ZEDAKER, S.M. Y ARISTON A.B. 1985. Foliage, stem and root interrelation in young loblolly pine. *Forest. Sci.* 31:891-898.

- JOHNSON JF, ALLAN DL, and VANCE CP. 1994. Phosphorus stress-induced proteoid roots show altered metabolism in *Lupinus albus*. *Plant Physiology* 104: 657-665.
- JOHNSON JF, VANCE CP, ALLEN DL, and WEIBLEN G. 1996a. Root carbon dioxide fixation by phosphorus-deficient *Lupinus albus*—contribution to organic acid exudation by proteoid roots. *Plant Physiology* 112, 19–30.
- JOKELA, A., TYTTI SARJALA, SEPPO KAUNISTO and SATU HUTTUNEN. 1997. Effects of foliar potassium concentration on morphology, ultrastructure and polyamine concentrations of Scots pine needles. *Tree Physiology*, 17:677–685.
- JOKELA, A., TYTTI SARJALA, and SATU HUTTUNEN. 1998. The structure and hardening status of Scots pine needles at different potassium availability levels. *Trees - Structure and Function* 12(8):490-498.
- JONES, G. H. 1992. *Plants and Microclimate. A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Second edition. Cambridge University Press. Cambridge, Great Britain. 428 p.
- KEERTHISINGHE G, HOCKING PJ, RYAN PR, and DELHAIZE E. 1998. Effect of phosphorus supply on the formation and function of proteoid roots of white lupin. *Plant, Cell & Environment* 21: 467-478.
- KELLMAN, M., and M. KADING. 1992. Facilitation of tree seedling establishment in a sand dune succession. *Journal of Vegetation Science* 3:679–688.
- KELLOMÄKI SEPPO and KAI-YUN WANG. 1997. Effects of long-term CO₂ and temperature elevation on crown nitrogen distribution and daily photosynthetic performance of Scots pine. *Forest Ecology and Management* 99(3):309-326
- KNOLL, H. A., LATHWELL D. J. and BRADY N. C. 1964. The influence of root zone temperature on the growth and content of phosphorus and anthocyanin of corn. *Soil Science Society Proceedings* 28:400-4003.
- KOCHIAN, L.V. and LUCAS, W.J. 1988 Potassium transport in roots. *Ad. Bot. Res.* Vol 15: 93-178.
- KOIDE R. T. and KABIR Z. 2000. Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyse organic phosphate. *New Phytologist* 148: 511-517.
- KOZŁOWSKI, T.T. and S.G. PALLARDY. 1997. *Physiology of woody plants*. 2nd Edn. Academic Press, San Diego, 411 p.
- LAHTI, M., APHALO P. J., FINÉR L., RYPPÖ A., LEHTO T. and H. MANNERKOSKI. 2005. Effects of soil temperature on shoot and root growth and nutrient uptake of 5-year-old Norway spruce seedlings. *Tree Physiology* 25:115–122

- LAJTHA K, and HARRISON AF. 1995. Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. In: Tiessen H, ed. *Phosphorus in the global environment*. Chichester, UK: John Wiley Sons Ltd, 140-147
- LAMBERS, H., STUART C. F. and THIJS P. L. 1998. Plant physiological ecology. Springer. New York, USA. Pp. 53-58.
- LAMONT, B. (1977). Proteoid roots in the family Proteaceae and their relevance to horticulture. *Australian Plants* 9, 1614
- LANDIS, THOMAS D. 1977. Analysis and interpretation of foliage nutrient level in tree seedlings. In: Proceedings, Intermountain Nurserymen's Association: Manhattan, KS: Kansas State University, Department of Forestry Pp. 111-116.
- LARCHER, W. 1983. *Physiological Plant Ecology*. pringer-Verlag.
- LÄUCHLI, A. and PFLÜGER R. 1979. In Potassium Research –Review and Trenes. Pp 111-163. Internacional Potash Institute, Worblaufen, Bern/Switzerland
- LAUGHLIN, W.M., SMITH, G.R., and PETERS, M.A. 1984. Influence of N, P, and K fertilization on yield and mineral composition of native blue joint grass on the lower Kenai Peninsula, Alaska. *Agron. J.* 76:389-397.
- LERDAU, M.T., HOLBROOK, N.M., H.A. MOONEY, P.M. RICH, and J.L. WHITBECK. 1992. Seasonal patterns of acid fluctuations and resource storage in the arborescent cactus *Opuntia excelsa* in relation to light availability and size. *Oecologia* 92:166-171
- LENZ, I. TANJA AND JOSÉ M. FACELLI. 2003. Shade facilitates an invasive stem succulent in a chenopod shrubland in South Australia. *Austral Ecology* 28:480–490
- LEÓN, M.F. y SQUEO, F.A. 2003. Levantamiento hidráulico: la raíz del asunto. In *Ecofisiología de Plantas* (ed. Cabrera, H.M.). Ediciones Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, Chile.
- LINDER, S. 1987. Responses to water and nutrition in coniferous ecosystems. In: Schulze, E.-D., Zwölfer, H. (Eds.), Potentials and limitations of ecosystems analysis. *Ecological studies* 61:180-202.
- LYNCH, J. P. and BROWN K.M. 2001. Topsoil foraging-an architectural adaptation of plants to low phosphorus. *Plant and Soil* 237: 225-237.
- LUND, H.G., V. TORRES, A. TURNER y L. WOOD. 2002. México. Análisis crítico de los estimados disponibles de deforestación. USAID. SEMARNAT.

- LÜTTGE, U. and D.T. CLARKSON. 1989. Mineral nutrition: Potassium. *Prog. Bot.* 50:51--73.
- MARGOLIS, H.A., and BRAND, D.G. 1990. An ecophysiological basis for understanding plantation establishment. *Can. J. For. Res.* 20:375-390.
- MARSCHNER, H. 1990. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, 674 p.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, New York, 889 p.
- MARSCHNER H, RÖMHELD V. and CAKMARK I. 1987 Root induced changes of nutrient availability in the rhizosphere. *J. Plant Nutr.* 10.:1175--1184.
- MAY JACK T. 1984. Southern Pine Nursery Handbook. United Department of Agricultura. Forest Service Southern Region. USA Atlanta, Georgia. Pp 12.1 -12.27.
- MAY, JACK T., JOHNSON, HENRY H. and GILMORE, A. R. 1962. Chemical composition of southern pine seedlings. Ga. Forest Res. Council Paper 10. Macon, GA: Georgia Forest Research Council. 11p.
- MAULE, H.G., ANDREWS M., MORTON, J.D., JONES A.V. and G.T. DALY. 1995. Sun/shade acclimation and nitrogen nutrition of tradescantia fluminensis, a problem weed in new zealand native forest remnants. *New Zealand Journal of Ecology* 19(1): 35-46
- MCDONALD S. A. and STADENBERG I. 1993. Nitrogen suppli and the PCR of expansive growth and function in leaves and roots. *In* Barrow (Ed). Plant nutrition -- from genetic engineering to field practice. N.J. Kluwer Academic Publishers. 215 -- 218.
- MCKEVLIN, R. MARTHA and WILLIAM H. MCKEE JR. 1986. Long-Term prescribed burning increase nutrient uptake and growth of loblolly pine seedlings. *Forest Ecology and Management* 17:245-252.
- MEAD, D. J. and GADGIL RUTH L. 1978. Fertilizer use in established Radiata Pine stands in New Zeland. *New Zeland Journal of Forestry Science.* 8(1):105-134.
- MENGEL, K. and W.W. ARNEKE. 1982. Effect of potassium on the water potential, the osmotic potential, and cell elongation in leaves of *Phaseolus vulgaris*. *Physiol. Plant.* 54:402--408.
- MIKA, P.G. and J.A. MOORE. 1990. Foliar potassium status explains Douglas-fir response to nitrogen fertilization in the Inland Northwest. *Water, Air, and Soil Pollution* 54:477--491.

- MINOTTA, G., and PINZAUTI, S. 1996. Effects of light and soil fertility on growth, leaf chlorophyll content and nutrient use efficiency of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Forest Ecology and Management* 86:61-71.
- MULLER, C. H. 1953. The association of desert annuals with shrubs. *American Journal of Botany* 40: 53-60.
- MYERS, R. L. 1992. Sub and high pine. In: Myers R. L. and Ewe I. J.J. (eds.), *Ecosystem of florida*. University of Central Florida. Press. Orlando, Florida. 150-193 pp.
- NAMBIAR, E.K.S., and SANDS R., 1993. Competing for water and nutrients in forest. *Can. J. For. Res.* 23:1955-1968.
- NEUMANN G, MASSONNEAU A, MARTINOIA E, and RÖMHELD V. 1999. Physiological adaptations to phosphorus deficiency during proteoid root development in white lupin. *Planta* 208: 373-382.
- NEUMANN G, and RÖMHELD V. 1999. Root excretion of carboxylic acids and protons in phosphorus-deficient plants. *Plant and Soil* 211: 121-130.
- NICOL, H. 1934. The derivation of the nitrogen of crop plants, with especial reference to associated growth. *Biol. Rev.* 9:383-410.
- NIERING, W.A., R.H. WHITTAKER and C.H. LOWE. 1963. The saguaro: a population in relation to its environment. *Science* 142: 15-23.
- NIINEMETS, Ü. 1997. Role of foliar nitrogen in light harvesting and shade tolerance of four temperate deciduous woody species. *Funct. Ecol.* 11:518-531.
- NISHITA, N. and R.M. HAUG. 1973. Distribution of different forms of nitrogen in some desert soils. *Soil Science* 116: 51-58.
- NOBEL, P.S. 1986. Form and orientation in relation to PAR interception by cacti and agaves. On the economy of plant form and function (Edited by T. J. Givnish), pp. 83-103. Cambridge University, Cambridge.
- NOBEL, P. S. 1991. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, Inc. Los Angeles, Calif. pp: 345-392.
- NOBEL, P.S. and FRANCO, A.C. 1986. Annual root growth and intraspecific competition for a desert bunchgrass. *Journal of ecology*, 74: 1119-1126.
- OBERBAUER, S.F., D.B. CLARK, D.A. CLARK, P.M. RICH, and G. VEGA. 1993. Light environment, gas exchange, and annual growth of saplings of three species of rain forest trees in Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology* 9(4):511-523.

- ORTEGA, B. V. 2003. Calidad de planta y supervivencia inicial de *Pinus hartwegii* Lindl. En áreas quemadas del Ajusco. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 113.
- ORTIZ, V.B. y C.A. ORTIZ S. 1984. Edafología. 4ª ed. Departamento de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo.. Chapingo, México. 374 p.
- OVALLE, C., J. ARONSON, J. AVENDAÑO, R. MENESES and R. MORENO. 1993. Rehabilitation of degraded ecosystems in central Chile and its relevance to the arid "Norte Chico". *Revista Chilena de Historia Natural* 66: 291-303.
- PAARLAHTI, K., A. REINIKAINEN and H. VEIJALAINEN. 1971. Nutritional diagnosis of Scots pine by needle and peat analysis. *Commun. Inst. For. Fenn.* 74, 58 p.
- PATE J, and WATT M. 2001. Roots of *Banksia* spp. (Proteaceae) with special reference to functioning of their specialized root clusters. In: Waisel Y Eshel A Kafkafi U, eds. *Plant roots: the hidden half, 3rd edn.* New York, NY, USA: Marcel Dekker Inc., 989-1006.
- PLAXTON WC, and CARSWELL MC. 1999. Metabolic aspects of the phosphate starvation response in plants. In: Lerner HR, ed. *Plant responses to environmental stress: from phytohormones to genome reorganization.* New York, NY, USA: Marcel-Dekker, 350-372.
- PREGITZER, K.S., J.S. KING, A.J. BURTON and S.E. BROWN. 2000. Responses of tree fine roots to temperature. *New Phytol.* 147: 105–115.
- PUGNAIRE, F. I. and LUQUE, M. T. 2001. Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos* 93: 42–49.
- PUGNAIRE, F. I., P. HAASE, J. PUIGDEFABREGAS, M. CUETO, S. C. CLARK, and L. D. INCOLL. 1996. Facilitation and succession under the canopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semiarid environment in southeast Spain. *Oikos* 76:455–464.
- RAMÍREZ-CONTRERAS, A., y RODRÍGUEZ-TREJO, D.A. 2004. Efecto de calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 1:5-11.
- RAMÍREZ-MARCIAL, M.N. GÓNZALES ESPINOSA, M. y GARCÍA M.E. 1996. Establecimiento de *Pinus* spp. y *Quercus* spp. en matorrales y pastizales de los altos de Chiapas, México. *Agrociencia* 30: 249-257.
- RAGHOTHAMA KG. 1999. Phosphate acquisition. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 50: 665-693.

- REICH PB, WALTERS MB, ELLSWORTH DS, Uhl C. 1994. Photosynthesis-nitrogen relations in Amazonian tree species. I. Patterns among species and communities. *Oecologia* 97:62–72
- RENCER, C. ALVIN. 2002. *Methods of Multivariate Analysis*. Second edition. Wiley-Interscience publication. New York, United States of America. Pp. 156-195.
- REPO, T., I. LEINONEN, A. RYYPÖ and L. FINÉR. 2004. The effect of soil temperature on bud phenology, chlorophyll fluorescence, carbohydrate content and cold hardiness of Norway spruce seedlings. *Physiol. Plant.* 121:93–100.
- REY, P. J., and J. M. ALCÁNTARA. 2000. Recruitment dynamics of a fleshy-fruited plant (*Olea europaea*): connecting patterns of seed dispersal to seedling establishment. *Journal of Ecology* 88:622–633.
- REYNOSO, M.C.A. 1999. Evaluación del centro piloto para la conservación y restauración de suelos en el Ajusco. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales Chapingo, Edo. de México. 124 p.
- RICE, E.L. 1979. Allelopathy. An update. *Botanical Review* 45: 15-109.
- ROBINSON, D.E., WAGNER, R.G. and SWANTON, C.J. 2002 Effects of nitrogen on the growth of jack pine competing with Canada blue-joint grass and large-leaved aster. *Forest Ecology and Management* 160:233-242.
- ROUSSET OLIVER and LEPART JACQUES. 2000. Positive and negative interactions at different life stages of a colonizing species (*Quercus humilis*). *Journal of Ecology* 88(3):401-416
- RUSCHEL, A. P., SALATI E. and VOSE P. B. 1979. Nitrogen enrichment of soil and plant by *Rhizobium phaseoli* – *Phaseolus vulgaris* symbiosis. *Plant and Soil* 51:425-429.
- RZEDOWSKI, J. 1978. *Vegetación de México*. Editorial Limusa. Mexico D.F. 432 pp.
- SANS, F.X., ESCARRÉ, J., GORSE, V. and LEPART, J. 1998. Persistence of *Picris hieracioides* populations in old fields: an example of facilitation. *Oikos* 83: 283-292.
- SARH. 1987. Estudio de las subcuencas del Distrito Federal (memoria). México. Distrito Federal.
- SARJALA, T. and S. KAUNISTO. 1993. Needle polyamine concentrations and potassium nutrition in Scots pine. *Tree Physiol.* 13:87-96.
- SCHACHTMAN DP, REID RJ, and AYLING SM. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116: 447-453.

- SHIPLEY, B., and KEDDY, P.A. 1988. The relationship between relative grown rate and sensitivity to nutrient stress in twenty-eight species of emergent macrophytes. *Journal Ecology* 76:1101-1110.
- SHRIBBS J.M. and SKROCH W.A. 1986. Influence of 12 ground cover systems on young 'Smoothie Golden Delicious' apple trees: I. Growth. *J Amer Soc Hort Sci* 111: 525-528.
- SHUMWAY W. SCOTT. 2000. Facilitative effects of a sand dune shrub on species growing beneath the shrub canopy. *Oecologia* 124:138-148.
- SIKSTRÖM ULF. 1997. Effects of low-dose liming and nitrogen fertilization on stemwood growth and needle properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management* 95:261-274.
- SKENE, KR. 1998. Cluster roots: some ecological considerations. *Journal of Ecology* 86: 1060-1064.
- SMITH FA, JAKOBSEN I, and SMITH SE. 2000. Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *New Phytologist* 147: 357-366.
- SPRENT, J. I. and SILVESTER, W. B. 1973. Nitrogen fixation by *Lupinus arboreus* grown in the open under different aged stands of *Pinus radiata*. *New Phytologist* 72:991-1003.
- STACHOWICZ, J. J. 2001. Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. *BioScience* 51:235-246.
- STEENBERGH, W.F. and C.H. LOWE. 1969. Critical factors during the first years of life of the saguaro (*Cereus giganteus*) at Saguaro National Monument. *Ecology* 50: 825-834.
- STEINBECK, KLAUS, MAY J. T. and MCCREERY ROBERT A. 1966. Growth and needle color abnormalities of slash pine seedlings caused by nutrients treatments Ga. Forest Res. Council Paper 38. Macon, GA: Georgia Forest Research Council. 9p.
- SUZÁN, H., NABHAN, G. P. and PATTEN, D. T. 1994. Nurse plant and floral biology of a rare night-blooming cereus, *Peniocereus striatus* (Brandege) F. Buxbaum. *Conserv. Biol.* 8: 461-470.
- TADANO T, and SAKAI H. 1991. Secretion of acid phosphatase by roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition* 37: 129-140.

- TESSIER, JACK T. and RAYNAL, DUDLEY J. (2003). Use of nitrogen to phosphorus ratios in plant tissue as an indicator of nutrient limitation and nitrogen saturation. *Journal of Applied Ecology* 40(3):523-534
- TEWKSBURY, J. J. and LLOYD, J. D. 2001. Positive interactions under nurse-plants: spatial scale, stress gradients and benefactor size. *Oecologia* 127: 425-434.
- TEWKSBURY JJ, NABHAN GP, NORMAN D, SUZAN H, TUXILL J, and DONOVAN J. 1999. In situ conservation of wild chiles and their biotic associates. *Conserv Biol* 13:98-107
- THOMPSON, B.D., BELL, R.W., and BOLLAND, M.D.A. 1992. Low seed phosphorus concentration depresses early growth and nodulation of narrow-leaved lupins (*Lupinus angustifolius* cv. Gungurru). *J. Plant Nutrition* 15:1193-1214.
- TIBBETT M, and SANDERS FE. 2002. Ectomycorrhizal symbiosis can enhance plant nutrition through improved access to discrete organic nutrient patches of high resource quality. *Annals of Botany* 89: 783-789.
- TIEDEMANN, A.R. and J.O. KLEMMENDSON. 1973. Nutrient availability in desert grassland soils under mesquite (*Prosopis juliflora*) trees and adjacent open areas. *Soil Science Society American Proceedings* 37: 107-111.
- UHDE-STONE C, GILBERT G, JOHNSON JMF, LITJENS R, ZINN KE, TEMPLE SJ, VANCE CP, and ALLAN DL. 2003a. Adaptation of white lupin to phosphorus deficiency involves enhanced expression of genes related to organic acid metabolism. *Plant and Soil* 248(1-2): 99 - 116
- UHDE-STONE C, ZINN KE, RAMIREZ-YAÑEZ M, LI A, VANCE CP, and ALLAN DL . 2003b. Nylon filter arrays reveal differential gene expression in proteoid roots of white lupin in response to P deficiency. *Plant Physiology* 131: 1064-1079.
- VALIENTE-BANUET, A. and E. EZCURRA. 1991. Shade as a cause of the association between the cactus *Neobuxxaunia teterzo* an the nurse plant *Mimosa luisana*. *Journal of Ecology* 79: 961-971.
- VAN AUKEN, O.W. and J.K. BUSH. 1991. Influence of shade and herbaceous competition on the seedling growth of the woody species. *Madroño* 38: 149-157.
- VANCE CP. 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology* 127: 390397.
- VANCE, CARROLL P., UHDE-STONE, CLAUDIA and ALLAN, DEBORAH L. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157 (3), 423-447.

- VAN DEN DRIESCHE, R. 1984. Nutrient storage, retranslocation and relationship of stress to nutrition. In Nutrition of plantation forests. G.D. Bowen and E.K.S. Nambiar (editors). Academic Press, Orlando, FL., pp. 181–209
- VAN SAMBEEK, J.W., PONDER FELIX Jr. and RIETVELD, W. J. 1986. Legumes increase growth and alter foliar nutrient levels of black walnut saplings. *Forest Ecology and Management*. 17:159-167.
- VARGAS, M.F. 1997. Parques Nacionales de México.
- VERDÚ, M., VILLAR-SALVADOR, P. and GARCÍA-FAYOS, P. 2004. Gender effects on the post-facilitation performance of two dioecious *Juniperus* species. *Functional Ecology*. 18:(1):87-93.
- VEST, G. 1971. Nitrogen increases in a non-nodulating soybean genotype grown with nodulating genotypes. *Agron. J.* 63:356-359.
- WAHUA, T. A. AND MILLAR D. A. 1978. Effects of intercropping on soybean nitrogen fixation and plant composition on associated sorghum and soybeans. *Agron. J.* 70:292-295.
- WALKER, L.R. 1994. Effects of fern thickets on woodland development on landslides in Puerto Rico. *Journal of Vegetation Science* 5: 525-532.
- WATT, M. and JOHN R. EVANS. 1999. Proteoid Roots. *Physiology and Development*. *Plant Physiol* 121: 317-323
- WEST, N.E. and J.O. KLEMENDSON. 1978. Structural distribution of nitrogen in desert ecosystems. In: West NE & JJ Skujins (eds.) *Nitrogen in Desert Ecosystems*. Dowden Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 1-16.
- WEIH, MARTIN and KARLSSON, P. STAFFAN (1999). The nitrogen economy of mountain birch seedlings: implications for winter survival. *Journal of Ecology* 87(2):211-219.
- WILSON, J. B., and A. D. Q. AGNEW. 1992. Positive switches in plant communities. *Advances in Ecological Research* 23:263–336.
- WOODS, P.V., NAMBIAR, E.K.S. and SMETHURST, P.J. 1992. Effect of annual weeds on water and nitrogen availability to *Pinus radiata* trees in a young plantation. *Forest Ecology and Management* 48:145-163.