



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

FACULTAD DE BIOLOGÍA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**DESARROLLO DEL DOSEL DE LEGUMINOSAS BAJO
DIVERSAS CONDICIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA
EN BOSQUE DE PINO – ENCINO DE MICHOACÁN, MÉXICO.**

TESIS

Que como requisito para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

en Conservación y Manejo de Recursos Naturales

presenta:

MARIELA GÓMEZ ROMERO.

Director de tesis:

DR. ROBERTO A. LINDIG CISNEROS.

Morelia Michoacán, México. Mayo de 2006.



DEDICATORIA

A mis padres:

Guillermina Romero Gómez y Víctor Manuel Gómez Dávalos.

Por haberme dado la vida y la libertad, por quienes he logrado realizar una parte más de mi sueño y escalar paso a paso un poco más pensando en ustedes.

A mis hermanos:

Manuel, Jaime, Azalea, Brisia, Corina y Memo.

Con quienes quiero compartir esta otra etapa tan importante en mi vida.

A Julio, Dalay, Farid, Erick, Juanes, Lupe, Laura, Sonia, Maricela y Pepe.

De una manera muy especial a **Esteban** por estar siempre presente, por compartir cada momento en esta etapa tan importante, por darme su apoyo y cariño en los momentos de esfuerzo.

A todas y cada una de las personas que han estado presentes en los momentos más decisivos.

Aún queda mucho por recorrer.

¡Cuánto mayor sentido tiene ahora la vida!

*Podemos alzarnos sobre nuestra ignorancia, podemos descubrirnos como criatura de perfección,
inteligencia y habilidad ¡Podemos ser libres!*

¡Podemos aprender a volar!

Richard Bach.

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis fue financiada por el proyecto
CONACYT (SEMARNAT-2002 - C01 - 0760).

Agradecemos a la Dirección Técnica Forestal de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro por permitirnos llevar a cabo el presente estudio.

Al Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad de Wisconsin-Madison por el apoyo brindado a través del donativo del Sr. Ed Weigner en estudios anteriores que fueron base y dieron soporte al proyecto en curso.

Al Instituto de Ecología de Pátzcuaro A.C. por las facilidades otorgadas para la identificación de ejemplares, al Dr. Sergio Zamudio y a las chicas Maru e Ivonne. Al Herbario de la Facultad de Biología, a la Biol. Martha Santoyo por su colaboración.

A mi asesor Dr. Roberto A. Lindig Cisneros con eterno agradecimiento por haberme permitido formar parte de este proyecto, por su paciencia, por sus observaciones, por el invaluable aporte de sus conocimientos y por su apoyo en todo momento, mi respeto y admiración.

A los integrantes de la comisión revisora M.C. Xavier Madrigal Sánchez, Dra. Sabina I. Lara Cabrera, Dr. Cuauhtemoc Sáenz Romero y al Dr. H. Javier A. Villegas Moreno por sus aportes, revisión y corrección del manuscrito.

Al M. C. José Luis Ábrego Aranda, por su invaluable apoyo, por su confianza, sus consejos, por compartir momentos tan importantes y por creer siempre en mí.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, a la Facultad de Biología, a la Maestría en Ciencias en Conservación y Manejo de Recursos Naturales, por ser parte de ella. A cada uno de los profesores presentes en mi formación.

A mis compañeros de laboratorio Chino Arnulfo por su ayuda y disposición en todo momento a Esteban a los chavos de servicio social Carlos y Chava por su colaboración, a Ruy y a Orjuz por su colaboración en el experimento de invernadero del capítulo III y a las tesistas Dulce y Janet por los momentos divertidos en los viajes para identificación de ejemplares, a Oscar por formar parte del equipo, a Yazmín y Bella.

A Pedro por brindarme su amistad, su apoyo y confianza en cada momento, por sus lecciones. A Nancy por continuar en otra etapa más y a los compañeros de la maestría 0406.

A todos mis compañeros de la licenciatura de la Facultad de Biología 980304 Lalo, Rafa, Bani, Karla, Raquel, Cuauhtli, Lore, Magda, Sussy, Tana, Nancy, Concho, Julio, Juanito, Crisanto, Saúl e Iván por esos momentos tan importantes que no olvido.

Va por todos y recuerden que...la jefa responde.

Los extraño...

A Karla, por ser parte importante y haber compartido conmigo tantos momentos, a Alfredo por su colaboración para la culminación física de la tesis y al Gordo por el tiempo compartido, no los olvido.

A todas y cada una de las personas que estuvieron presentes y que de alguna forma influyeron para la realización de esta importante etapa.

GRACIAS una vez más.

"Si no luchas por tus sueños ¿quién los hará realidad?"

Carlos Olivares.

La presente tesis fue realizada en el Laboratorio de Ecología de Restauración de la Facultad de Biología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo bajo la asesoría del Dr. Roberto A. Lindig Cisneros.

ÍNDICE

RESUMEN GENERAL.....	1
SUMMARY.....	3
I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	5
II. ANTECEDENTES GENERALES.....	7
2.1 Estudios del Volcán Parícutín.....	7
2.2 Otros volcanes.....	7
2.3 Trabajos en Nuevo San Juan Parangaricutiro.....	7
2.4 Restauración Ecológica.....	8
2.5 Las leguminosas en la Restauración Ecológica.....	9
2.6 Especies de estudio tomado de Rzedowski y Rzedowski (2001).....	10
2.6.1 <i>Lupinus elegans</i> H.B.K.....	10
2.6.2 <i>Crotalaria pumila</i> Ort.....	10
2.6.3 <i>Trifolium repens</i> L.....	11
III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
3.1 Localización y descripción de la comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro.....	12
3.2 Fisiografía.....	13
3.3 Orografía.....	13
3.4 Geología.....	14
3.5 Suelos.....	14
3.6 Clima.....	15
3.7 Hidrografía.....	16
3.8 Vegetación.....	16

Capítulo I. LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

RESUMEN.....	17
SUMMARY.....	18
1.1 Los Bosques en México.....	19
1.2 Los Bosques en Michoacán.....	20
1.3 La Restauración Ecológica.....	20
1.3.1 Umbrales en restauración ecológica.....	22
1.4 La Restauración ecológica en Michoacán.....	25
1.5 CONCLUSIONES.....	26
1.6 LITERATURA CITADA.....	27

Capítulo II. SOBREVIVENCIA Y DESARROLLO DE LEGUMINOSAS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN BOSQUE DE PINO – ENCINO DE MICHOACÁN. MÉXICO.

RESUMEN.....	31
SUMMARY.....	32
2.1 INTRODUCCIÓN.....	33
JUSTIFICACIÓN.....	35
2.2 OBJETIVOS.....	36
2.2.1 Objetivo General.....	36
2.2.2 Objetivos Particulares.....	36
Hipótesis.....	37
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	38
2.3.1 Primera etapa.....	38
2.3.2 Segunda etapa.....	39
2.3.3 Tercera etapa.....	40

2.3.3.1 Experimento para determinar la densidad de semillas que fueron sembradas en campo.....	40
2.3.4 Cuarta etapa.....	41
2.4 RESULTADOS.....	44
2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DURANTE EL TIEMPO DE EXPERIMENTACIÓN.....	44
2.4.1.1 Condiciones ambientales: Temperatura y Precipitación.....	44
2.4.1.2 Riqueza de especies.....	51
2.4.1.3 Análisis de suelo de los sitios de estudio.....	53
2.4.2 Determinación de la densidad de semillas.....	59
2.4.3 Supervivencia de las leguminosas en campo.....	60
2.4.4 Porcentaje de supervivencia de las plantas de leguminosas.....	66
2.4.5 Desempeño de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. en El Tepamal.....	68
2.4.6 Alturas de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. al término de la época de secas.....	72
2.4.7 Formas de vida de acuerdo a la clasificación de Rauenkaier.....	78
2.5 DISCUSIÓN.....	80
2.6 CONCLUSIONES.....	83
2.7 LITERATURA CITADA.....	86

Capítulo III. PROFUNDIDAD ÓPTIMA DE SEMBRADO DE *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. (Fabaceae) EN CENIZA VOLCÁNICA

RESUMEN.....	90
SUMMARY.....	91
3.1 INTRODUCCIÓN.....	92
3.2 OBJETIVOS.....	94
3.2.1 Objetivo general.....	94

3.2.2 Objetivos particulares.....	94
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	95
3.3.1 Primera etapa.....	95
3.3.2 Segunda etapa.....	96
3.4 RESULTADOS.....	100
3.4.1 Etapa de laboratorio.....	100
3.4.2 Etapa de Invernadero.....	103
3.5 DISCUSIÓN.....	111
3.6 CONCLUSIONES.....	113
3.7 LITERATURA CITADA.....	115

Capítulo IV. DESEMPEÑO DE *Lupinus elegans* H.B.K.
TRANSPLANTADOS A LOS 3 MESES DE EDAD

RESUMEN.....	116
SUMMARY.....	117
4.1 INTRODUCCIÓN.....	118
4.2 OBJETIVOS.....	120
4.2.1 Objetivo general.....	120
4.2.2 Objetivos particulares.....	120
4.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	121
4.3.1 Resiembra en campo.....	121
4.3.2 Transplante a los tres meses de edad.....	121
4.4 RESULTADOS.....	124
4.4.1 Resiembra.....	124
4.4.1.1 Condiciones ambientales.....	124
4.4.1.2. Resiembra. Desempeño de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. <i>Crotalaria pumila</i> Ort. y <i>Trifolium repens</i> L.....	127

4.4.2 <i>Lupinus elegans</i> H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad en Llano de Pario.....	130
4.4.2.1 Condiciones ambientales.....	130
4.4.2.2 Desempeño de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad en Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....	132
4.5 DISCUSIÓN.....	137
4.6 CONCLUSIONES.....	139
4.7 LITERATURA CITADA.....	140
IV. CONCLUSIONES GENERALES.....	142
V. RECOMENDACIONES DE MANEJO.....	144
VI. LITERATURA CITADA.....	148

ÍNDICE DE CUADROS

Generales

III. Cuadro No. 1. División de acuerdo al uso de suelo (D.T.F.N.S.J.P., 1988).....13

III. Cuadro No. 2. Datos de temperatura media y precipitación mensual de la estación El Durazno, Michoacán registrados en la zona antes del tempo de experimentación.....15

Capítulo II

Cuadro No. 1. Número de semillas por charola sembradas en invernadero.....40

Cuadro No. 2. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire, suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas en el sitio El Tepamal.....44

Cuadro No. 3. Precipitación en el sitio El Tepamal. Los datos que se presentan son la acumulación de la precipitación bimestral.....45

Cuadro No. 4. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en el sitio Llano de Pario.....45

Cuadro No. 5. Precipitación en el sitio Llano de Pario. Los datos que se presentan son la acumulación de la precipitación bimestral.....45

Cuadro No. 6. Resumen de la riqueza de especies en los sitios de estudio.....53

Cuadro No. 7. Análisis físico del suelo de los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....55

Cuadro No. 8. Número de plantas de leguminosas que crean un dosel entre 80 y 100% en charolas de plástico de 60 x 60 cm.....59

Cuadro No. 9. Densidad de semillas que crean cobertura del 100% en 1m ² y densidad de siembra en campo.....	60
Cuadro No. 10. Análisis de varianza de una vía por especie en los tres diferentes sitios.....	61
Cuadro No. 11. Promedio de sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K....	61
Cuadro No. 12. Promedio de sobrevivencia de las plantas de <i>Crotalaria pumila</i> Ort....	64
Cuadro No. 13. Promedio de sobrevivencia de las plantas de <i>Trifolium repens</i> L.....	65
Cuadro No.14. Porcentaje de sobrevivencia de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. durante el primer año de experimentación.....	66
Cuadro No. 15. Porcentaje de sobrevivencia de <i>Crotalaria pumila</i> Ort. durante el primer año de experimentación.....	66
Cuadro No. 16. Porcentaje de sobrevivencia de <i>Trifolium repens</i> L. durante el primer año de experimentación.....	67
Cuadro No. 17. Porcentaje de establecimiento de las leguminosas utilizadas durante el primer año de experimentación.....	67
Cuadro No. 18. Porcentaje de establecimiento de las leguminosas utilizadas durante el primer año del experimento hasta el mes de octubre de 2004.....	67
Cuadro No. 19. Ubicación de las parcelas con respecto a la orientación de las pendientes en el sitio El Tepamal.....	70
Cuadro No. 20. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en El Tepamal al cumplir un año de edad.	71

Cuadro No. 21. Análisis de varianza de una vía aplicado a la altura de *Lupinus elegans* H.B.K. de los sitios El Tepamal y Llano de Pario.....72

Cuadro No. 22. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en el sitio El Tepamal al cumplir un año de edad.....75

Cuadro No. 23. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la altura máxima de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en el sitio El Tepamal al cumplir un año de edad.....77

Cuadro No. 24. Formas de vida que presentan las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. en los sitios El Tepamal, Llano de Pario y Measa de Cutzato de acuerdo a la clasificación de las formas de vida de las plantas de Rauwenkaier extraído de Blanquet, J.B. (1979).....79

Capítulo III

Cuadro No.1. Límite de tamaño de partículas en la clasificación de texturas de acuerdo a Buckman y Brady (1991).....92

Cuadro No. 2.Tratamientos de profundidad para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica como sustrato en laboratorio.....96

Cuadro No.3.Tratamientos de profundidad para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica como sustrato en invernadero.....97

Cuadro No. 4. Análisis de devianza aplicado a la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en el experimento de laboratorio.....101

Cuadro No. 5. Rangos de emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. del experimento de laboratorio.....	102
Cuadro No. 6. Análisis de varianza de una vía aplicado a la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en el experimento de laboratorio.....	102
Cuadro No. 7. Intervalos de confianza (95%) simultáneos para las combinaciones lineares de los rangos de la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pomila</i> Ort. en el experimento de laboratorio mediante el método de Tukey.....	102
Cuadro No. 8. Emergencia óptima de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en ceniza volcánica.....	103
Cuadro No. 9. Datos de temperatura monitoreados durante la etapa de experimentación de invernadero.....	104
Cuadro No. 10. Análisis de devianza aplicado a la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en el experimento de invernadero.....	109
Cuadro No. 11. Grupos formados de las profundidades probadas para la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. del experimento de laboratorio.....	109
Cuadro No. 12. Análisis de varianza de una vía aplicado a la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort en el experimento de campo.....	109

Capítulo IV

Cuadro No. 1. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Pario.....	124
Cuadro No. 2. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire, suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas en El Tepamal.....	126
Cuadro No. 3. Análisis de varianza de una vía por especie de la resiembra en los tres diferentes sitios en la agosto de 2005.....	127
Cuadro No. 4. Promedio de plantas vivas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. <i>Crotalaria pumila</i> Ort. y <i>Trifolium repens</i> L. por parcela en agosto de 2005.....	127
Cuadro No. 5. Porcentaje de plantas vivas de la resiembra de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. <i>Crotalaria pumila</i> Ort. y <i>Trifolium repens</i> L. en agosto de 2005.....	128
Cuadro No. 6. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en El Tepamal al cumplir un año de edad.....	129
Cuadro No. 7. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Pario.....	130
Cuadro No. 8. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K transplantados a los 3 meses de edad en Llano de Pario.....	132
Cuadro No. 9. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K transplantados a los 3 meses de edad en Mesa de Cutzato.....	134
Cuadro No. 10. Análisis de riesgos proporcionales de la sobrevivencia de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K transplantados a los 3 meses de edad, en función de un umbral de distancia a la orilla del bosque de 100 metros.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Generales

III. Figura No. 1. Ubicación de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro.....12

V. Figura No. 1. Diseño de la herramienta que se utilizó en la resiembra para enterrar las semillas de las leguminosas a la profundidad adecuada.....144

Capítulo II

Figura No. 1. Temperatura (promedio) del aire, suelo y bajo dosel de leguminosas en El Tepamal. Nótese que la temperatura bajo el dosel de leguminosas es más homogénea.....46

Figura No. 2. Temperatura durante la época de secas en el año 2004 de El Tepamal (San Nicolás) a) suelo desnudo, b) bajo el dosel de leguminosas.....47

Figura No. 3. Comparación de temperaturas (mínima y máxima) del aire en Llano de Pario y El Tepamal.....48

Figura No. 4. Temperaturas promedio del aire y Precipitación pluvial en El Tepamal.....49

Figura No. 5. Temperaturas promedio del aire y Precipitación pluvial en Llano de Pario.....50

Figura No 6. Porcentaje de arcilla, limo y arena en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....56

Figura No 7. Componentes del suelo en kg/ha en los tres sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....57

Figura No 8. Porcentaje de materia orgánica en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....	58
Figura No. 9. Promedio de sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. durante el primer año de experimentación en los sitios de estudio. El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....	62
Figura No. 10. Promedio de plantas vivas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato durante el primer año de experimentación.....	63
Figura No. 11. Sobrevivencia de las plantas de <i>Crotalaria pumila</i> Ort. durante el primer año de experimentación en los sitio de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.	64
Figura No. 12. Sobrevivencia de las plantas de <i>Trifolium repens</i> L. durante el primer año de experimentación en los sitio de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.....	65
Figura No. 13. Mapa de la orientación de las pendientes en El Tepamal. Las pendientes están en grados. Las parcelas están enumeradas de izquierda a derecha de la parte superior a la parte inferior de 1 a 12.....	69
Figura No. 14. Rosa de los vientos utilizada para ubicar la orientación de las pendientes en las parcelas del sitio El Tepamal.....	70
Figura No. 15. Sobrevivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.....	71
Figura No. 16. Alturas de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005). En los sitio El Tepamal y Llano de Pario.....	73

Figura No. 17. Alturas promedio de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005) en el sitio El Tepamal.....	74
Figura No. 18. Altura de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.....	75
Figura No. 19. Alturas promedio de las 6 plantas más altas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005) el sitio El Tepamal.....	76
Figura No. 20. Altura máxima de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.....	77

Capítulo III

Figura No. 1. Preparación del sustrato para el experimento de profundidad de sembrado de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort.....	98
Figura No. 2. Diseño de parcelas para 8 tratamientos con 60 réplicas para <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en la caja de emergencia.....	98
Figura No. 3. Emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. vs <i>Crotalaria pumila</i> Ort. del experimento de laboratorio.....	101
Figura No 4. Comportamiento de la emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. en los diferentes tratamientos a lo al paso de seis semanas.....	105
Figura No. 5. Comportamiento de la emergencia de plántulas de <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en los diferentes tratamientos al paso de seis semanas.	106
Figura No. 6. Emergencia de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. en ceniza volcánica.....	107

Figura No. 7. Emergencia de plántulas de <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en ceniza volcánica.....	108
Figura No. 8. Emergencia comparativa de plántulas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. y <i>Crotalaria pumila</i> Ort. en ceniza volcánica.....	110

Capítulo IV

Figura No. 1. Diseño de la distribución del trasplante de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. trasplantados a los 3 meses de edad en Llano de Pario.....	123
Figura No. 2. Diseño de la distribución del trasplante de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. trasplantados a los 3 meses de edad en Mesa de Cutzato.....	123
Figura No. 3. Comparación de temperaturas (mínima y máxima) del aire en Llano de Pario y El Tepamal.....	125
Figura No. 4. Temperatura (promedio) del aire, suelo y bajo dosel de leguminosas en El Tepamal.....	126
Figura No. 5. Supervivencia de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente al término de la primera evaluación del segundo año (14 meses) en el sitio El Tepamal.....	129
Figura No. 6. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Pario.	131
Figura No. 7. Desempeño de las plantas de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K. trasplantados a los 3 meses de edad, evaluación mensual hasta 6 meses en el sitio Llano de Pario.....	133

Figura No. 8. Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad, evaluación mensual hasta 6 meses en el sitio Mesa de Cutzato.....134

Figura No. 9. Curva de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad, evaluación mensual en el sitio Mesa de Cutzato.135

Figura No. 10. Relación entre la distancia de las plantas a la orilla del bosque y la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad.....136

RESUMEN GENERAL

Para restaurar áreas perturbadas por deposición de cenizas volcánicas, consecuencia de la erupción del Volcán Parícutin, en Michoacán, México, además de terrenos agrícolas abandonados y reconvertirlas al uso forestal, se contribuyó con el desarrollo de técnicas en bosque de pino-encino de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (C.I.N.S.J.P.) para recuperar la vegetación, por lo cual, se estudió el establecimiento de las leguminosas *Lupinus elegans* H.B.K. del dosel mediano, *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. del sotobosque en los sitios El Tepamal (área agrícola abandonada), Llano de Pario y Mesa de Cutzato (arenales de origen volcánico) que forman un gradiente de menor a mayor nivel de perturbación. La riqueza inicial de especies dentro de las parcelas de experimentación, los análisis de suelo y el desempeño de las leguminosas confirman el patrón de degradación. Los resultados coinciden con la teoría propuesta por Hobbs y Norton (1996) quienes sugieren que los esfuerzos de restauración en los sitios con niveles altos de perturbación se incrementan en la medida en que el nivel de degradación es mayor. En el sitio El Tepamal se sembró la combinación de las leguminosas 21 gramos de *L. elegans* (930 - 960 semillas), 16 gramos de *C. pumila* (3 140 - 4 000 semillas) y 60 gramos de *T. repens* (94 000 - 94 320 semillas) en 12 parcelas de 64m²; al siguiente año, se resembró en las mismas cantidades, excepto para el caso de *L. elegans* que sólo se resembró un proporción (8.4 gramos) en las 4 parcelas con menos de una planta por 1m². Aún cuando el sitio presenta diferentes grados de inclinación de pendiente y orientación, son factores que no influyeron en la altura de las plantas, sin embargo, en la sobrevivencia puede verse reflejado ligeramente, a menor grado de inclinación de la pendiente, mayor sobrevivencia. El desarrollo del dosel de *L. elegans* es decisivo para la creación de microclimas que favorezcan las condiciones para el establecimiento de otras especies del sotobosque y arbóreas. En el sitio Llano de Pario en 12 parcelas de 64m² se sembró la combinación de las mismas leguminosas en especie y en cantidad, al segundo año se realizó la resiembra con la ayuda de un rastrillo con dientes de 3 centímetros de largo, mismo que sirvió para que las semillas quedaran enterradas entre 2 y 2.5 centímetros de profundidad, técnica que promovió la emergencia de las plántulas. Además se transplantaron 32 plantas de *L. elegans* de 3 meses de edad por cada una de las

parcelas donde ya se había realizado la siembra y resiembra, con los resultados del experimento se ubicó un umbral a 100 metros de la orilla del bosque, las plantas de *L. elegans* que se encontraron a más de 100 metros presentaron un 55 % más de probabilidad de poder sobrevivir; al quinto mes se dio el descenso coincidiendo con el periodo de heladas. En el sitio Mesa de Cutzato, se realizó la siembra, resiembra y en 2 parcelas de 64m² transplante de 40 plantas de *L. elegans* y aún se requiere de un mayor esfuerzo, ya que sumado a las difíciles condiciones ambientales, la gruesa capa de ceniza volcánica se muestra como otro factor limitante para el establecimiento de las plantas. Se propone dejar este sitio en particular como un atractivo ecoturístico, ya que de no ser así, los costos de restauración se incrementarían considerablemente. *L. elegans* es una especie que muestra potencial y se recomienda ampliamente para la restauración ecológica de sitios degradados, el desarrollo del dosel favorece la creación de microclimas para el establecimiento de especies nativas tanto herbáceas como arbustivas y arbóreas por funcionar como nodrizas.

SUMMARY

In order to restore perturbed areas covered with volcanic-sand deposits consequence of the eruption of the Parícutin Volcano, in Michoacán, México, and abandoned agricultural fields under conversion to forest use, a contribution to restoration techniques for these sites was made in collaboration with the Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (C.I.N.S.J.P.) to create vegetation cover. Establishment of three leguminous species, *Lupinus elegans* H.B.K, *Crotalaria pumila* Ort. and *Trifolium repens* L. was studied in three different sites; El Tepamal (abandoned agricultural area), Llano de Pario and Mesa de Cutzato (sands of volcanic origin) that form a gradient of low to high perturbation. The initial species richness inside the experimental parcels was assessed, soil analyses and the development of the leguminous species confirm the degradation gradient. The results confirm the model proposed by Hobbs and Norton (1996) in which they suggest that restoration efforts in places with high levels of degradation are greater than in less degraded sites and that the effort increase is not linear.

In “El Tepamal” a combination of the leguminous species was seeded with 21 grams of *L. elegans* seeds (930 - 960 seeds), 16 grams of *C. pumila* (3 140 - 4 000 seeds) and 60 grams of *T. repens* (94 000 - 94 320 seeds) in 12 parcels of 64m². The following year, seeds were sown one more time in the same quantities, except for the case of *L. elegans* that was only applied to 4 parcels that had less than a plant per 1m². Even though the site presents different slopes and slope orientation, these factors did not had an influence in the final height of the plants. However in terms of survival these variables can be important, the smaller the slope the highest the survival rate. The development of the canopy of *L. elegans* is decisive for the creation of microclimates that favor the conditions for the establishment of other species. In the Llano de Pario in 12 parcels of 64m² the same leguminous combination was sowed. The second year sowing was carried out with the help of a rake with teeth 3 centimeters long, for allowing the seeds to be buried from 2 to 2.5 centimeters deep, technique that promoted higher germination rates. Also, 32 plants of *L. elegans* 3 months of age were transplanted to each one of the parcels where this species was sown. With the

results of the experiment a threshold was located to 100 meters measured from the border of the forest. The plants of *L. elegans* that were more than 100 meters presented 55% more probability of surviving, finally all plant died because of frost damage. In the Mesa de Cutzato, the legumes were sown in two consecutive years and *L. elegans* plants planted in 2 parcels of 64m² with 40 plants each.

Our results show that another limiting factor for the establishment of plants is the depth of the volcanic sand layer.

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

“La restauración ecológica es un proceso que intenta formar estadios sucesivos, para recuperar la composición de especies y las interrelaciones de la comunidad original, en un tiempo relativamente corto” (Renato 2002). Con base en el problema que plantea la destrucción de comunidades vegetales naturales y el consecuente deterioro ecológico que esto ocasiona, se propone la alternativa de emplear especies leñosas nativas en la restauración ecológica y la reforestación. La utilización de plantas silvestres se basa en su conocimiento biológico, ecológico y el dominio de las técnicas de propagación más adecuadas (Vázquez-Yanes y Batis 1996).

Las actividades agrícolas ocasionan a largo plazo la degradación de la estructura del suelo y por lo tanto, la vegetación es afectada y en algunos casos, el deterioro es relevante (Salami 1998) y como consecuencia, hay pérdida de la cobertura vegetal y las tasas de erosión se incrementan (Kimoto *et al.* 2002). La vegetación desempeña un papel primordial en la restauración del suelo debido a la acumulación de biomasa, manteniendo una interacción planta-suelo, elementos que son base en la sucesión (Lu y Moran 2002).

Nebel y colaboradores (1999) reportan que cada año se talan cientos de miles de hectáreas de bosque para habilitar tierras para la agricultura y los beneficios son reducidos, debido a que el delgado mantillo se deslava pronto y deja un subsuelo duro y con escasos nutrientes y como resultado, el suelo se deteriora, la producción decrece y causa erosión. Es importante conocer las características físicas como textura, tamaño de la partícula y otras más para conocer las especies que pudieran tener óptimo crecimiento de acuerdo a sus requerimientos (Cogliastro *et al.* 1997).

La erupción del volcán Parícutin (1943-1952), en el estado de Michoacán, México, fue un evento de grandes proporciones que disminuyó la cobertura forestal e inutilizó las tierras agrícolas de la zona (Eggler 1948, 1963). La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, se ha preocupado por buscar alternativas de manejo, conservación y aprovechamiento del bosque que le permitan diversificar sus actividades productivas. En un

área caracterizada por vulcanismo reciente (Williams 1950, Bocco *et al.* 1998), donde gran parte de los suelos se encuentran influidos por derrames lávicos y depósitos de cenizas volcánicas de espesor variable. Estas cenizas, han sepultado a los suelos a partir de depósitos piroclásticos más antiguos. En zonas localizadas, las cenizas son erosionadas y redepositadas en los valles, mezcladas con material edáfico de la superficie anterior (Seegerstrom 1950). La actividad volcánica reciente, confiere por lo tanto, características particulares a los suelos de la comunidad, que a su vez, requieren prácticas de manejo diferenciadas y condicionan sus usos potenciales (Velázquez *et al.* 2003), sin embargo, la cobertura vegetal de la Meseta Purépecha ha sido modificada también por perturbaciones antropogénicas, destacando la explotación forestal y la transformación del uso del suelo a agricultura y ganadería (Lindig-Cisneros *et al.* 2004).

La estructura de esta tesis es la siguiente: en el primer capítulo se hace una revisión conceptual acerca de la restauración ecológica, identificando la necesidad de restaurar bosque de pino-encino y la atención que para ello requiere el estudio de las especies del sotobosque. El segundo capítulo, muestra los resultados obtenidos durante el primer año de trabajo en tres sitios de estudio, donde se probaron tres especies de leguminosas *Lupinus elegans* H.B.K. que es arbustiva, *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. que son herbáceas del sotobosque, en un gradiente de perturbación para contribuir al desarrollo de técnicas de restauración ecológica de áreas perturbadas, por deposición de cenizas volcánicas en bosque de pino-encino; al finalizar este capítulo, se decidió explorar alguna técnica que maximizara la sobrevivencia de las especies de leguminosas en las primeras etapas de vida, tratando de proteger las semillas de posibles depredadores al sembrarlas a una profundidad considerable resultando así, el tercer capítulo contiene un experimento de laboratorio y uno de invernadero, mismos que se llevaron a cabo, para conocer la profundidad de sembrado que optimizara la emergencia de plántulas de *L. elegans* y *C. pumila* en ceniza volcánica como sustrato, por otro lado, conocer la profundidad máxima a la que dichas especies tienen posibilidad de emerger. Los resultados obtenidos fueron aplicados en la resiembra de leguminosas en los tres sitios a una profundidad óptima, misma que se reporta en el siguiente capítulo. El cuarto capítulo incluye además de los resultados de la resiembra, el transplante de *L. elegans* de tres meses de edad en los sitios con mayor nivel de perturbación.

II. ANTECEDENTES GENERALES

2.1 Estudios del Volcán Parícutin

El volcán Parícutin inició su actividad el 20 de febrero de 1943 y cesó el 14 de marzo de 1952, después de 9 años de actividad. La erupción volcánica tuvo como resultado que grandes áreas quedaran afectadas; estas áreas incluyen el cono volcánico con diámetro mayor aproximado de 900 m y un diámetro menor de 650 m, además de alrededor de 24 km² quedaron cubiertos por derrames magmáticos (Fires y Gutiérrez 1945) y 1.3 km² cubiertos por ceniza y arena volcánica (De la Torre 1971). Egger (1963), fue el primero en estudiar la vegetación natural del sitio, dos años y medio después de que iniciara la actividad, hasta ocho años después de que finalizara (Egger 1963). Giménez de Ascárate Cornide y colaboradores (1997) 44 años después de terminar la actividad continuaron con el mismo estudio. En la actualidad existen grandes áreas casi desprovistas de vegetación como consecuencia de la erupción del volcán Parícutin (Lindig, *et al.* 2002).

2.2 Otros volcanes

En sitios afectados por la erupción del Volcán Santa Helena en el Estado de Washington, Estados Unidos, el establecimiento de la vegetación natural fue afectado por la profundidad de la capa de tepa (arena de grosor variable); el género *Lupinus* es dominante en el sitio por poseer adaptaciones que le permiten establecerse en sitios perturbados (Del Moral 1983, Antos y Zabel 1986, Word y Del Moral 1988, Braatne y Bliss 1989).

2.3 Trabajos en Nuevo San Juan Parangaricutiro

Martínez (1997), realiza un inventario florístico de las plantas vasculares en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (C.I.N.S.J.P.), hace la comparación florística del bosque de la comunidad con otras áreas y describe los principales tipos de vegetación. En el inventario reconoce 30 especies de leguminosas, agrupadas en 14 géneros, que representan el 10.48% de la totalidad de la composición de especies de los bosques, donde destacan siete especies del género *Lupinus*. Posteriormente, se realiza un estudio sobre la vegetación nativa de la misma localidad, comparando la riqueza de las islas de vegetación entre sí, con respecto al área de las mismas (Galindo-Vallejo 2004); en el mismo año, se

realizó un estudio de nodulación en *Lupinus elegans* (Fabaceae), para ser utilizada en proyectos de restauración de la Meseta Purépecha (Aureoles-Celso 2004). En cuanto al establecimiento de plantas nativas, se realizó un estudio con la especie antes mencionada, además de *Eupatorium glabratum* (Compositae), con propósitos de restauración ecológica en Nuevo San Juan Parangaricutiro (Gómez-Romero 2004). Blanco-García y Lindig-Cisneros (2005) realizaron un estudio sobre el efecto del esfuerzo de restauración nativa aledaña al Volcán Parícutin, en el que se evaluó el establecimiento y sobrevivencia de *Pinus pseudostrobus* y *Lupinus elegans* utilizando corteza de pino como acolchado, registrando los pinos una mayor sobrevivencia con la utilización de la técnica.

Velázquez y colaboradores (2003) hicieron una compilación de la investigación participativa para el manejo integral de los recursos naturales de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, incluyendo diversos aspectos que han sido objeto de estudio en las últimas décadas.

2.4 Restauración Ecológica

En algunos bosques, el mínimo esfuerzo de intervención ha sido exitosa para su restauración; realizando prácticas de manejo como la exclusión de ganado de áreas protegidas y el control de incendios accidentales. Con esta estrategia se obtuvieron resultados importantes en los bosques de Podocarpaceas en Nueva Zelanda donde la vegetación se regeneró de manera natural (Wilson 1994).

También se han realizado esfuerzos para restaurar el bosque tropical, donde se reconoce que algunas especies exóticas pueden causar problema por su abundancia, de modo que la sucesión secundaria puede sugerir estrategias para la restauración de un sitio, de acuerdo a sus características originales. El fuego controlado puede ser considerado siguiendo el desarrollo de la regeneración natural del bosque tropical (Aide *et al.* 2000). Cada sitio tiene características particulares, responde de manera diferente a los esfuerzos que en él se realicen. Las leguminosas presentan características importantes que pueden mejorar considerablemente las características de un área degradada, siendo posible utilizar especies nativas diferentes que pueden dar resultados satisfactorios, como en un caso en la India,

donde se utilizaron nueve especies para un proyecto de restauración, de las cuales cuatro eran leguminosas (Singh *et al.* 2000). Es importante tomar en cuenta que en restauración es necesario utilizar la creatividad para proponer alternativas cuando una técnica no funciona, por lo que no todas las restauraciones se han realizado siguiendo una metodología; en el pasado algunos proyectos se basaron sólo en la experiencia personal, lo que llevó a proponer la importancia de incorporar la investigación a los proyectos de restauración (Bradshaw 1984).

Uno de los objetivos de la restauración ecológica de hábitats naturales, es recobrar su estructura y función, debido a que aumenta la heterogeneidad del paisaje y por lo tanto incrementa nuevamente la diversidad de especies (Comin *et al.* 2001); por otro lado, Meyer y colaboradores (2001) hacen notar que la degradación del hábitat afecta de manera sustancial la potencialidad de los bosques de pino, por lo tanto, la restauración desempeña un papel importante en recobrar la estructura del paisaje y los microclimas que fueron afectados con la degradación.

2.5 Las leguminosas en la Restauración Ecológica

Vázquez-Yanes y colaboradores (1999), hacen notar la importancia de las leguminosas en la restauración ecológica por resistir condiciones limitantes, como baja fertilidad, sequía, suelos compactados, pH alto o bajo y salinidad entre otros, por otra parte, favorecen el restablecimiento de la flora y fauna nativas, proporcionándoles hábitat y alimento. Estas plantas, presentan rápido crecimiento y buena producción de materia orgánica, sin tendencia a propagarse como malezas invasoras incontrolables, además algunas producen leña, carbón, forraje, vainas comestibles, néctar, y otros productos.

Becker y colaboradores (1998) utilizaron *Crotalaria anagyroides* entre otras leguminosas, para reponer la fertilidad del suelo en áreas húmedas áreas de cultivo de arroz en el oeste de África y como consecuencia de este exitoso proyecto, mejoraron notablemente las condiciones hidrológicas del sitio. *Trifolium pratense* y *Trifolium repens* en conjunto con otras leguminosas, fueron utilizadas en la restauración para contrarrestar el problema de la

producción de gases tóxicos, emitidos por la descomposición de basura (Marchicol *et al.* 2000).

Por otro lado, *Trifolium repens* L., se ha estudiado de forma particular para conocer la biología de la polinización, observándose que a pesar de que la estructura de la flor favorece la autopolinización, la autofecundación tiene poco éxito (5.75%), mientras que la polinización por insectos, es ampliamente más efectiva (95.68%), siendo los principales agentes de polinización una abeja (*Apis mellifera*) y una avispa. La presencia de reproducción vegetativa vía estolones y dos variantes de reproducción sexual (autogamia y alogamia) confieren a esta especie una ventaja adaptativa que podría explicar en parte la amplia distribución geográfica y ecológica de esta especie (Guevara-Féfer 1994).

2.6 Descripción de las especies de estudio (Rzedowski y Rzedowski 2001).

2.6.1 *Lupinus elegans* H.B.K.

Planta perenne, subfrutescente, de 1 a 2 m de alto; tallos muy ramificados, ramas huecas, finas y aplicadamente puberulentas, con follaje bien distribuido, más disperso en la parte superior; hojas compuestas por 7 u 8 foliolos oblanceolados, las flores se abren casi simultáneamente, estandarte ovado, ápice puntiagudo, legumbres de 4 a 4.7 de largo, de 8 a 9 mm de ancho. Altitud de 2850 a 3000 m. Generalmente colectada en bosques de pino o encino. Ampliamente distribuida con variaciones de poblaciones locales. Guerrero, Jalisco, Michoacán, Morelos y Zacatecas (Rzedowski y Rzedowski 2001).

2.6.2 *Crotalaria pumila* Ort.

Planta anual, erguida de 30 a 50 cm de altura; tallo ramificado, hojas trifoliadas, foliolos obovados, de 1 a 2 cm de largo por 2 a 8 mm de ancho, flores dispuestas en racimos, corola amarilla, con el estandarte listado de rojo; legumbre inflada, oblonga, de 15 mm de largo por 8 mm de diámetro, con el ápice redondeado semillas de 3 mm de largo por 2 mm de ancho, de color café amarillento. Altitud de 2250 a 2350 m, se extiende del Sur de Estados Unidos a Sudamérica y en México se ha encontrado de Tlanepantla a Tlalpan, de Texcoco a Temamatla (Rzedowski y Rzedowski 2001) y en Michoacán.

2.6.3 *Trifolium repens* L.

Planta herbácea, perenne, tallos rastreros con raíces en los nodos, muy ramificado, glabro, hojas con el peciolo de 5 a 25 cm de largo, foliolos casi sésiles de 1 a 3 cm de largo, flores dispuestas en umbelas globosas, corola blanca o rosada, dos o tres veces más larga que angosto, legumbre oblonga-linear de 4 a 5 mm de largo con 3 o 4 semillas. Altitud, 2250 a 2300 m se ha encontrado en Ciudad de México, Texcoco. En el valle crece espontáneamente en terrenos abandonados, terrenos de cultivo, parques y jardines; también es cultivada. Planta nativa de Eurasia, ampliamente naturalizada en Estados Unidos, México y Centroamérica (Rzedowski y Rzedowski 2001).

La superficie se encuentra dividida de acuerdo al uso del suelo, de la siguiente manera (D.T.F.N.S.J.P. 1988):

Cuadro No. 1. División de acuerdo al uso de suelo (D.T.F.N.S.J.P. 1988).

Arbolado aprovechable	10 652 ha.
Arbolado de protección a cuencas hidrográficas	468 ha.
Agricultura	2 832 ha.
Fruticultura	1 214 ha.
Arbustiva	239 ha.
Pastizales	50 ha.
Con arena	23 ha.
Con lava volcánica	1 810 ha.
Con plantas en arena	420 ha.
Con plantaciones en áreas antes agrícolas	400 ha.

3.2 Fisiografía

La comunidad se encuentra situada dentro de la subprovincia Neovolcánica Purépecha de la provincia del Arco Transversal Mexicano. Se distingue por la presencia de un gran número de conos cineríticos y aparatos volcánicos, predomina un paisaje de elevaciones con pequeños valles intermontanos, donde se practica la agricultura. La altitud de la comunidad varía de 3 200 a 1 900 msnm (Ortiz 1997).

3.3 Orografía

La C.I.N.S.J.P. forma parte del Arco Transversal Mexicano, dentro de la Subprovincia Volcánica Tarasca. Presenta topografía accidentada con pendientes desde 5 hasta 80%, generalmente con exposición sureste. Las principales elevaciones son: Cerro de la Laguna con 3 100 msnm, Cerro Prieto con 3 200 msnm, Cerro de Pario con 2 910 msnm, Cerro de San Nicolás con 2 900 msnm y Cerro de Cutzato con 2 800 msnm, con promedio de 1 900 msnm en el resto de la comunidad (Martínez 1997).

3.4 Geología

En la actualidad, 50% de los terrenos se presentan cubiertos por espesores variables de cenizas o de malpaíses, resultado de las emisiones del Volcán Parícutin, localizado a pocos kilómetros del lindero occidental, que tuvo actividad a mediados del siglo XX. Las principales rocas son ígneas extrusivas del tipo basáltico y andesítico, así como sus correspondientes tobas (Medina *et al.* 2000).

3.5 Suelos

Los suelos se forman de manera residual a partir de cenizas volcánicas, que son producto de las erupciones volcánicas (Plioceno – Cuaternario), la más reciente fue la del Parícutin que tuvo actividad en 1943 hasta 1952. La mayoría son suelos profundos cubiertos por una capa de arena volcánica (Delgado 1992), se encuentran los siguientes tipos de suelo: Andosol húmico de textura media, Andosol ócrico de textura gruesa, Regosol dístico de textura gruesa y Faeozem háplico de textura media (INEGI 1985 en Delgado 1992).

Los suelos de tipo Andosol, son suelos negros y pardos rojizos, ligeros por su alta porosidad mineral de halofanos, que son materiales amorfos con alta capacidad de intercambio catiónico y retención de fósforo, contenido moderado de calcio, sodio, magnesio y bajo en potasio. La textura dominante es de migajón arcillosa con permeabilidad y drenaje moderado. Los suelos Andosol húmico, son suelos ricos en materia orgánica, pero muy ácidos y pobres en nutrientes y los andosoles ócricos son suelos pobres, con bajo contenido en materia orgánica. En los bosques de la comunidad este tipo de suelos se localizan en la parte centro hacia el norte, sur y oeste, abarcando aproximadamente 70% del área. (Martínez 1997).

Los Regosoles, son suelos jóvenes poco desarrollados con textura arenosa y migajón – arenosa, que proporcionan permeabilidad alta y drenaje rápido, son moderados en materia orgánica y en acidez su contenido de sodio y potasio es bajo y alto en magnesio, además

ricos en fósforo. El Regosol dístico ocupa aproximadamente 20% del área y se localiza hacia el norte de la misma, desde Cerro Prieto y se extiende hacia la lava volcánica (Martínez *op. cit.*).

Los Faeozem háplicos, son tierras pardas, su característica principal es una capa superficial oscura suave, rica en materia orgánica y nutrientes, son suelos productivos con tendencia a la erosión y se encuentran distribuidas en pequeños sitios en toda la comunidad ocupando aproximadamente 10% del área (Martínez 1997).

La cubierta de ceniza volcánica en las áreas más cercanas al volcán Parícutin, tiene una profundidad desde un centímetro hasta 1.20 metros. En la Mesa de Cutzato, la profundidad de la capa de ceniza al suelo original varía entre 0 y 74 centímetros (Lindig *et al.* 2002).

3.6 Clima

Los climas de la comunidad son de tipo templado y semifrío, su clasificación es: C (w2) (w). En las partes más altas de la comunidad, este tipo de clima es el más húmedo de los templados subhúmedos, con lluvias en verano.

C (m) (w) Templado húmedo con lluvias abundantes en verano que compensan la sequía de invierno. La temperatura media del mes más frío es entre -3° y 18° C.

C (E) (m) (w) semifrío con abundantes lluvias en verano y temperatura media anual entre 5° y 12° C (Ortiz, 1997).

La temperatura anual es de 15.1°C; la mínima se presenta en el mes de diciembre con 12.7°C y la máxima en el mes de mayo con 17.3°C. La precipitación total es de 1 496.6 mm, el mes más seco es marzo (precipitación nula) y julio con mayor cantidad de lluvia (351.5mm). El 88% de precipitación se distribuye durante los meses de junio a octubre (Cuadro 2) (Medina *et al.* 2000).

Cuadro No. 2. Datos de temperatura media y precipitación mensual de la estación El Durazno, Michoacán registrados en la zona antes del tiempo de experimentación.

Meses	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
T °C	14.0	14.3	16.1	17.2	17.3	16.1	15.0	15.2	14.9	14.7	13.8	12.7	Prom. 15.1
P mm.	10.6	4.6	0.0	32.1	47.9	191.1	351.5	278.4	317.7	189.1	40.0	33.6	T 1496.6

3.7 Hidrografía

Existen importantes escurrimientos superficiales y subterráneos, con aproximadamente 10 manantiales permanentes y aproximadamente 30 temporales. Los más importantes son El Durazno, El Tepetate y Pantzingo, este último reviste también importancia religiosa en la comunidad (Ortiz, 1997) encontrándose sobre una extensa capa de arena, brechas y lava volcánica, que permiten una buena permeabilidad del agua. Los escurrimientos de estas cuencas de absorción, afloran principalmente en tres subcuencas: Río Tepalcatepec, Río Itzicuaró y Río Cupatitzio. El río Santa Bárbara y el Lago de los Conejos, son afluentes de la cuenca del Río Tepalcatepec – Infiernillo, que a su vez desagua en el Río Balsas, al confluir en el raso de la presa El Infiernillo (Martínez 1997).

3.8 Vegetación

La vegetación de la zona ha sufrido cambios en su composición, en general es heterogénea como resultado del aprovechamiento forestal del bosque. Los principales tipos de vegetación son Bosques de pino, de pino – encino y de pino – oyamel, con distribución aproximada de 77% de pino, 12% de encino, 6% de oyamel y 5% de latifoliadas, mezcladas o formando masas puras que han aumentado un poco con la reforestación. Las principales especies son: *Pinus pseudostrobus*, *P. michoacana*, *P. montezumae*, *P. leiophylla*, *P. douglasiana*, *Quercus candiacans*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*, *Q. obtusata*, *Abies religiosa*, *Alnus acuminata ssp. arguta* y *Clethra mexicana*, entre otras. El bosque ocupa el 58% de la superficie total de la comunidad, con 10 652 ha (Ortiz 1997).

Capítulo I. LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

RESUMEN

Cada año, los bosques de México pierden grandes extensiones, la restauración ecológica es de vital importancia para conservar la alta diversidad que en ellos se concentra. Michoacán es uno de los estados con mayor riqueza forestal, ocupa los primeros lugares a nivel nacional en producción de madera, existencias maderables y producción de resina, además, los recursos forestales no maderables son diversos; en contraste, presenta serios problemas de deforestación. La Meseta Purépecha es una de las regiones con mayor deforestación. Aun cuando la C.I.N.S.J.P. (Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro) ha logrado integrar su industria forestal mediante la extracción de madera bajo un plan de manejo sustentable, existe la preocupación por restaurar las áreas afectadas por deposición de ceniza volcánica o por cambio de uso de suelo. La restauración ecológica se centra en el reestablecimiento de la función y estructura de un ecosistema, en un tiempo relativamente corto, por lo cual, las plantas de leguminosas pueden facilitar la sucesión al enriquecer el suelo mediante la fijación de nitrógeno. Es importante tomar en cuenta que existen umbrales que evitan que el sistema regrese a un estado de menor degradación. Los umbrales pueden ser causados por alteraciones bióticas o abióticas; las especies clave pueden ser de gran utilidad para revertir los daños por alteraciones bióticas, así como el empleo de especies nativas. De modo que es emergente el desarrollo de métodos que permitan implementar estrategias específicas para distintos grados de perturbación. En la actualidad existe un proyecto en la C.I.N.S.J.P. que incluye el estudio de factores que limitan el establecimiento de la vegetación mediante especies nativas.

SUMMARY

Every year, a considerable area of Mexico's forests is lost; to reduce the negative effect of deforestation, ecological restoration can help by preventing further losses of diversity. Michoacán is one of the states with more forested lands, it is one of the main producers of wood, and the first place in the production of resin. Also, non timber-yielding products are diverse. But at the same time Michoacán has a serious deforestation problem. La Meseta Purépecha is one of the regions with higher deforestation rates. Even though the C.I.N.S.J.P. (Indigenous Community of New San Juan Parangaricutiro) has been able to integrate their forest industry by means of the wooden extraction under a plan of sustainable development, concern exists to restore the areas affected by deposition of volcanic ash or disturbed by agricultural practices. Ecological restoration is centered in the re-establishment of the function and structure of an ecosystem. For achieving this, leguminous plants can facilitate natural succession by enriching the soil by means of nitrogen fixation. It is important to take into account that thresholds that avoid the system to return to a state of less degradation exist. These thresholds can be caused by alterations of biotic or abiotic nature; key species can be of great utility to revert the damages for biotic alterations. So it is necessary the develop methods that will allow the implementation of specific strategies for different sites.

1.1 Los Bosques en México

En la actualidad, las prácticas de manejo tienden a que el efecto de las perturbaciones humanas vinculadas con el aprovechamiento forestal sea similar al efecto de los disturbios naturales, tales como incendios, plagas, huracanes, entre otros (Jerdel 1984, Vogt 1997, Seymour 1999). El disturbio es un evento que ocurre en determinado tiempo y espacio que altera la dinámica ecológica en las zonas afectadas, modificando la disponibilidad de los recursos (Palik 1999).

Las estimaciones indican que México ha perdido alrededor de 14 433 km² de recursos forestales en los últimos 25 años (Velázquez *et al.* 2000). La pérdida anual de bosques templados es de 500 a 600 mil hectáreas. Los bosques en México albergan una gran cantidad de especies, que junto con otros ambientes del país, lo sitúan como uno de los países con mayor biodiversidad mundial. En este contexto, cabe mencionar que los bosques de pino-encino de México, destacan por su alta diversidad comparados con bosques similares a nivel mundial (Mittermier y Goettsch 1992, Farjon 1997). En el mundo, existen más de cien especies de pinos originarias del hemisferio norte, México cuenta con 38 de las 65 especies que se distribuyen en Norteamérica, así como las especies características de Centroamérica (Farjon 1997). Los encinos son el segundo género más diverso, representados por 138 especies, de las cuales 70% son endémicas (Mittermier y Goettsch 1992). Adicionalmente, los bosques de coníferas ocupan alrededor del 15% de territorio, en donde habitan cerca de 30 millones de personas (SARH 1992, Velázquez *et al.* 2003).

El manejo tradicional del bosque en todo el país, considera a los productos maderables como uno de los beneficios directos más importantes, lo que conlleva a la exclusión de otros bienes y servicios ambientales que el bosque prevé. Entre los servicios más importantes que el bosque otorga, se encuentran: captura de agua y mantenimiento de mantos freáticos, captura de CO₂, conservación de flora y fauna silvestre, entre otros (Thoms y Betters 1997, Masera *et al.* 1998).

1.2 Los Bosques en Michoacán

Michoacán es uno de los estados con mayor riqueza forestal, ocupa el tercer lugar a nivel nacional en la producción de madera, con un millón de metros cúbicos por año, el sexto lugar en existencias maderables y el primer lugar en la producción de resina, con 35 mil toneladas al año (Sáenz- Romero 2005). Además, los recursos forestales no maderables representan una alta diversidad y potencial económico para las comunidades rurales, donde se incluyen diferentes tipos de tierra, animales de caza, frutos silvestres, plantas medicinales, plantas de ornato, material para combustión, hongos y plantas comestibles y medicinales, entre otros (Angón *et al.* 2005), en contraste, presenta un grave problema de deforestación, que oficialmente se estima en aproximadamente 35 000 hectáreas anuales (COFOM 2001). Una de las regiones con mayor deforestación es la Meseta Purépecha, debido al cambio de uso de suelo forestal al agrícola. El deterioro gradual de los bosques remanentes por el efecto combinado de la tala ilegal, la extracción de madera para combustible, el sobrepastoreo y los incendios forestales frecuentes, usualmente no se contabilizan como parte de la deforestación anual. El pastoreo dentro de los bosques aunado con los incendios frecuentes provocados para favorecer el rebrote de los pastos, tienen un fuerte impacto en disminuir el establecimiento de renuevo.

La Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, es un ejemplo de un grupo organizado que ha logrado integrar su industria forestal mediante la extracción de madera bajo un plan de manejo sustentable certificado internacionalmente, operación de aserraderos y producción y venta de muebles de buena calidad (Sánchez-Pego 1995, Jaffee 1997, Sáenz-Romero 2005).

1.3 La Restauración Ecológica

La ecología de la restauración, es una rama de la ecología, relativamente joven, que ha cobrado importancia en los últimos años por la preocupación de resolver los problemas ambientales a los que se enfrentan muchos ecosistemas del planeta y la mayor parte del territorio nacional. La restauración ecológica es la práctica o actividad que da como resultado de la investigación de la ecología de restauración. La definición de la restauración ecológica,

aunque aun se encuentra en debate, se centra en el reestablecimiento de la función y estructura de un ecosistema siendo la máxima prioridad (Hobbs y Norton 1996).

De acuerdo a Vázquez-Yanes y colaboradores (1999), existen tres posiciones distintas con respecto al significado de la restauración ecológica:

Una visión de la restauración ecológica estricta considera que el objetivo de la restauración es retornar a las condiciones existentes a las comunidades naturales antes de la perturbación o degradación, incluyendo toda la diversidad biológica. El retorno a las condiciones originales, sería posible en zonas con niveles de perturbación bajos, tales como reservas de la naturaleza, en las que solo una parte de la comunidad original ha sido alterada.

La segunda posición sobre la restauración, reconoce que en muchos casos sólo será posible lograr una recuperación parcial, que puede ser compatible con actividades productivas, de manera que la restauración estaría dirigida a recuperar las principales funciones del ecosistema original, permitiendo recobrar aspectos como fertilidad, conservación del suelo y ciclo hidrológico, en este sentido, la diversidad biológica y la composición de especies puede diferir de las comunidades naturales e incluir especies exóticas que hayan ingresado al área, tomando, desde luego, las precauciones necesarias y evitar a las especies invasoras.

La tercera visión, busca desarrollar un paisaje atractivo para reemplazar otro que no lo es, como podría ser un relleno sanitario. Para otros autores, en un sentido estricto, la primera visión sería una restauración, pero en los otros casos podría definirse como “recuperación” o “revegetación” para la segunda visión, y Rehabilitación para la tercera visión. Por otro lado, la “facilitación” es otro término que ha sido utilizado de manera más directa con la sucesión, por facilitar la colonización de especies tolerantes al estrés pero más competitivas (Calloway 1995), en este sentido, las plantas de leguminosas pueden facilitar la sucesión, enriqueciendo el suelo al fijar nitrógeno (Roberts *et al.* 1981, Morris y Word 1989, Del Moran y Bliss 1993, Fastie 1995, Pugnaire *et al.* 1996, Maron y Jefferies 1999, Shumway 2000, Gosling 2005).

Golsing (2005) utilizó *Lupinus arboreus* para facilitar la colonización de *Utrica dioica* confirmando el éxito por el incremento de nitrógeno y fósforo en el suelo.

1.3.1 Umbrales en restauración ecológica

Hobbs y Norton (1996) apoyan la teoría en que los ecosistemas son dinámicos y complejos en tiempo y espacio, por lo que es difícil entender la cantidad de procesos y cambios ecológicos que se dan al ser interrumpidos por algún tipo de disturbio. El paradigma actual afirma que los sistemas son caracterizados más por inestabilidad que por permanencia, por lo que es indispensable conocer las causas que están originando la alteración del sitio, esto se traduce en una gran dificultad para predecir la sucesión, ya que la dirección de los ecosistemas apunta a no llegar a un estado climax por la presencia de umbrales.

Los umbrales en restauración existen como el resultado de las actividades humanas o factores externos que evitan que el sistema regrese a un estado de menor degradación. Whisenant (1999), sugiere la existencia de dos tipos de umbrales, el primero causado por alteraciones en las interacciones bióticas y el segundo en alteraciones abióticas. Si la degradación del sistema se debe a cambios bióticos, como cambios en la composición de la vegetación, entonces, el esfuerzo de restauración, debe ser enfocado a remover el factor de degradación en la parte biótica, como puede ser la reintroducción de especies nativas. Por otro lado, si la degradación se debe a interacciones abióticas, como la erosión o cambios hidrológicos, el esfuerzo de restauración debe enfocarse a tratar de reparar el daño físico o químico. En muchas ocasiones, la presencia de especies clave, pueden ser fundamentales para revertir daños en la parte abiótica. Hobbs y Norton (1996) sugieren la existencia de filtros bióticos, abióticos y socioeconómicos que varían en importancia según el sistema y estos a su vez, definen gradientes es decir, la resistencia de sistemas degradados a ser restaurados puede variar de acuerdo a esos gradientes. En ecosistemas degradados, la transición entre ese estado puede ser “rápido” o puede haber umbrales que una vez cruzados, regresar a un estado previo de menor degradación puede ser extremadamente difícil o en muchos casos imposible. Lindig-Cisneros y colaboradores (2003) pusieron a prueba esta teoría, al realizar un proyecto de restauración en el hábitat de *Spartina foliosa*, especie

importante por ser preferente para la anidación de aves; los esfuerzos fueron realizados durante cinco años enfocados principalmente en los factores abióticos y pudieron comprobar que debido al estado de degradación, no fue posible regresar al estado anterior, constatando así, la presencia de un umbral.

En otro contexto, se ha definido también la presencia de umbrales hidrotérmicos que pueden definir la respuesta a la geminación (Rowse y Finch-Savage 2002) y la emergencia de plántulas. La temperatura y el potencial de agua son los principales reguladores ambientales en la germinación (Alvarado y Bradford 2002). En cuanto a la temperatura, existen puntos supraóptimos (máximos) e infraóptimos (mínimos) a los que se llaman umbrales por tener dificultad o imposibilidad de germinar, de igual manera, ocurre con las condiciones de humedad, al haber sequías prolongadas o condiciones de humedad extrema en las cuales, algunas especies son susceptibles a infecciones por hongos. En este sentido, cada especie se comporta de manera diferente, presentando umbrales de acuerdo a características propias. Generalmente, en condiciones naturales, el umbral que se encuentra en los puntos infraóptimos, pueden revertir con menor dificultad ya que las semillas se pueden mantener en latencia, mientras que el umbral en el punto supraóptimo puede, por lo general ser irreversible, debido a que las semillas dejan de ser viables (mueren antes de germinar). A este fenómeno de inhibición de algunas especies para germinar a altas temperaturas se le ha llamado termoinhibición (Hills y Standen 2003). En sitios muy degradados, las condiciones del suelo pueden causar puntos por encima de los umbrales de temperatura, lo que podría explicar la menor germinación en la Mesa de Cutzato y en Llano de Pario para *Lupinus elegans* H.B.K.

Restaurar es crear o reactivar la estructura y funcionalidad de un ecosistema afectado (Cairns 1991), ya sea por la perturbación antropogénica, como la contaminación de un río, lago o cualquier tipo de humedal, deforestación, compactación del suelo por sobrepastoreo de ganado, sobreexplotación agrícola y cualquier otra actividad que implique el cambio de uso de suelo, o puede ser causado como consecuencia de un fenómeno natural como un huracán, un terremoto catastrófico que pudiera producir fragmentación y con ello, cambios en el paisaje, o la erupción de un volcán, que regularmente deja como consecuencias, graves daños

a la estructura y función de un ecosistema, provocando pérdida de cobertura vegetal a nivel variable y por consiguiente, pérdida de nutrientes y lejanía a propágulos. Debido a esto, la sucesión sigue su ciclo de manera lenta (Del Moral 1983, Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005), debido a la acumulación de ceniza volcánica en capas de grosor variable, dificultando gravemente el establecimiento de especies, causando un grave problema ecológico (Gómez-Romero *et al.* 2005). Para que la sucesión continúe de manera natural, con el establecimiento de especies pioneras, deben estar presentes ciclos biogeoquímicos que permitan que el suelo brinde los nutrientes necesarios a las plantas, para que pueda llevarse a término el establecimiento. Uno de los factores de vital importancia, es el ciclo del nitrógeno, limitante para la distribución de los organismos en la tierra (Odum 1972).

Con base en el problema, que plantea la destrucción de comunidades vegetales naturales y el consecuente deterioro ecológico, se propone la alternativa de emplear especies nativas tanto en la restauración ecológica como en reforestación y desarrollo de sistemas agrosilvopastoriles. La utilización de plantas silvestres se basa en su conocimiento biológico, ecológico y el dominio de técnicas de propagación más adecuadas, acorde al objetivo de estudio (Vázquez-Yanes y Batis 1996).

Los sitios degradados, pueden ser la consecuencia directa de la ausencia del ciclo del nitrógeno, por la escasez de nutrientes en el suelo; la ausencia o cantidades demasiado pequeñas, pueden marcar un umbral para el establecimiento de comunidades de climas templados y restablecimiento en la sucesión, además confirma que la acumulación de nitrógeno de manera natural, se debe a la presencia de leguminosas (Bradsaw *et al.* 1982).

Es por ello que las plantas de la familia Fabaceae son importantes en restauración ecológica debido a la capacidad de fijar nitrógeno por medio de nódulos, que son el resultado de la asociación simbiótica entre la raíz de la planta y bacterias del género *Rhizobium* (Salisbury 1994).

Las leguminosas son importantes después de un incendio, ya que se ven favorecidas por el fuego, la elevada germinación de las leguminosas herbáceas o leñosas, junto con la

aparición de rebrotes, hacen que la familia de las plantas más importantes en los cinco primeros años de sucesión post-incendio, tanto de manera cualitativa expresado en la riqueza florística, como cuantitativo, expresado en cobertura (Martínez y Herranz 1999).

1.4 La Restauración ecológica en Michoacán

Los programas de reforestación necesitan replantearse, debido a que los programas actuales, generalmente no logran llegar a la meta aceptada para la restauración ecológica (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros, 2004, Lindig-Cisneros 2005), es decir, que se recupere la composición, estructura y función biológica del sitio en términos de su estado original o de un sistema natural de referencia (SER 2002), por lo que es necesario desarrollar métodos que permitan implementar estrategias específicas para distintos grados de degradación. Como ejemplo se pueden citar el uso de plantas nativas, ya sea especies fijadoras de nitrógeno o especies que atraigan dispersores de semillas, para mejorar las condiciones de los sitios degradados, en algunos casos, el establecimiento de plantas de especies arbóreas de interés.

Pocos son los proyectos de restauración ecológica en Michoacán donde se incorporan resultados de la investigación científica con el fin de desarrollar y adaptar técnicas de restauración. Uno de los proyectos actualmente se realiza en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, mismo que busca la restauración de bosque de pino en sitios cubiertos por ceniza volcánica, donde la vegetación nativa no ha logrado recuperarse. El proyecto incluye estudio de factores que limitan el establecimiento de la vegetación en sitios a restaurar, ensayo de especies nativas para revegetar áreas, incluyendo leguminosas (el proyecto que se describe en los siguientes capítulos, forma parte de éste) y pinos así como la adaptación de técnicas que han resultado exitosas bajo condiciones similares en otros sitios. Se visualiza un panorama favorecedor en el futuro cercado al aumentar el número de proyectos que logren detener y eventualmente revertir el proceso de degradación de los recursos naturales del estado (Lindig-Cisneros 2005).

1.5 CONCLUSIONES

La restauración ecológica es la actividad de la ecología de restauración que puede ayudar a la conservación de la biodiversidad y la elaboración de planes de manejo sustentables. El reestablecimiento de la función y estructura son los principales objetivos en la restauración ecológica. Para conocer el estado al cual se pueden revertir los daños, es necesario conocer las causas que originaron la alteración del sitio.

Es de vital importancia el desarrollo de técnicas y estrategias que puedan maximizar la restauración de un sitio; considerando el nivel de perturbación ya sea como resultado de un fenómeno natural o antropogénico. Es importante tomar en cuenta, que existen sitios y con presencia de umbrales, donde regresar a las condiciones de un estado anterior de perturbación, resultará difícil y en algunos casos, los daños serán irreversibles. En este sentido, existen alternativas en casos particulares, como en sitios donde la perturbación se debe a la erupción de un volcán, ya que dichos sitios pueden cubrir otro aspecto como es el ecoturismo.

Es importante la utilización de especies nativas del sotobosque para formar una cobertura vegetal que pueda favorecer la creación de microclimas y como consecuencia, albergar a otras especies nativas aumentando así la biodiversidad, por otro lado, favorecer a otras especies (pinos en plantaciones forestales). Las leguminosas pueden hacer la diferencia al mejorar las condiciones del suelo, mediante la fijación de nitrógeno.

1.6 LITERATURA CITADA

- Alvarado, V. and J. Bradford. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*. 25: 1061-1069.
- Antón, M.del P., M. Gómez, V. M. Gómez y M. A. Perale. Aprovechamiento de recursos forestales no maderables en los bosques templados. La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. p.p. 131-132.
- Blanco-García, A. and Lindig-Cisneros R. 2005. Incorporating restoration in sustainable forestry management: Using pine bark mulch to improve native-species establishment on tephra deposits *Restoration Ecology*. En prensa.
- Bradshaw, A.D., R. H., Marrs, R.D. Roberts, and R. A. Skeffington. 1982. The creation of nitrogen cycles in derelict land. *Philosophical Transactions of Royal Society of London Biological Sciences* 296: 559-563.
- Cairns, J.J. 1991. The effects of the theoretical and applied science of restoration ecology. *Environmental Professional*, 13: 186-194.
- Callaway R. M. 1995. Positive interactions among plants. *Bot. Rev.* 61:306-349.
- COFOM. 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. México, 97 pp.
- Del Moral, R. 1983. Initial recovery of subalpine vegetation in Mount St. Helens, Washington. *American Midland Naturalist* 109: 72-80.
- Del Moral R. and Bliss L. C. 1993. Mechanisms of primary succession: insights resulting from the eruption of Mt. St. Helens. *Adv. Ecol. Res.* 24:1-66.
- Farjon, A. J. Pérez de la Rosa, y B. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. Royal Botanical Gardens. Gran Bretaña, 181 pp.
- Festie C. L. 1995. Causes and ecosystem consequences of multiple pathways of primary succession at Glacier Bay, Alaska. *Ecology* 76:189-1916.
- Gómez-Romero, M., R. Lindig-Cisneros and S. Galindo-Vallejo. 2005. Effect of depth on vegetation development in areas affected by volcanism. *Plant Ecology*. En prensa.

- Gosling, P. 2005. Facilitation of *Urtica dioica* colonization by *Lupinus arboreus* on a Nutrient - poor mining spoil. *Plant Ecology* 178:141-148.
- Hills, P. N. and J. Van Staden. 2003. Thermoinhibition of seed germination. *South African Journal of Botany*. 69:455-461.
- Hobbs, R. J. and D. A. Norton, 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:93-110.
- Hobbs, R. J. and D. A. Norton, 1999. Ecological Filters, Thresholds, and Gradients in Resistance to Ecosystem Reassembly. pp. 72-95.
- Jaffee, D. 1997. Restoration where people matter: reversing forest degradation in Michoacán, México. *Restoration and Management Notes* 15(2):147-155.
- Jardel, E., L. Sánchez-Velázquez. 1984. La sucesión forestal: fundamento ecológico de la silvicultura. *Ciencia y Desarrollo* 14(84): 35-43.
- Lindig- Cisneros, R. Restauración ecológica y Rehabilitación de áreas. La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G., L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 194 pp.
- Lindig- Cisneros R., J. Desmond, K. Boyer and J. B. Zedler. 2003. Wetland restoration thresholds: can a degradation transition be reversed with increased effort? *Ecological Applications*, 13(1):193-205.
- Maron, J. L. and Jefferies R. L. 1999. Bush lupine mortality, altered resource availability, and alternative vegetation states. *Ecology* 80: 443-454.
- Martínez, J.J. y J. M. Herranz. 1999. Importancia de las leguminosas en las primeras etapas de la sucesión vegetal en un pinar quemado en la provincia de Albacete España. *Sistemas de Recursos Forestales*. España. 193 pp.
- Masera, O., D. Masera, y J. Nadia. 1998. Dinámica y uso de los recursos forestales de la región Purépecha. El papel de las pequeñas empresas artesanales. GIRA, México. 195 pp.
- Mittermier, R. y Goetsch, C. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México. En: J. Sarukán y R. Dirzo (eds.). México ante los retos de la biodiversidad. CONABIO México.
- Morris W. F. and Wood C. M. 1989. The role of lupine in succession on Mt. St. Helens: facilitation or inhibition? *Ecology* 70:6997-703.

- Odum, E. P. 1972. Ecología. 3° edición Editorial Iberoamericana. México. pp. 160–162.
- Palik, B. and T. Engstrom. 1999. Species composition. En: M. Hunter, Jr (ed.). Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems. Cambridge, Reino Unido. 94 pp.
- Pugnaire F. I., Haase P., Puigdefabregas J., Cueto M., Clark S. C. and Incoll L. D. 1996. Facilitation and sucesion under the conopy of a leguminous shrub, *Retama sphaerocarpa*, in a semi-arid environment in south-east Spain. *Oikos* 76:455- 464.
- Roberts R. D., Marrs R. H., Skeffington R. A. and Bradshaw A. D. 1981. Ecosystem development on naturally colonized China clay wastes. I. Vegetation changes and overall accumulation of organic matter and nutrients. *J. Ecol.* 69:153-161.
- Rowse H. R. and W. E. Finch-Savage. 2002. Hydrothermal thresholds models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperatures. Horticulture Research International, Wellesbourne, Warwick. *New Phytologist*. 158:101-108.
- Sáenz-Romero, C. El patrimonio forestal de Michoacán y su problemática. La biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. Villaseñor G. L. E. (editora). 2005. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. p.p. 128 -130.
- Sáenz-Romero, C. y R. Lindig-Cisneros. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita*. México. 37: 107- 122.
- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. 4° edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 654 pp.
- Sánchez-Pego and M. A. 1995. The forestry enterprise indigenous community of Nuevo San Juan Parangarcutiro, Michoacán, México. En: Proceedings of the symposium forestry in the Americans: community based management and sustainability. Institute for Envairmental Studies and Land Tenure Center, Unuversity of Wisconsin-Madison. 3-4 February 1995, Madison, Wisconsin, USA, pp. 173-196.
- SARH 1992. Bases para la evaluación de unidades de conservación y desarrollo. Subsecretaría Forestal-SARH, México.
- SER. 2004. The SER International Primer on Ecological Restoration. Seymour, R. and M. Hunter. 1999. Principles of ecological forestry. En: M. Hunter Jr (ed.). Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems. Cambridge. Reino Unido. 64 pp.
- Shumway S. W. 2000. Facilitative effects of a sand dune shrb on species growing beneath the shrub canopy. *Oecologia* 124:138-148.

- Thoms, C. and D. Betters 1997. The potencial for ecosystem management in Mexico forest ejidos. *Forest Ecology and Management*. 103: 149-157.
- Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis. 1996. Adaptación de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Centro de Ecología UNAM. México. 75 pp.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis-Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación. Reporte técnico del proyecto 1084 CONABIO. Instituto de Ecología UNAM. México. 38 pp.
- Velázquez, A., A. Torres y G. Bocco. 2003. Las enseñanzas de San Juan Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. SEMARNAT/INE/SUMA 595 pp.
- Velásquez, A., G. Bocco and A. Torres. 2000. Turninig scientific aproaches in to practical conservation actions 16: 151.
- Velázquez, A., J. F. Mas, R. Mayorga-Saucedo, J. L. Palacio, G. Bocco, G. Gómez-Rodríguez, L. Luna-González, I. Trejo., J. López-García, M. Palma, A. Peralta, J. Prado-Molina and F. González-Medrano. 2001. El Inventario Forestal Nacional 2000. Potencial de uso y alcances. *Ciencias* 64: 13-19.
- Vogt, K., J. C. Gordon, J. P. Wargo, D. J. Vogt, H. Arsbjorsen, P. A. Palmiotto, H. J. Clark, J. L. O'Hara, W. S. Keaton, T. Petel-Weynand and E. Witten. 1997. *Ecosystems*. Springer-Verlag, New Cork. USA. 470 pp.
- Whisenant, S. G. 1999. *Repairing Damaged Wildlands: A process-Orientated, Landscape Scale Appruach*. Cambridge: Cambridge University Press.

Capítulo II. SOBREVIVENCIA Y DESARROLLO DE LEGUMINOSAS BAJO DIVERSAS CONDICIONES DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN UN BOSQUE DE PINO – ENCINO DE MICHOACÁN, MÉXICO.

RESUMEN

Se eligieron tres sitios en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, El Tepamal (área agrícola abandonada), Llano de Pario y Mesa de Cutzato (arenales de origen volcánico) que representan un gradiente de menor a mayor nivel de perturbación en términos de la dificultad del establecimiento de las plantas. Previamente se determinó la cantidad de semillas para ser sembradas en campo en parcelas de 64m², 12 parcelas para los sitios El Tepamal y Llano de Pario y 2 para el sitio Mesa de Cutzato. Se probaron tres especies de leguminosas: *Lupinus elegans* H.B.K. (21 gramos) del dosel mediano y *Crotalaria pumila* Ort. (16 gramos) y *Trifolium repens* L. (60 gramos) del sotobosque. Las plantas de *L. elegans* presentaron el mejor desempeño, tanto en la sobrevivencia como en la altura, con lo que se ratificó el nivel de degradación de los sitios. Las plantas de *C. pumila* presentaron mayor sobrevivencia en el sitio Llano de Pario al igual que las de *T. repens*. Aún cuando el sitio El Tepamal presenta diferentes grados de pendiente y orientación, son factores que no influyeron directamente en el desempeño de las plantas, pero sí puede verse reflejado en la sobrevivencia, siendo mayor en parcelas con un menor grado de inclinación de la pendiente y orientación SSE y ENE. Los factores ambientales son determinantes para el establecimiento de las plantas. En los arenales de origen volcánico las temperaturas oscilan en un rango amplio, el color oscuro hace que haya picos máximos durante el día y se intensifican en las estaciones de primavera y verano, por otro lado, la temporada de heladas coincide con los máximos descensos de las plantas. El desarrollo del dosel de *L. elegans* amortigua las temperaturas extremas y crea microclimas que favorecen el establecimiento de plantas.

SUMMARY

Three places were chosen in the forests of la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutito, El Tepamal (abandoned agricultural area), Llano de Pario and Mesa de Cutzato (sands of volcanic origin) that represent a gradient of smaller at more perturbation level in terms of the difficulty of the establishment of the plants. Previously the quantity of seeds was determined to be sowed in field in parcels of 64m², 12 parcels for the places El Tepamal and Llano de Pario and 2 for Mesa de Cutzato. Three species were proven of leguminous: *Lupinus elegans* H.B.K. (21 grams) of the medium canopy, *Crotalaria pumila* Ort. (16 grams) and *Trifolium repens* L. (60 grams) of the undergrowth. The plants of *L. elegans* presented the best acting, as much in the survival as in the height, with what the level of degradation of the places was ratified. The plants of *C. pumila* presented bigger survival in the Llano de Pario the same as those of *T. repens*. Even when the place El Tepamal presents different slope grades and orientation, they are factors that didn't influence directly in the acting of the plants, but they can turns reflected in the survival, being bigger in parcels with a smaller grade of inclination of the slope and with orientation SSE and ENE. The environmental factors are decisive for the establishment of the plants. In the sands of volcanic origin the temperatures oscillate in a wide range, the dark color makes there to be maximum picks during the day and they are intensified in the spring stations and summer, on the other hand, the season of freezes coincides with the maximum descents of the plants. The development of the canopy of *L. elegans* absorb the extreme temperatures and believes microclimates that favor the establishment of the plants.

2.1 INTRODUCCIÓN

Los bosques templados se encuentran en su mayoría deteriorados y al igual que para el resto de la cobertura vegetal original en México, su extensión se ha reducido notablemente, como consecuencia del cambio del uso de suelo (agricultura y pastoreo) entre otros factores (Nebel *et al.* 1999, SEMARNAT 2000).

Se han realizado grandes esfuerzos para recuperar la cobertura forestal, destinándose cuantiosos recursos a los programas de reforestación de bosques templados (Pimentel y Kounang 1998), con éxito muy variable (Sáenz-Romero y Lindig-Csneros 2004). Cuando la reforestación no es exitosa en sitios con altos niveles de perturbación, puede resultar más eficiente utilizar técnicas diferentes, como el establecimiento de plantas del sotobosque y dosel mediano (Loumeto y Huttel 1997), debido a que forman parte importante de la estructura del bosque y son componentes fundamentales de etapas tempranas de la sucesión. Son numerosos los beneficios que se podrían obtener con el establecimiento de estas especies, debido a que en un bosque con mayor complejidad estructural se encontrará una mayor diversidad y además, a mayor estratificación disminuye la degradación por erosión. Muchas especies del sotobosque pertenecen a la familia Fabaceae (leguminosas) que son de gran importancia en la restauración ecológica por su capacidad de fijar nitrógeno y por su amplia tolerancia al estrés (Hack y Tomeri 2001).

Las leguminosas presentan asociación simbiótica con las bacterias fijadoras de nitrógeno (Suprr *et al.* 1982) del género *Rhizobium*, las cuales forman nódulos en las raíces y contribuyen a proporcionar el nitrógeno directamente del aire a las plantas (Salisbury *et al.* 1994). Debido a la fijación de nitrógeno, logran el restablecimiento de la fertilidad del suelo cuando se descompone la hojarasca y muchas leguminosas, pueden actuar como nodrizas para otras especies (altruismo ecológico) (Margalef 1998).

Las plantas del sotobosque y del dosel medio, desempeñan una función igualmente importante en plantaciones y bosques, con niveles bajos de perturbación, debido a que son un componente fundamental de la biodiversidad y la estructura del bosque (Krebs 1985,

Perret *et al.* 1996). Algunas especies en estadíos tempranos de la sucesión o adaptadas a condiciones de perturbación, pueden facilitar el establecimiento de otras especies arbóreas, al restaurar las condiciones de la fertilidad del suelo (Ashton *et al.* 1997) y crear microclimas propicios para el establecimiento de plántulas. La restauración de hábitats implica recuperar tierras erosionadas (Smith *et al.* 2000), estableciendo comunidades de organismos lo más cercano posible a lo que se encontraría naturalmente (Tyler 1994). Es por ello que la complejidad estructural es importante, en la disminución o prevención de la erosión en el bosque, ya que a mayor número de capas vegetales en la estructura vertical, disminuye drásticamente la erosión por lluvia (Pret *et al.* 1996).

Por lo anterior, se plantea probar el establecimiento y desarrollo del dosel de tres especies de leguminosas, que pudieran enriquecer el sotobosque bajo condiciones de restauración, mejorar las condiciones del suelo y promover el establecimiento de algunas especies nativas.

JUSTIFICACIÓN

Al aumentar el nivel de perturbación en un sitio, la capacidad de regeneración de la vegetación va disminuyendo hasta llegar a un umbral de degradación que una vez cruzado, impide que el sitio regrese a sus condiciones originales (Hobbs y Norton 1996). Bajo estas condiciones, se requiere de la implementación de técnicas de restauración para recuperar la vegetación.

La Dirección Técnica Forestal de Nuevo San Juan Parangaricutiro (C.I.N.S.J.P), tiene particular interés en restaurar áreas perturbadas por las cenizas del volcán Parícutin y reconvertirlas al uso forestal (Lindig-Cisneros *et al.* 2002), además de los terrenos agrícolas abandonados. Como parte de un proyecto de investigación que busca desarrollar técnicas de restauración para estos sitios, se propone estudiar el establecimiento de leguminosas en tres sitios con diferentes niveles de degradación, formando así un gradiente que destaque la respuesta de las poblaciones leguminosas, a las condiciones cambiantes en el gradiente (Odum 1978). Las especies del sotobosque que son de particular importancia para la restauración ecológica, son plantas de la familia Fabaceae (Lindig-Cisneros *et al.* 2002) por su capacidad de fijar nitrógeno. Por lo tanto, *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. se proponen para el presente estudio por presentar esta característica, además de que podrían formar tres estratos verticales en la estructura de la vegetación, disminuyendo los niveles de erosión en plantaciones de pinos y otras coníferas y promoviendo así el establecimiento de otras especies del sotobosque y arbóreas, además de aumentar la tasa de crecimiento de los árboles en la plantación.

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo General

Contribuir al desarrollo de técnicas de restauración ecológica, en áreas perturbadas por las cenizas del volcán Parícutin en bosque de pino-encino.

2.2.2 Objetivos Particulares

- Conocer las cantidades de semillas que permitan el establecimiento de las especies de leguminosas utilizadas con propósitos de restauración en las densidades adecuadas.
- Determinar la eficiencia de *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. (Fabaceae) en términos de sobrevivencia y crecimiento, para formar un dosel.
- Evaluar la riqueza inicial de especies dentro de las parcelas.
- Evaluar el desarrollo de leguminosas arbustivas y herbáceas del sotobosque, en un gradiente de perturbación mediante la sobrevivencia y altura.

HIPÓTESIS

Al enriquecer el sotobosque con *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. (Fabaceae), la estratificación vertical será mayor, lo que puede promover el establecimiento de otras especies del sotobosque y arbóreas, creando microclimas que contrarresten las condiciones adversas del sitio perturbado, mejorando la fertilidad del suelo al fija nitrógeno mediante la utilización de leguminosas.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Primera etapa

Reconocimiento preliminar del área.

Se realizaron visitas a los bosques de la C.I.N.S.J.P., con la finalidad de elegir tres sitios con diferentes niveles de perturbación afectados por la erupción del volcán Parícutin. Los sitios seleccionados, siguiendo las recomendaciones de la Dirección Técnica Forestal de la comunidad, son los siguientes:

Sitio 1: “El Tepamal”: Es un área agrícola abandonada que representa un nivel bajo de perturbación, con pendientes de diferente grado de inclinación. Hay presencia de plantas herbáceas anuales y carece de capa de ceniza volcánica con una altitud de 2 750 msnm.

Sitio 2: “Llano de Pario”: Es un arenal de origen volcánico con ceniza removida ubicado en un sitio en el que originalmente existía un bosque de pino y posteriormente fue utilizado como suelo agrícola, actualmente se encuentra presente una capa delgada de ceniza volcánica y representa un nivel intermedio de perturbación, con una altitud de 2 200 msnm.

Sitio 3: “Mesa de Cutzato”: Es un arenal de origen volcánico, también ubicado en un sitio en el que originalmente existía un bosque de pino y actualmente representa un nivel alto de perturbación. Este sitio tiene un manto de ceniza volcánica de 20 a 60 cm de espesor (Lindig *et al.* 2002) con una altitud de 2 450 msnm.

Los sitios de estudio representan un gradiente de perturbación, de acuerdo a sus condiciones particulares, en términos de la dificultad para el establecimiento de las plantas. El sitio 1 (El Tepamal), que originalmente fue parte del bosque, en la actualidad es un área agrícola abandonada sin ceniza volcánica, donde se encuentran algunas plantas anuales, principalmente gramíneas, compuestas y leguminosas en menor proporción (incluyendo individuos de *Lupinus elegans* H.B.K). El área muestra pendientes con diferentes grados de inclinación, que varían desde ligeras hasta muy pronunciadas, por lo que la erosión puede ser importante en la degradación del sitio. Antes de la erupción del Volcán Parícutin; el sitio 2

(Llano de Pario) presentaba condiciones muy parecidas al sitio 1, debido a que fueron áreas de cultivo hasta antes de la erupción. Primero, el área sufrió cambio de uso del suelo al convertirla del uso forestal al uso agrícola (como en el sitio 1); al ocurrir la erupción se depositó una gruesa capa de ceniza volcánica y 52 años después, se extrae una importante capa de ceniza, trabajo que fue realizado con la utilización de maquinaria pesada. Por lo anterior, se consideraría que el sitio presenta mayor grado de perturbación que el sitio 3 (Mesa de Cutzato), debido a la extracción de arena, pero realmente en este sitio, las condiciones actuales son menos desfavorables para el establecimiento de las plantas, por la remoción de la capa de ceniza volcánica, que permite que las raíces alcancen con menor dificultad el sustrato (en el suelo preeruptivo). Por el contrario, en el sitio 3 que también fue un sitio agrícola antes de la erupción, la capa de ceniza tiene un espesor de 20 a 60 cm, por lo que es más difícil el establecimiento de las plantas. Por lo antes mencionado, el sitio 1 (El Tepamal) representa un nivel bajo de perturbación, el sitio 2 (Llano de Pario) un nivel intermedio y el sitio 3 (Mesa de Cutzato) un nivel alto, formando así un gradiente de perturbación.

2.3.2 Segunda etapa

Colecta de semillas y ejemplares

Entre enero y febrero de 2004, se colectaron semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. de los sitios 1 y 3 (en la actualidad se encuentran muy pocas plantas de esta especie en el sitio 2), las cuales se colocaron en bolsas de papel para su limpieza en el laboratorio. *Crotalaria pumila* Ort. se colectó en sitios externos a los experimentos, durante los meses de octubre a diciembre de 2003. La colecta se realizó también al siguiente año para los experimentos siguientes y *Trifolium repens* L. se adquirió de manera comercial. Se colectaron ejemplares de las especies nativas dentro de las parcelas en los tres sitios, las muestras fueron etiquetadas y posteriormente se llevó a cabo su herborización e identificación. El listado de especies servirá como referencia para estudios posteriores para conocer el cambio o incremento en la riqueza de especies.

2.3.3 Tercera etapa

Trabajo de Laboratorio

Las semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort., fueron escarificadas a 30 y 20 minutos respectivamente con ácido sulfúrico concentrado al 98% de pureza (Medina-Sánchez y Lindig-Cisneros 2005). Las semillas de *Trifolium repens* L. no recibieron tratamiento previo, debido a que la testa es más delgada, además de que la semilla es muy pequeña y por estas características puede germinar con facilidad de manera natural.

2.3.3.1 Experimento para determinar la densidad de semillas que fueron sembradas en campo.

En los primeros días de abril de 2004, se montó un experimento en invernadero, que determinó la densidad de las semillas que fueron sembradas en campo. Se utilizaron 16 charolas de plástico de 60 X 60 X 4 cm (con orificios en un extremo que facilitaron el drenaje), (Brodway Plastics de México APB) como sustrato se utilizó el suelo original mezclado con ceniza volcánica, extraídos del bosque de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Se llevó a cabo el sembrado de la combinación de las leguminosas: *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. En un tratamiento (cuadro 3) con 16 réplicas, para confirmar la observación personal sobre la cobertura en ambiente natural, ya que se deseaba obtener una cobertura del 100 % en las charolas de las tres especies combinadas y de esta forma extrapolar la cantidad de semillas que fueran llevadas a campo, esperando crear una cobertura del 100% o muy cercana en el campo. La última semana de mayo de 2004 se evaluó el experimento, cuando las plantas tenían alrededor de dos meses de edad.

Cuadro No. 1. Número de semillas por charola sembradas en invernadero.

Especie	No. de semillas en charolas de 60x60 cm
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	4
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	12
<i>Trifolium repens</i> L.	410

2.3.4 Cuarta etapa

Establecimiento del experimento en campo

El presente estudio forma parte de un proyecto a gran escala y largo plazo, para el cual a principios de junio de 2004 se delimitaron parcelas de 8 X 8 metros (64 metros cuadrados), las cuales fueron seleccionadas al azar de entre 18 parcelas por bloque que forman parte del experimento a gran escala (dentro del cual existe un estudio con tres especies de pinos, que fueron plantados en todas las parcelas al mismo tiempo que el sembrado de las leguminosas).

Las especies utilizadas son las siguientes:

- a) *Lupinus elegans* H.B.K. Es una especie arbustiva, alcanza más de dos metros de altura. Por la talla de las plantas, crea un dosel con características deseables, creando microclimas además, esta especie crece en sitios perturbados de la Meseta Purépecha.
- b) *Crotalaria pumila* Ort. Es una especie herbácea que puede alcanzar 50 cm. de altura esperando crear una segunda capa vertical; esta especie es característica del sotobosque de pino en el país y se encuentra bien representada en sitios perturbados.
- c) *Trifolium repens* L. Es una especie herbácea de menor altura, de fácil germinación y rápido crecimiento que podría crear una capa vertical de menor altura. Fue sembrada sin tratamiento previo, a diferencia de *Lupinus elegans* K.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. que fueron escarificadas.

En junio, a principio de la temporada de lluvias, en cada parcela se sembró la combinación de semillas de las tres especies de leguminosas (*Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. escarificadas previamente); el sembrado se realizó al boleto en forma homogénea, cubriendo la totalidad del área delimitada.

En el sitio 1 “El Tepamal” se utilizaron 12 parcelas, donde se sembró la combinación de semillas de las tres especies de leguminosas; este sitio presenta diferentes niveles de elevación, por lo que antes de sembrado, fue removida la parte más superficial del suelo con la ayuda de un azadón, esto, para proteger un poco a las semillas de los efectos de la erosión

y la posible depredación por aves u otros animales. Adicionalmente se midió la inclinación de las pendientes en cada parcela con la ayuda de manguera transparente delgada, llenada con agua y midiendo la diferencia de altura con reglas de madera. Los grados de inclinación se obtuvieron mediante la fórmula:

$$\text{Sen } A = \text{cateto opuesto} / \text{hipotenusa} \quad A = \text{Sen}^{-1}$$

En el sitio 2 “Llano de Pario” también se utilizaron 12 parcelas; el tratamiento fue el mismo que en los sitios 1 y 3; en este sitio el terreno es casi plano.

En el sitio 3 “Meza de Cutzato” se utilizaron dos parcelas, debido a las características del sitio que impide montar más repeticiones, ya que el área cercada es más reducida y en parte fue utilizada como testigo; en estudios previos se determinó que es difícil el establecimiento *Lupinus elegans* H.B.K. cuando el grosor de ceniza volcánica es mayor a 30 cm (Gómez-Romero 2004). Es el sitio más plano.

Las evaluaciones se llevaron a cabo de manera bimestral, registrándose el desarrollo y sobrevivencia de las plantas de las tres especies de leguminosas, contando las plantas vivas con ayuda de un contador manual. Cuando la abundancia de una especie fue muy alta, en cada parcela se muestreó mediante cuatro cuadrantes al azar de 1m² cada uno, cuantificando el número de plantas y extrapoliándolo a 64m². Con los datos obtenidos fue posible conocer el porcentaje de sobrevivencia total y de cada evaluación en forma individual mediante la proporción de siembra y establecimiento.

La altura de las plantas se determinó al final de la época de secas en junio de 2005. Sólo se tomó la altura de *Lupinus elegans* H.B.K. debido a que *Crotalaria pumila* Ort., ya no estaba presente en ninguno de los tres sitios desde el mes de febrero y *Trifolium repens* L. no presentó mayor crecimiento. En el caso de El Tepamal, donde el número de plantas de *Lupinus elegans* H.B.K fue mayor, se muestrearon 4 cuadrantes al azar de 2 x 2 metros = 4m² (cuatro tubos de PVC pegados con codos del mismo material); midiendo 8 plantas al azar de cada uno de los cuadrantes; cuando las plantas presentes en un cuadrante fuera menor a 8, se

tomó la altura de las plantas más cercanas al cuadrante para completar el registro. En total, se tomaron los datos de 32 plantas por cada parcela, lo que equivale aproximadamente a una planta por cada 2m², que en promedio es la mitad del total de las plantas ya establecidas.

Adicionalmente, se monitoreó la temperatura del aire, suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas de una parcela seleccionada al azar, por medio de registradores de temperatura (Hobo® H01-001-01 Onset Computer Corporation, EUA) los cuales tomaron lectura cada dos horas. Los datos fueron recuperados bimestralmente. También se monitoreó la precipitación, con la ayuda de un embudo de diámetro conocido y un contenedor de cristal enterrado justo por debajo de la superficie. Por otro lado, se tomaron muestras de suelo y fueron llevadas al Laboratorio de suelos del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 7 La Huerta, Morelia, Mich. para ser analizados. Con los resultados obtenidos en campo se hizo una revisión de las formas de vida de Rauenkaier, tomado de Blanquet (1979).

Para los análisis estadísticos se utilizó ANOVA de una vía, que permite saber si existe diferencia significativa en las especies entre los sitios de estudio, para sobrevivencia de las tres especies y altura para *Lupinus elegans* H.B.K. Para el caso de "El Tepamal" donde existen pendientes con diferente inclinación y orientación, se realizó un análisis de regresión múltiple, tomando como variables dependientes para *L. elegans* sobrevivencia, alturas promedio y alturas máximas. Los programas que se utilizaron para el análisis estadístico son Excel y S-Plus 2000.

2.4 RESULTADOS

2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO DURANTE EL TIEMPO DE EXPERIMENTACIÓN

2.4.1.1 Condiciones ambientales: Temperatura y Precipitación

Las condiciones ambientales de los arenales de origen volcánico fueron las más adversas (cuadro 4) presentando variaciones de temperatura extremas (Fig. 3) en comparación con el sitio agrícola abandonado (cuadro 2). El desarrollo del dosel de leguminosas de este sitio (El Tepamal) amortiguó las temperaturas extremas registrando temperaturas intermedias entre la temperatura del suelo desnudo, siendo las más altas y la del aire registrando las temperaturas más bajas (Fig. 1), cuando las temperaturas logran oscilar en un rango menor, puede representar un factor importante en época de heladas o de secas para la incrementar la sobrevivencia de las especies.

Cuadro No. 2. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire, suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas en el sitio El Tepamal.

fecha	Temperatura en °C en El Tepamal								
	AIRE			SUELO			BAJO DOSEL DE LEGUMINOSAS		
	promedio	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima
Junio 2004	11.8	7	24.8	14.9	9.4	23.6	14.3	9.4	23.6
Julio	11.1	6.2	17.4	14.6	8.2	26.7	13.8	7.8	24.8
Agosto	11.8	6.6	19	16.2	9.8	28.3	15.1	9	27.5
Septiembre	10.9	6.2	17.4	14.8	9.4	25.9	14.3	8.6	24.8
Octubre	11.5	4.9	22.1	15.3	8.2	27.1	14.8	7.4	27.1
Noviembre	9.9	1.1	19.8	14.0	3.7	33.1	12.3	2.8	29.4
Diciembre	8.0	-1	15.9	13.3	3.7	32.3	11.5	2	29.1
Enero 2005	8.4	1.6	18.6	13.9	8.2	20.2	12.3	5.3	22.4
Febrero	9.5	2	19.8	12.8	8.6	18.2	11.9	6.6	24
Marzo	10.7	3.3	23.2	15.5	3.7	31.4	15.1	3.3	30.7
Abril	13.9	3.3	24	20.0	6.6	38.7	18.4	8.2	36.9
Mayo	13.4	6.2	24.4	20.5	8.6	40.6	15.9	10.6	28.7
Junio	14.3	8.6	19.4	19.4	7.8	41.5	15.6	10.2	22.4
Promedio	11.2	4.3	20.5	15.8	7.4	29.8	14.3	7	27

Cuadro No. 3. Precipitación en el sitio El Tepamal. Los datos que se presentan son la acumulación de la precipitación bimestral.

Precipitación en El Tepamal		
fecha	mililitros	milímetros
Julio-Agosto 2004	6 100	474.0
Septiembre-Octubre	6 090	473.3
Noviembre- Diciembre	690	53.6
Enero-Febrero 2005	935	72.7
Total	13 815	1 073.59

Cuadro No. 4. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en el sitio Llano de Pario.

fecha	Temperatura del aire en °C en Llano de Pario		
	promedio	mínima	máxima
Junio 2004	13.8	7.4	22.4
Julio	13.1	5.8	21.7
Agosto	13.5	6.2	23.2
Septiembre	13.2	5.8	22.4
Octubre	12.9	5.3	30.3
Noviembre	9.7	-1.4	30.3
Diciembre	7.8	-5.8	30.3
Enero 2005	8.2	-3.3	30.3
Febrero	9.6	-2.8	30.3
Marzo	10.6	-2.8	30.3
Abril	13.7	0.2	30.3
Mayo	13.6	-1.4	30.3
Junio	15.6	3.7	30.3
Promedio	11.9	1.3	27.9

Cuadro No. 5. Precipitación en el sitio Llano de Pario. Los datos que se presentan son la acumulación de la precipitación bimestral.

Precipitación en Llano de Pario		
fecha	mililitros	milímetros
Julio-Agosto 2004	5500	427.4
Septiembre-Octubre	7360	571.9
Noviembre- Diciembre	480	37.30
Enero-Febrero 2005	60	4.7
Total	13 400	1 041.35

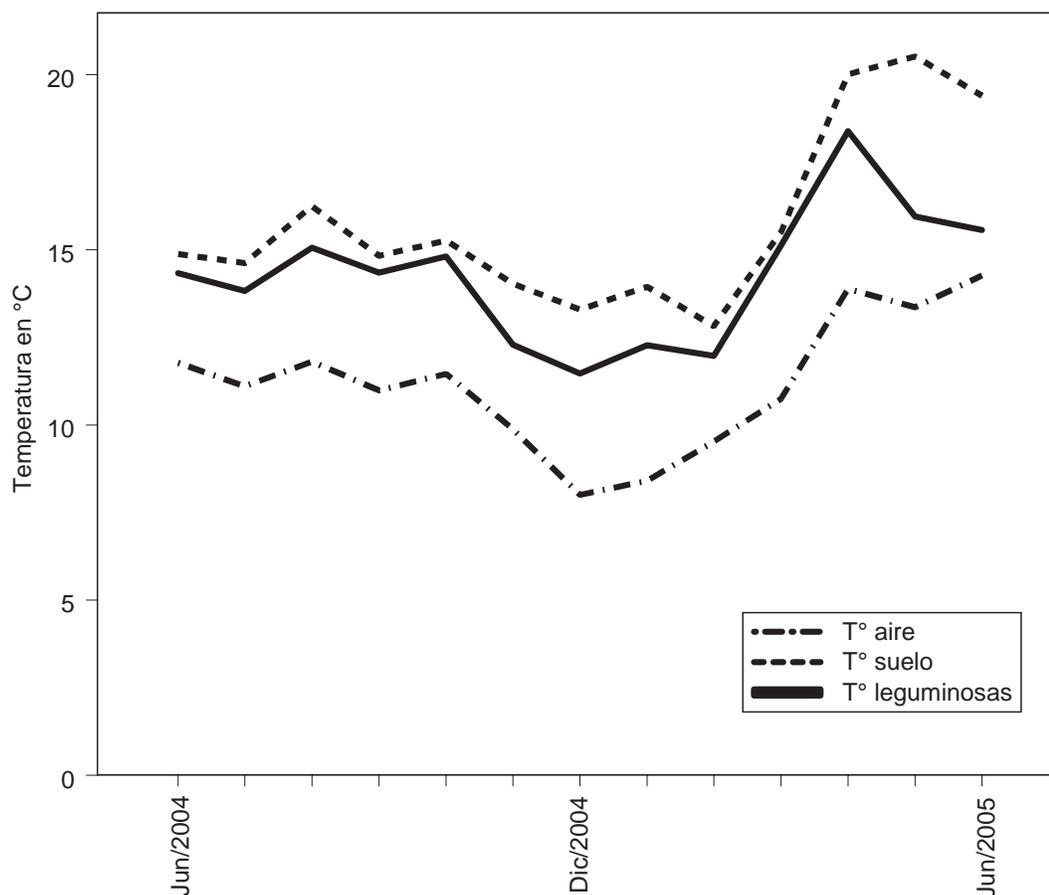


Figura No. 1. Temperatura (promedio) del aire, suelo y bajo dosel de leguminosas en el sitio El Tepamal. Nótese que la temperatura bajo el dosel de leguminosas es más homogénea.

Es de vital importancia el desarrollo del dosel de leguminosas para mejorar las condiciones del sitio al hacer menos extremas las temperaturas como se puede observar en la figura 2, en a) las temperaturas en suelo desnudo, fluctúan en un rango más amplio tanto máximos como mínimos, b) representa la temperatura del suelo bajo un dosel de leguminosas, manteniendo temperaturas más homogéneas. Al amortiguar las temperaturas extremas con el efecto de leguminosas, se crea un ambiente más propicio que puede promover con mayor facilidad el establecimiento de otras especies nativa.

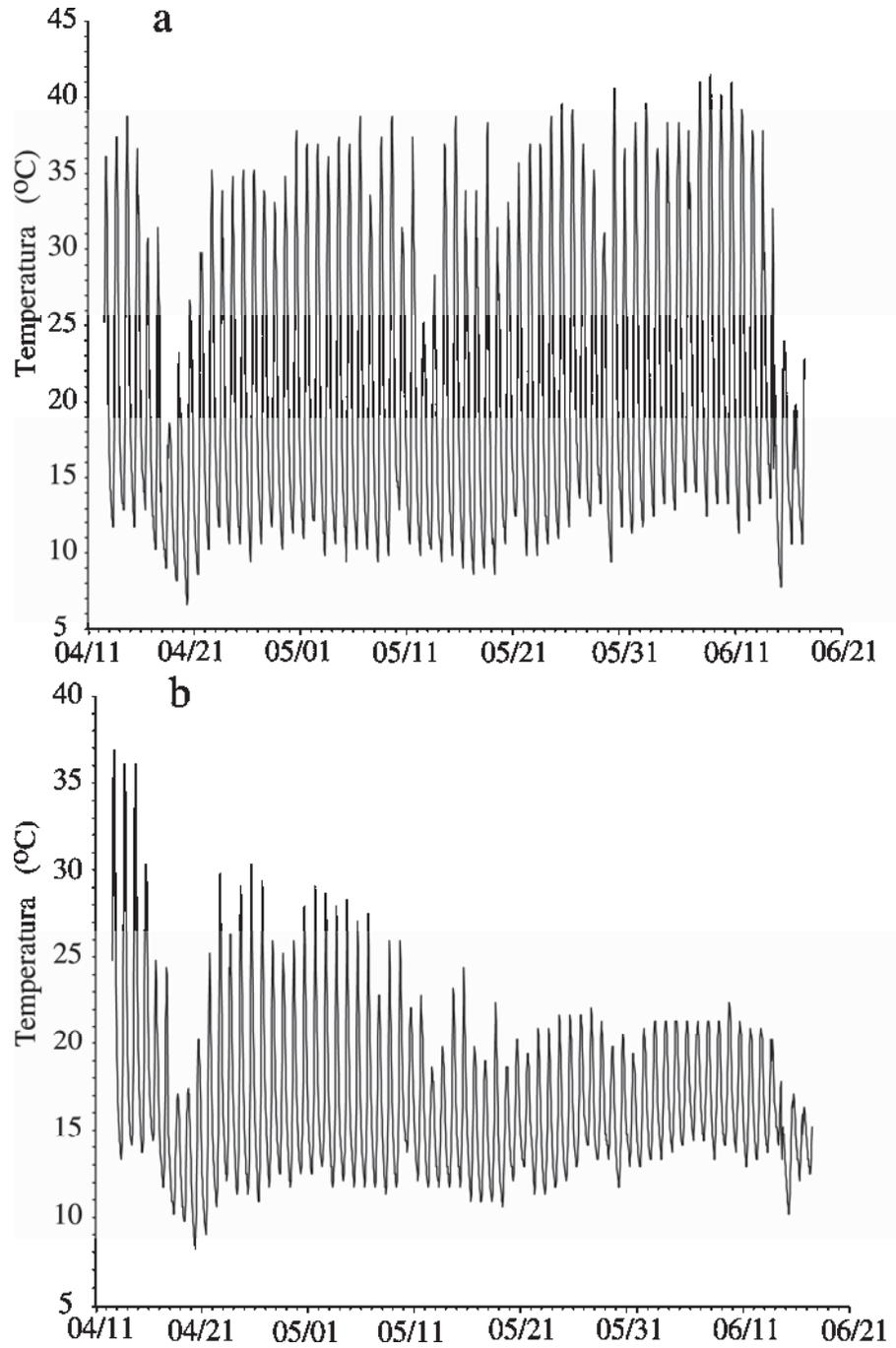


Figura No. 2. Temperatura durante la época de secas en el año 2004 del sitio El Tepamal (San Nicolás) a) suelo desnudo, b) bajo el dosel de leguminosas.

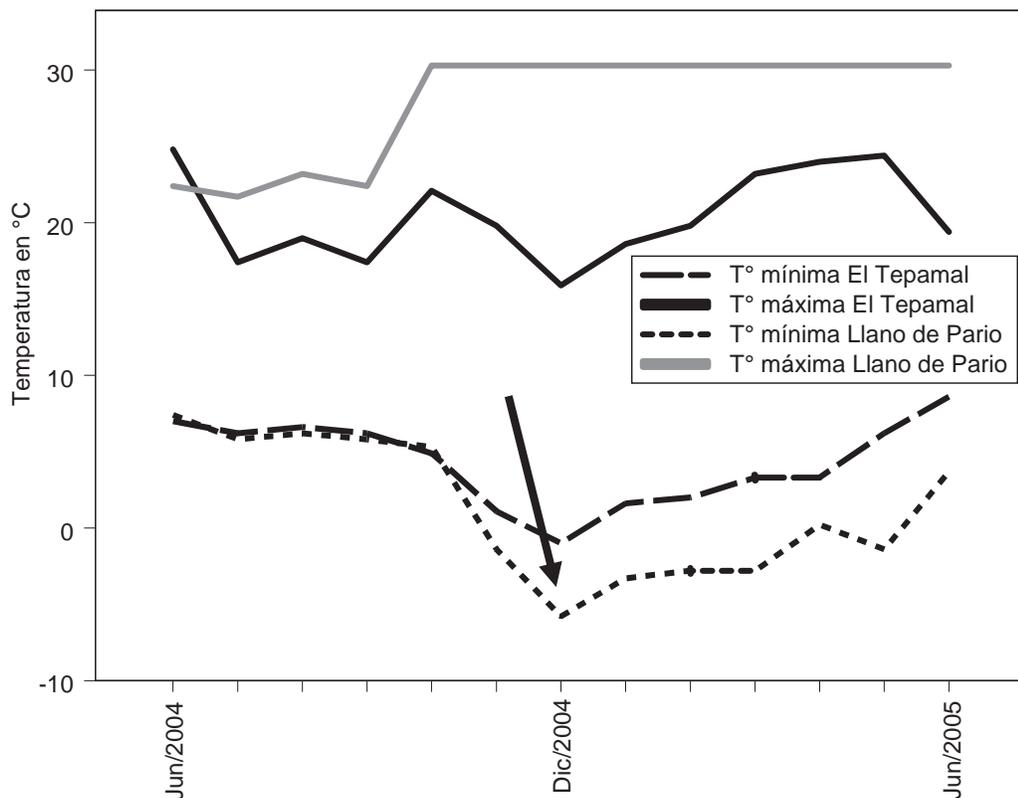


Figura No. 3. Comparación de temperaturas (mínima y máxima) del aire en los sitios Llano de Pario y El Tepamal. Nótese que tanto las temperatura mínimas como las máximas, Llano de Pario se encuentra en los extremos. La flecha indica el periodo de heladas en Llano de Pario.

La precipitación pluvial es otro factor que puede ser determinante en la sobrevivencia y desarrollo de las plantas, y por consiguiente, para su establecimiento. En las figuras 4 y 5 (y cuadros 3 y 5) se puede observar que los promedios son similares párale sitio El Tepamal (San Nicolás) y para el sitio Llano de Pario, mostrando este último sitio, los valores pico máximos y mínimos.

Con respecto a la temperatura promedio, se observa una tendencia muy parecida a la precipitación pluvial, tomando los picos máximos y mínimos de Llano de Pario, siendo claramente explicable, ya que este sitio es un arenal de origen volcánico, el color oscuro del suelo es una de las principales razones por las cuales la temperatura puede incrementarse de manera notable a diferencia de El Tepamal (Fig. 4 y 5).

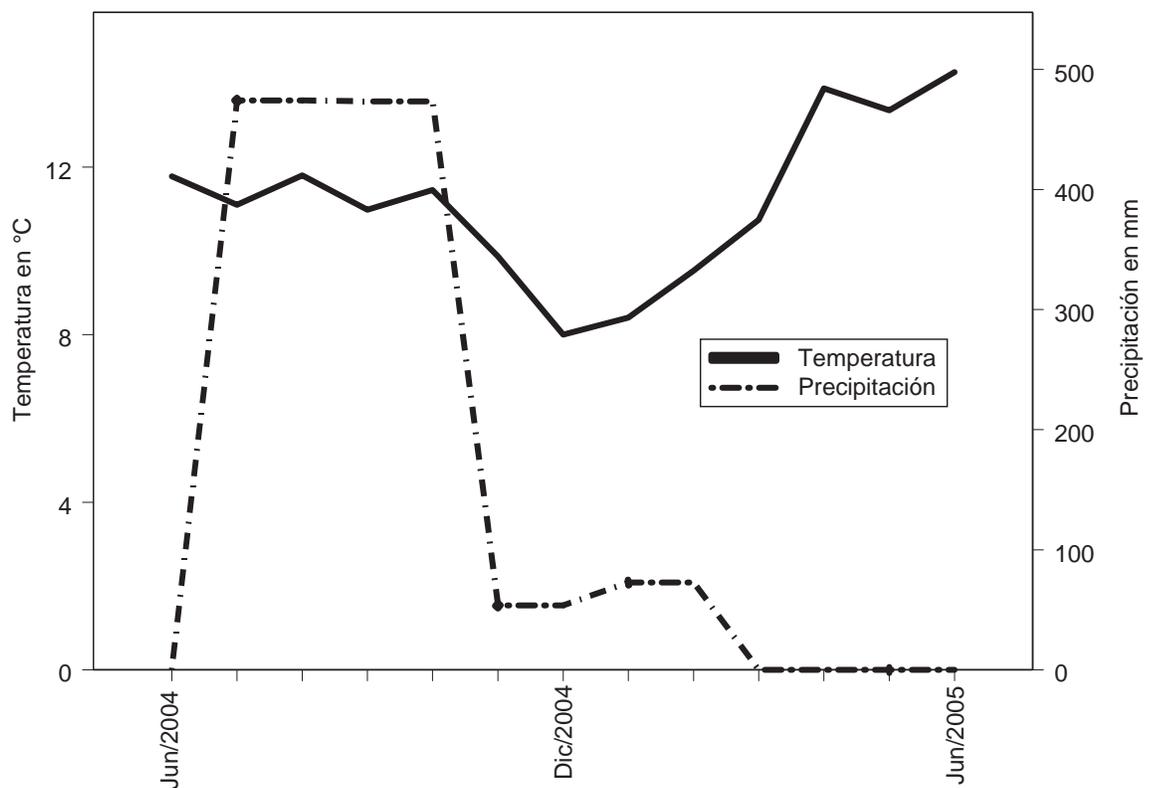


Figura No. 4. Temperaturas promedio del aire y precipitación pluvial en el sitio El Tepamal.

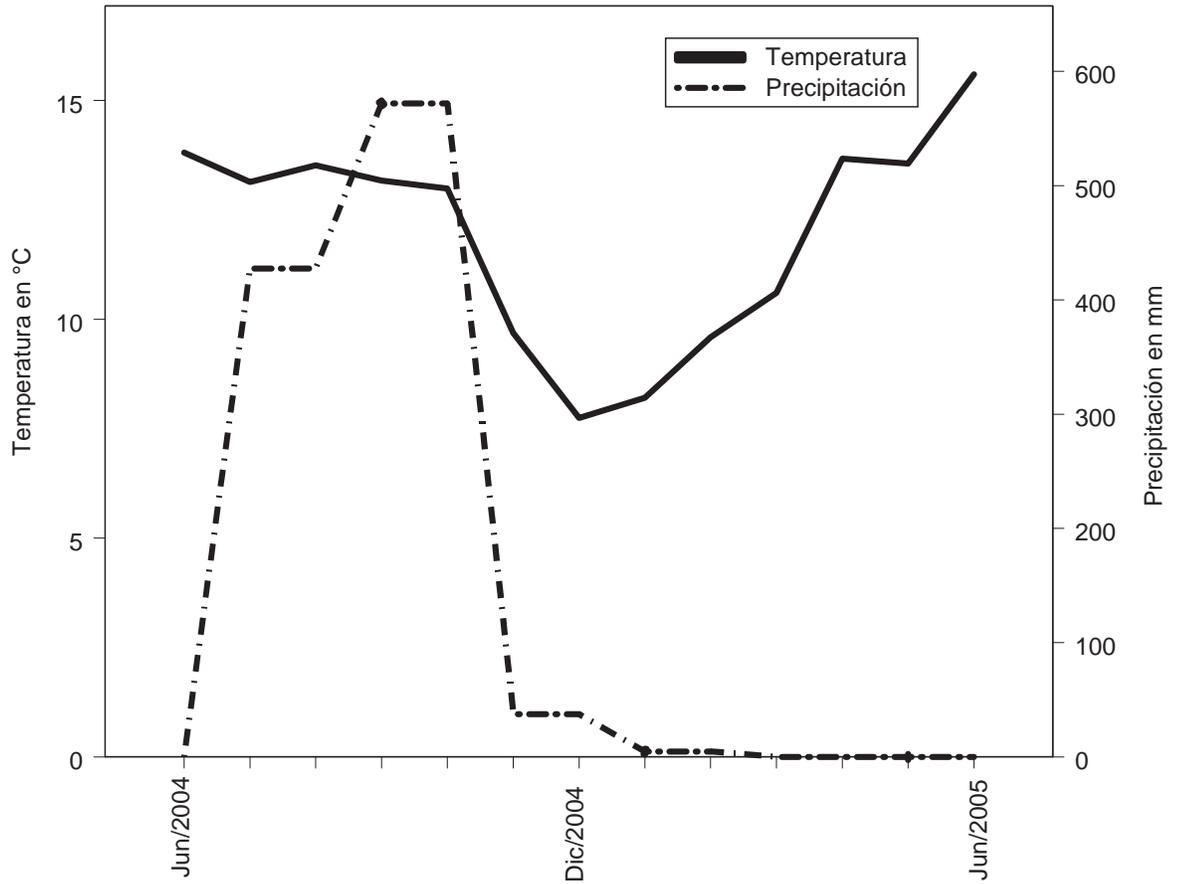


Figura No. 5. Temperaturas promedio del aire y precipitación pluvial en el sitio Llano de Pario.

En el sitio Llano de Pario, la temperatura presenta fluctuaciones mayores, para el caso del establecimiento, el comportamiento de la temperatura es muy importante, esto aunado con otros factores como el viento, ya que es un sitio más abierto, encontrándose la orilla del bosque a una distancia mayor y la influencia de la erosión pluvial.

2.4.1.2 Riqueza de especies

El número de especies es otro elemento que demuestra la presencia de gradientes de perturbación, aunque se tomaron en cuenta sólo las plantas que estuvieron presentes en el área de las parcelas de experimentación. El Tepamal es el sitio que presenta mayor riqueza de especies representado con 18 especies, pertenecientes a 14 géneros y 8 familias; los arenales de origen volcánico presentan una riqueza muy similar, el sitio Llano de Pario con 7 especies distribuidas en siete géneros y 5 familias y el sitio Mesa de Cutzato con 8 especies distribuidas en 8 géneros y 5 familias (cuadro 6).

Sitio 1: El Tepamal

ASTERACEAE

Bidens aurea (Ait.) Sherff.

B. bigelovii A. Gray.

B. serrulata (Poir.) Desf.

Conyza coronopifolia H.B.K.

C. schiedeana (Less.) Cronq.

Gnaphalium attenuatum var. *Silvícola* Mc Vaugh.

Sabazia humilis (H.B.K.) Cass.

Senecio salignus D.C.

Tithonia tubiformis (Jacq.) Cass.

COMMELINACEAE

Commelina tuberosa L.

FABACEAE

Dalea thouinii Schrank.

Trifolium amabile H.B.K.

T. mexicanum Hemsl.

GRAMINEAE

Festuca amplissima Repr. Ex Fourn.

GUTTIFERAE

Hypericum philonotis Cham. & Schelecht.

HYDROPHYLLACEAE

Phacelia platycarpa (Cav.) Spreng.

ONAGRACEAE

Oenothera pubescens Willd. Es Spreng.

ROSACEAE

Alchemilla sibbaldiifolia H.B.K. var. *bourgeaui* (Rydb.) Perry.
o (*A. velutina* S. Wats.)

Sitio 2: Llano de Pario

ASTERACEAE

Baccharis conferta H.B.K.

Heterotheca inuloides Cass. D.C

Senecio salignus D.C.

CARYOPHYLLACEAE

Drymaria efusa A. Gray.

FABACEAE

Trifolium amabile H.B.K.

GUTTIFERAE

Hypericum philonotis Cham. & Schelecht.

HYDROPHYLLACEAE

Phacelia platycarpa (Cav.) Spreng.

Sitio 3: Mesa de Cutzato

ASTERACEAE

Bidens serrulata (Poir.) Desf.

Gnaphallium americanum Mill.

Heterotheca inuloides Cass. D.C

Senecio stoechadiformis D.C.

CARYOPHYLLACEAE

Drymaria efusa A. Gray.

CYPERACEAE

Cyperus seslerioides H.B.K.

GRAMINEAE

Muhlenbergia minutissima (Steud.) Swallen.

RUBIACEAE

Crusea longiflora (Willd. Ex Roem & Schuelt).

Cuadro No. 6. Resumen de la riqueza de especies en los sitios de estudio.

Sitio	Familia	Género	Especie
El Tepamal	8	14	18
Llano de Pario	5	7	7
Mesa de Cutzato	5	8	8

2.4.1.3 Análisis de suelo de los sitios de estudio.

En el cuadro 7 y figura 6 se puede observar que en los tres sitios de estudio, el porcentaje de arena es mayor en relación al porcentaje de limo y de arcilla, encontrándose presente en mayor proporción en los sitios con mayor nivel de perturbación, siendo los arenales de origen volcánico Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

Con respecto a las concentraciones aprovechables de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Calcio (Ca), de nuevo, son menores en los sitios más perturbados. De acuerdo a la concentración de estos elementos, el suelo de los diferentes sitios es clasificado como muy pobre (Fig. 7), lo que explica, en parte, la dificultad de establecimiento de las plantas en los sitios de estudio.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica es claro el efecto de perturbación ya que el sitio El Tepamal presenta un porcentaje ampliamente mayor que los sitios Llano de Pario y Mesa de Cutzato, siendo estos los arenales de origen volcánico, presentan porcentajes muy parecidos, aún cuando se puede observar que el sitio Mesa de Cutzato es el más bajo en porcentaje de materia orgánica de los tres sitios (Fig. 8). En base a esto, es posible relacionar la dificultad de la sobrevivencia y establecimiento al que se enfrentan las plantas debido a la escasez de nutrientes, además del esfuerzo que implica restaurar sitios de menor a mayor grado de perturbación.

Cuadro No. 7. Análisis físico del suelo de los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

Determinación	El Tepamal	Llano de Pario	Mesa de Cutzato
Porcentaje de arcilla	17.36	12.36	10.36
Porcentaje de limo	23.0	0.46	0.6
Porcentaje de arena	59.64	83.97	83.64
Clasificación	Migajón arenoso	Areno migajón	Areno migajón
Interpretación	ligero	ligero	ligero
Densidad aparente	1.50	1.50	1.50
Capacidad de campo (C.C.)	30.64	9.36	9.09
Punto de marchites permanente(P.M.P.)	8.31	5.08	4.94
% de humedad aprovechable total	6.97	4.27	4.14
pH_{H₂O} Q.P.1:2	6.1	5.86	5.6
Clasificación	ligeramente ácido	medio ácido	medio ácido
Porcentaje de M.O.	4.27	1.23	1.16
Clasificación	rico	medio pobre	medio pobre
N tot orgánico kg/ha	106.75	30.69	28.2
Clasificación	rico	pobre	pobre
Nitrógeno aprovechable	42.7	12.46	11.28
Clasificación	bajo	muy pobre	muy pobre
Fósforo kg/ha Bray	31.5	11.22	8.77
Clasificación	pobre	extremadamente pobre	extremadamente pobre
P asimilable kg/ha	12.6	4.48	3.50
Clasificación	extremadamente pobre	extremadamente pobre	extremadamente pobre
Potasio kg/ha	216.0	211.66	180.0
Clasificación	medio pobre	medio pobre	pobre
K asimilable kg/ha	86.4	84.66	72.0
Clasificación	extremadamente pobre	extremadamente pobre	extremadamente pobre
Ca kg/ha	2 148.25	1 862.33	1 841.0
Clasificación	medio	medio pobre	medio pobre
Mg kg/ha	147.75	127.33	118.0
Clasificación	medio	medio pobre	medio pobre
C.I.C.	15.46	7.38	6.32
Color Munsell seco	10YR 5/4 café amarillento	10YR 3/1 muy gris	negro
Color Munsell húmedo	10YR 3/2 café oscuro	10YR 2/1negro	10YR 2/1negro

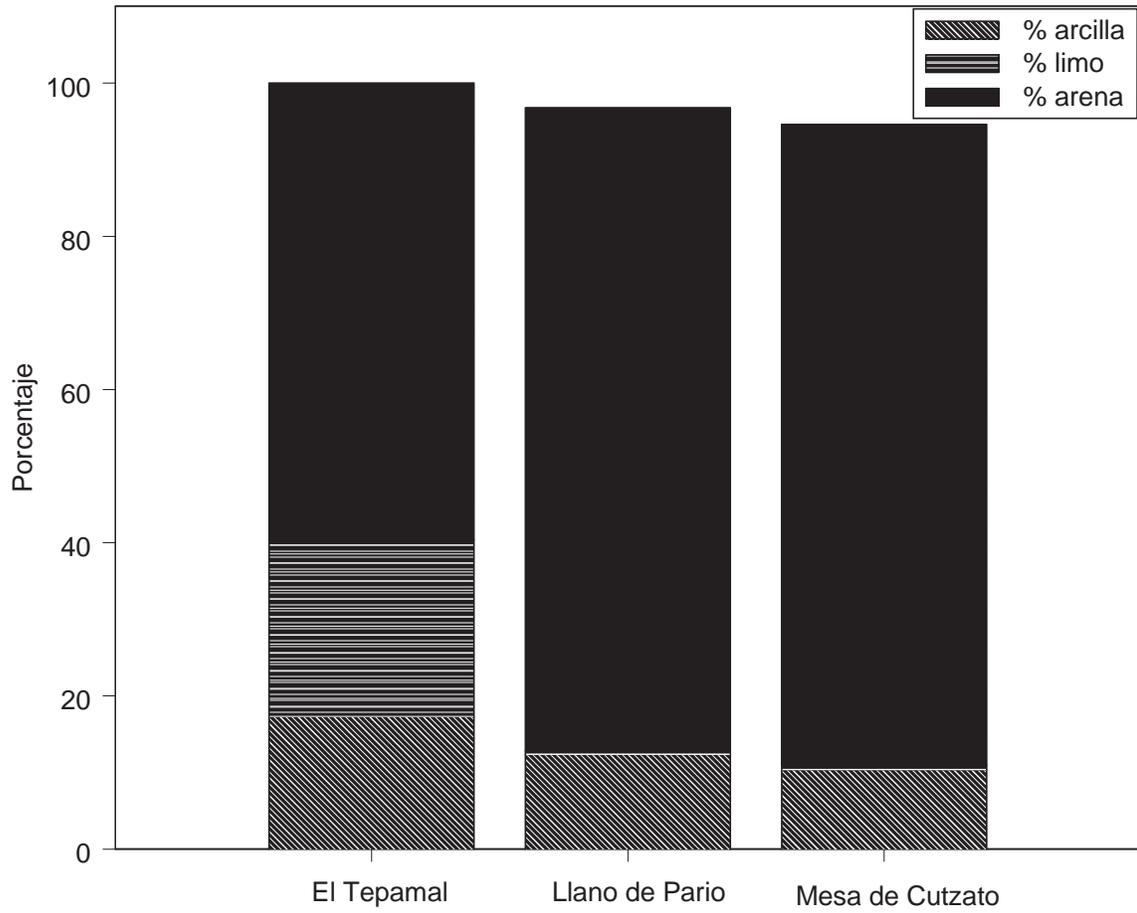


Figura No 6. Porcentaje de arcilla, limo y arena en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

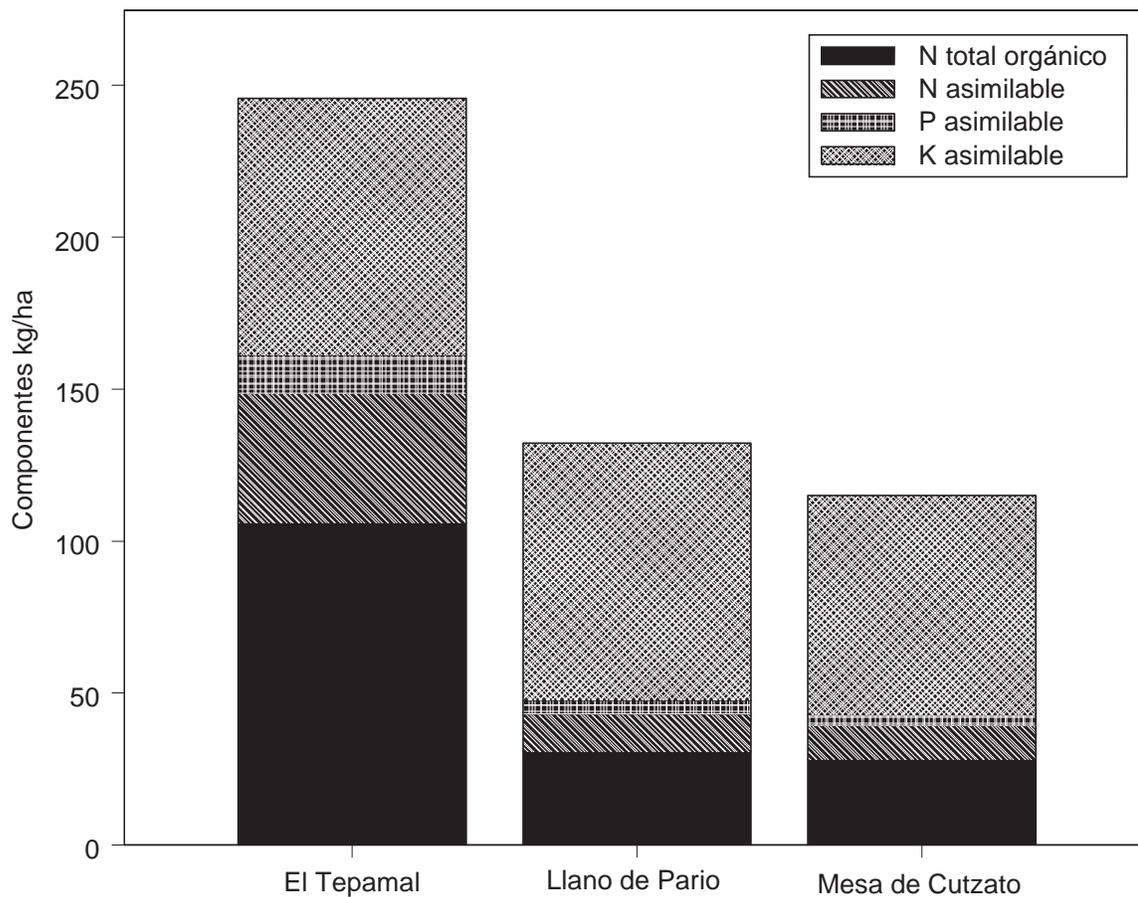


Figura No 7. Componentes del suelo en kg/ha en los tres sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

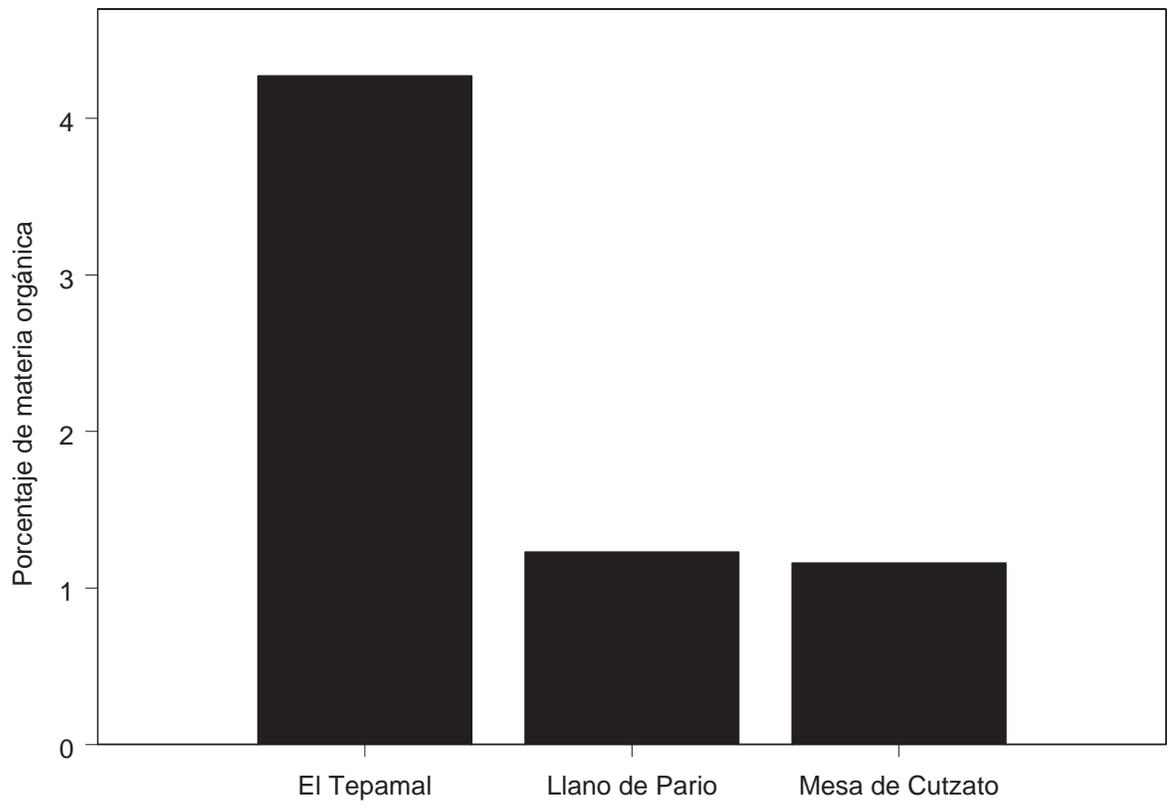


Figura No 8. Porcentaje de materia orgánica en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

2.4.2 Determinación de la densidad de semillas

La combinación de las leguminosas *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. crean una cobertura del 100 % o muy cercana al 100 %, con 4, 12 y 410 semillas respectivamente, (1, 8 y 91 plantas establecidas en promedio) en charolas de plástico. La cantidad inicial de semillas es contrastante de una especie a otra, debido a que inicialmente se sabía que una sola planta adulta de *L. elegans* cubría un área relativamente mayor que *C. pumila* y *T. repens*, además de que algunas no tienen éxito en el establecimiento, pero era necesario ratificarlo con un experimento (Cuadro 8). Se observó que las plantas de *L. elegans* tienen preferencia por establecerse en áreas más abiertas por requerimientos mayores de luz, ya que regularmente se encontraban hacia las orillas, en tanto que las plantas de *C. pumila* necesitan de una protección, pues se establecieron preferentemente en áreas donde ya había plántulas de *L. elegans* o *T. repens* la cual no presentó preferencias.

Cuadro No. 8. Número de plantas de leguminosas que crean un dosel entre 80 y 100% en charolas de plástico de 60 x 60 cm.

réplica	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	<i>Trifolium repens</i> L.
1	0	3	90
2	1	5	100
3	2	11	110
4	0	8	7
5	1	5	110
5	1	4	160
7	3	12	65
8	1	3	6
9	3	20	170
10	2	10	105
11	3	12	200
12	0	3	8
13	1	5	140
14	1	12	50
15	0	5	120
16	3	4	12
promedio	1.4	7.6	90.8

Al obtener los resultados del experimento de invernadero sobre la densidad de semillas que crean una cobertura del 100% en las charolas, fue posible conocer la cantidad que habría en 1m² a este dato se adicionó 32% a *Lupinus Elegans* H.B.K., 48% a *Crotalaria pumila* Ort. y 29% a *Tifolium repens* L. (Cuadro 9) para sembrarse en campo, debido a que, la cantidad de semillas disponibles, fue suficiente para cubrir el requerimiento y adicionar más para contrarrestar los efectos de posibles heladas, herviboría o depredación.

Cuadro No. 9. Densidad de semillas que crean cobertura del 100% en 1m² y densidad de siembra en campo.

Especie	semilla/m² (gr)	No. semillas/ 1 m²	No. semillas/ 64 m²	Semillas llevadas a campo (gr)	No.semillas para 64 m²
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	0.328	11	704	21	930-960
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	0.25	33	2 112	16	3 140 – 4000
<i>Trifolium repens</i> L.	0.937	1138	72 832	60	94 000 - 94320

2.4.3. Supervivencia de las leguminosas en campo.

Con los datos obtenidos en invernadero, se obtuvo información acerca de la densidad de semillas adecuada para sembrar en campo al inicio de la época de lluvias del año 2004. El experimento monitoreado bimestralmente a lo largo del año, muestra que el comportamiento de las plantas entre sitios presenta diferencias estadísticamente significativas (Cuadro 10). El establecimiento de las plantas resulta ser sumamente difícil, debido a las condiciones adversas de los sitios; la falta de nutrientes en el suelo afecta de manera determinante la supervivencia y desarrollo de las plantas.

El análisis de varianza de una vía, indica que existe diferencia significativa en la supervivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., a partir de la segunda evaluación

hasta finalizar el año (Cuadro 10), debido a que en El Tepamal, el promedio de plantas fue significativamente mayor que en los otros sitios (Cuadro 11). En el caso de las plantas de *Crotalaria pumila* Ort., se encontró diferencia significativa en la segunda evaluación (octubre de 2004), debido a que las plantas de esta especie, solo se encontraban presentes en Llano de Pario (Cuadro 10). La sobrevivencia de las plantas de *Trifolium repens* L. fue muy variable entre los sitios (Cuadro 11).

Cuadro No. 10. Análisis de varianza de una vía entre sitios por especie para sobrevivencia.

Especie	Valor de P					
	Agos 04	Oct 04	Dic 04	Feb 05	Abr 05	Jun 05
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	0.24	0.001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	0.17	0.0014	0.32	~	~	~
<i>Trifolium repens</i> L.	0.0001	0.005	0.0023	0.026	0.0001	0.01

Cuadro No. 11. Promedio de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K.

<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.						
sitio	Agos 04	Oct 04	Dic 04	Feb 05	Abr 05	Jun 05
El Tepamal	27.41	45.08	74.58	81.83	70.16	63.08
Llano de Pario	29.5	29.91	30.0	3.08	2.91	3.58
Mesa de Cutzato	11.5	6.0	3.0	0.5	0.5	0.5

En la figura 9, se muestra claramente el desempeño *Lupinus elegans* H.B.K. a lo largo de un año en los tres sitios de estudio, observando una tendencia a la estabilidad con un número ampliamente mayor de plantas vivas para El Tepamal que presentó el primer lugar en sobrevivencia, debido a que se dio el mayor establecimiento, mientras que en segundo lugar, Llano de Pario donde la sobrevivencia fue menor, presentando el periodo de mayor mortalidad durante los meses de diciembre a febrero, coincidiendo con el periodo de heladas (Fig. 3) y en tercer lugar, Mesa de Cutzato, donde se observa alta mortalidad desde el mes de agosto.

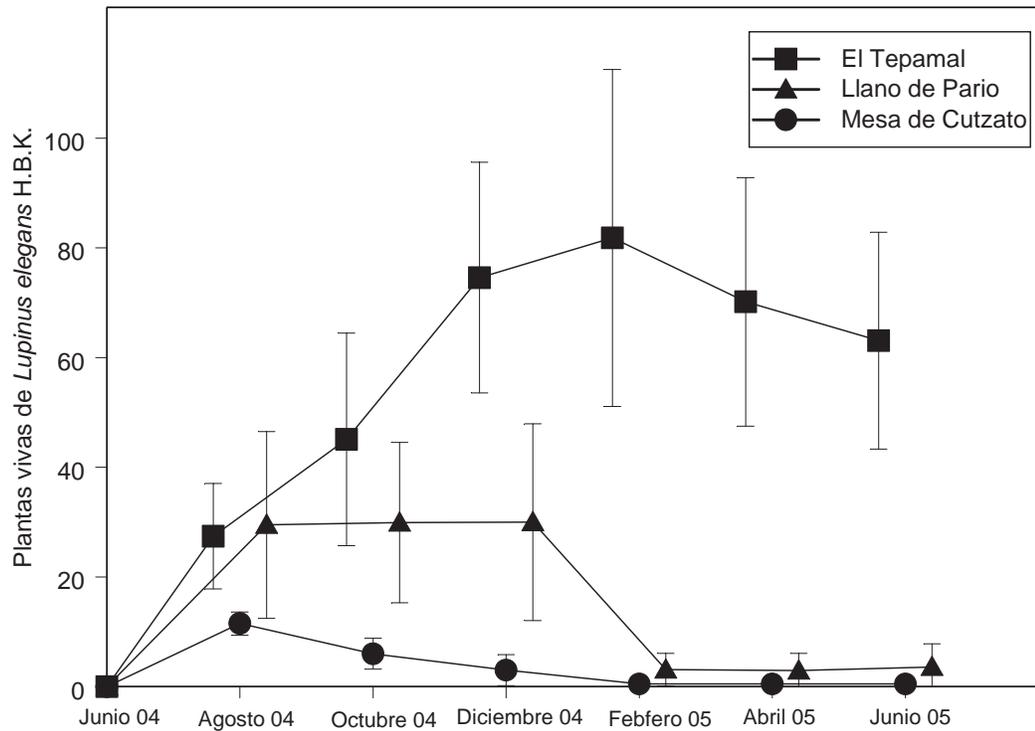


Figura No. 9. Promedio de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. durante el primer año de experimentación en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato. Las barras indican la desviación estándar.

En la figura 10 se muestra el promedio general de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. a lo largo de un año en los tres sitios de estudio, mostrando claramente el patrón del nivel de perturbación y la dificultad de establecimiento que enfrentan las plantas que va de menor a mayor dificultad, obteniendo una relación inversamente proporcional entre el nivel de degradación y la sobrevivencia en esta especie.

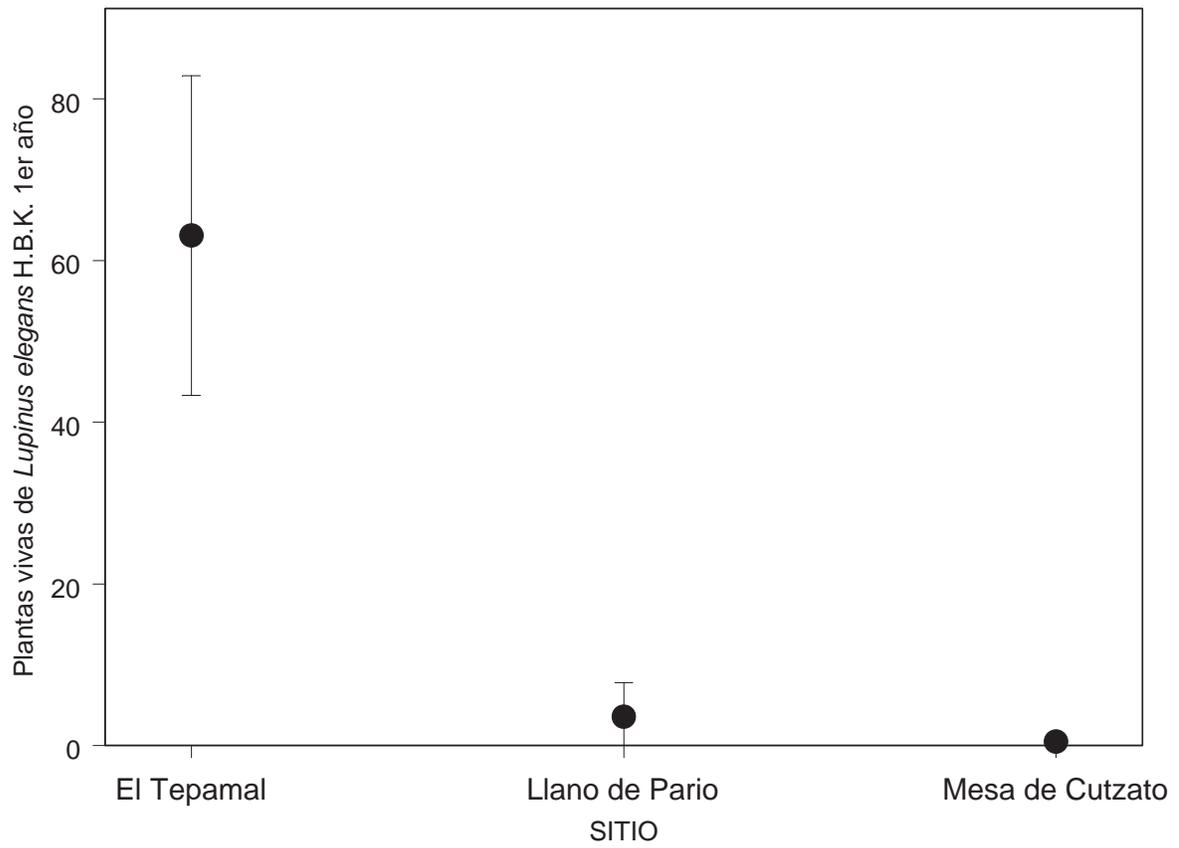


Figura No. 10. Promedio de plantas vivas de *Lupinus elegans* H.B.K. durante el primer año de experimentación en los sitios de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato. Las barras indican la desviación estándar.

Cuadro No. 12. Promedio de sobrevivencia de las plantas de *Crotalaria pumila* Ort.

<i>Crotalaria pumila</i> Ort.						
sitio	Agos 04	Oct 04	Dic 04	Feb 05	Abr 05	Jun 05
El Tepamal	13	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
Llano de Pario	9.5	15.16	0.41	0.0	0.0	0.0
Mesa de Cutzato	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

La figura 11, muestra que *Crotalaria pumila* Ort. obtuvo un mejor desempeño en Llano de Pario hasta la segunda evaluación, pero no hubo establecimiento de esta especie durante el primer año (Cuadro 12).

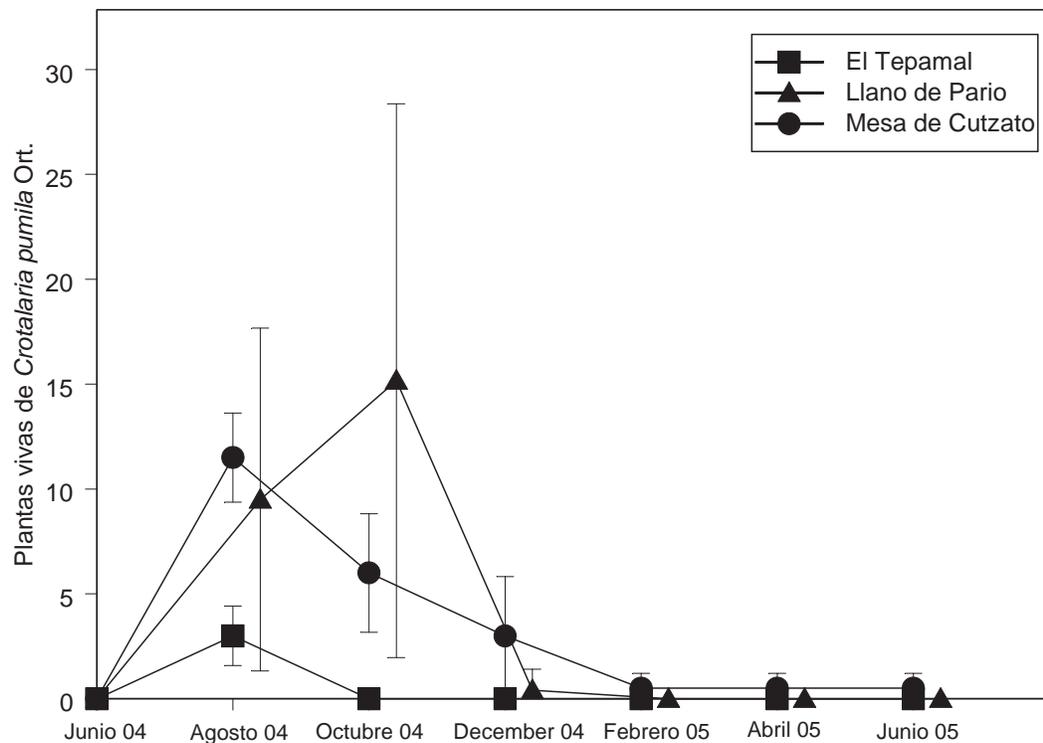


Figura No. 11. Sobrevivencia de las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. durante el primer año de experimentación en los sitio de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato. Las barras indican la desviación estándar.

Cuadro No. 13. Promedio de sobrevivencia de las plantas de *Trifolium repens* L.

<i>Trifolium repens</i> L.						
sitio	Agos 04	Oct 04	Dic 04	Feb 05	Abr 05	Jun 05
El Tepamal	6241	900	1	1	1	1
Llano de Pario	591	222	74	58	49	44
Mesa de Cutzato	892	205	0.0	0.0	0.5	0.0

Para el caso de *Trifolium repens* L., El Tepamal, parecía un buen sitio para su establecimiento, pero hubo competencia con otras especies del sitio, a lo largo del año sobrevivió en Llano de Pario, aunque en mínima cantidad, se mantuvo constante (Fig. 12).

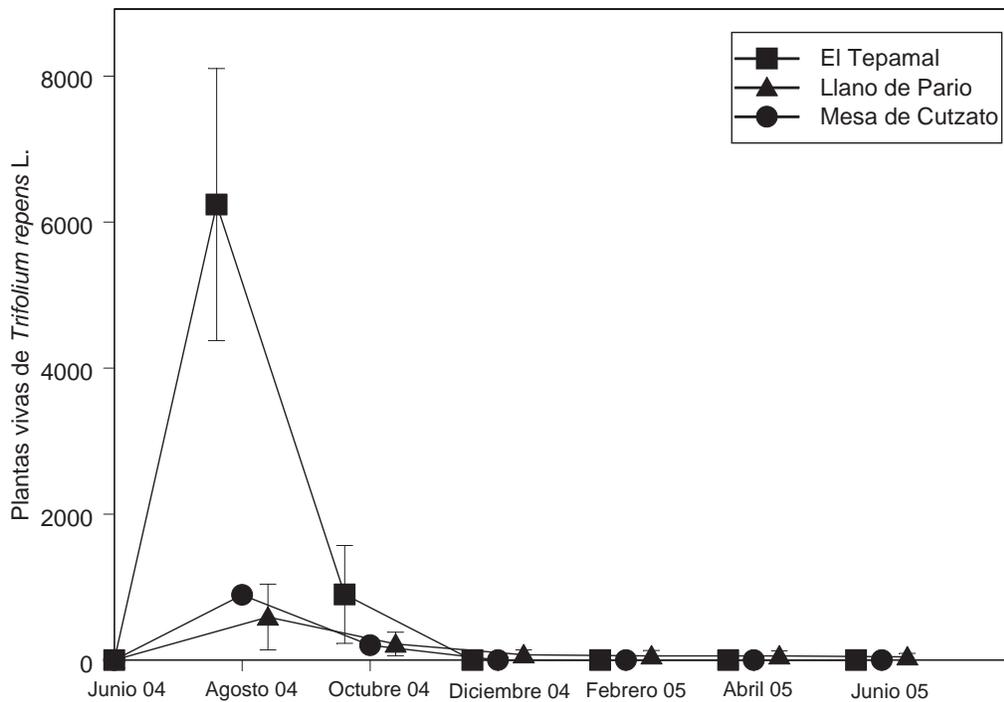


Figura No. 12. Sobrevivencia de las plantas de *Trifolium repens* L. durante el primer año de experimentación en los sitio de estudio El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato. Las barras indican la desviación estándar.

2.4.4 Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de leguminosas.

Visto de otra forma, el porcentaje de sobrevivencia, se muestra de manera clara para cada especie por sitio. El porcentaje obtenido a partir de la densidad de semillas sembradas en campo deja ver que el éxito de sobrevivencia se dificulta en mayor grado en los sitios más perturbados. Las plantas presentan porcentajes relativamente bajos, pero si consideramos las dimensiones de las plantas, podemos mencionar que con las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. sobrevivientes en sitio El Tepamal es suficiente para crear una cobertura y se puede considerar como un buen desempeño, al presentar el mayor porcentaje de sobrevivencia, para el sitio Llano de Pario, las plantas están presentes, pero la cantidad no es suficiente para crear una buena cobertura y Mesa de Cutzato tiene mayor problema porque el porcentaje de sobrevivencia es muy bajo (cuadro 14). *Crotalaria pumila* Ort. sólo estuvo presente más de dos meses en Llano de Pario, en los otros sitios, la mortalidad fue temprana (cuadro 15). Para el caso de *Trifolium repens* L., Mesa de Cutzato también fue es sitio más difícil y presentó un desempeño más favorable en Llano de Pario (cuadro 16).

Cuadro No. 14. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. durante el primer año de experimentación.

<i>Lupinus elegans</i> H.B.K en%						
sitio /fecha	agos 04	oct 04	dic 04	feb 05	abr 05	jun 05
El Tepamal	2.94	4.84	8.01	8.78	7.53	6.77
Llano de Pario	3.16	3.21	3.22	0.33	0.31	0.37
Mesa de Cutzato	1.23	0.64	0.32	0.053	0.053	0.053

Cuadro No. 15. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. durante el primer año de experimentación.

<i>Crotalaria pumila</i> Ort. en %						
sitio /fecha	agos 04	oct 04	dic 04	feb 05	abr 05	jun 05
El Tepamal	0.41	0	0	0	0	0
Llano de Pario	0.030	0.48	0.01	0	0	0
Mesa de Cutzato	0.09	0	0	0	0	0

Cuadro No. 16. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Trifolium repens* L. durante el primer año de experimentación.

<i>Trifolium repens</i> L. en %						
sitio /fecha	agos 04	oct 04	dic 04	feb 05	abr 05	jun 05
El Tepamal	6.9	0.9	0.00017	0.00017	0.00017	0.00017
Llano de Pario	0.62	0.23	0.07	0.061	0.060	0.046
Mesa de Cutzato	0.94	0.21	0	0	0	0

En cuanto al promedio general en el primer año *Lupinus elegans* H.B.K muestra un mejor desempeño.

Cuadro No. 17. Porcentaje de establecimiento de las leguminosas utilizadas durante el primer año de experimentación.

junio/2005 % de establecimiento	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	<i>Trifolium repens</i> L.
El Tepamal	6.77	0	0.00017
Llano de Pario	0.37	0	0.46
Mesa de Cutzato	0.053	0	0

Tomando en cuenta que *Crotalaria pumila* Ort. es una especie anual, al término del primer año en el mes de junio, la evaluación real sería solo para *Lupinus elegans* H.B.K. *Trifolium repens* L.

Cuadro No. 18. Porcentaje de establecimiento de las leguminosas utilizadas durante el primer año de experimentación hasta el mes de octubre de 2004.

octubre/2004 % de establecimiento	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	<i>Trifolium repens</i> L.
El Tepamal	4.84	0	0.21
Llano de Pario	3.21	0.48	0.23
Mesa de Cutzato	0.64	0	0.23

Para las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. el mes a evaluar sería octubre, ya que regularmente, es el mes en que se colecta la semilla.

2.4.5 Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. en El Tepamal.

Las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. tuvieron un mejor desempeño en el sitio El Tepamal, aún cuando las parcelas del sitio presentan pendientes con diferente grado de inclinación y orientación (Fig. 13). De acuerdo con la orientación de la rosa de vientos (Fig. 14) se ubicaron seis parcelas con orientación SSO (Sur Suroeste), tres con orientación ESE (Este Sureste), dos con orientación SSE (Sur Sureste) y sólo una con orientación ENE (Este Noreste) (cuadro 19). Tomando en cuenta la sobrevivencia con respecto al grado de inclinación de la pendiente y la orientación de la misma, se aplicó un análisis de regresión múltiple encontrando diferencias estadísticamente significativas en la sobrevivencia de *L. elegans* con un valor de $F_{(3,8)} = 2.138$, $R^2 = 0.445$, $P = 0.1736$ (cuadro 20 y Fig. 15). Enumerando las parcelas de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, las parcelas 2, 4, 5 y 12 fueron las parcelas que presentaron menor número de plantas vivas después de un año de haber sido sembradas. Se observa una tendencia de mayor sobrevivencia en parcelas con pendientes con menor grado de inclinación y con orientación SSE (Sur Sureste) y ENE (Este Noreste).

Orientación de las pendientes en las parcelas con leguminosas

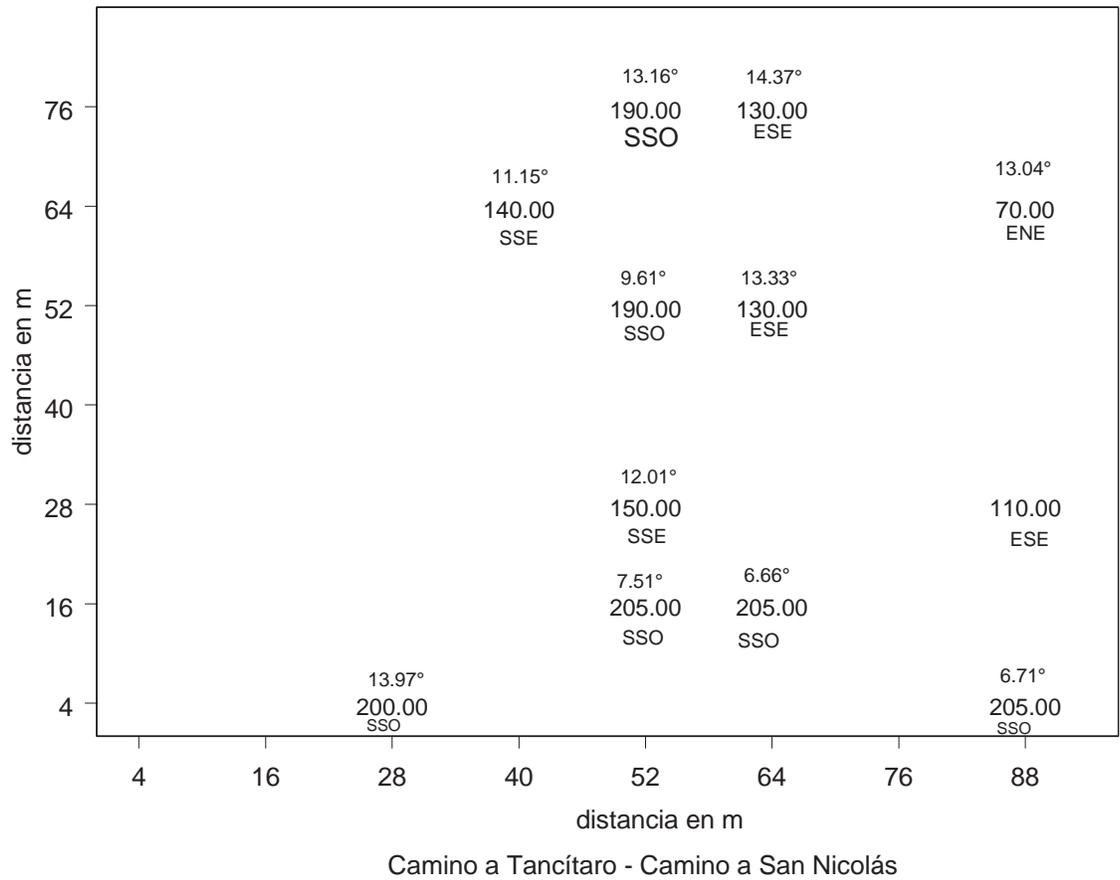


Figura No. 13. Mapa de la orientación de las pendientes en el sitio El Tepamal. Las pendientes están en grados. Las parcelas están enumeradas de izquierda a derecha de la parte superior a la parte inferior de 1 a 12. w = o.

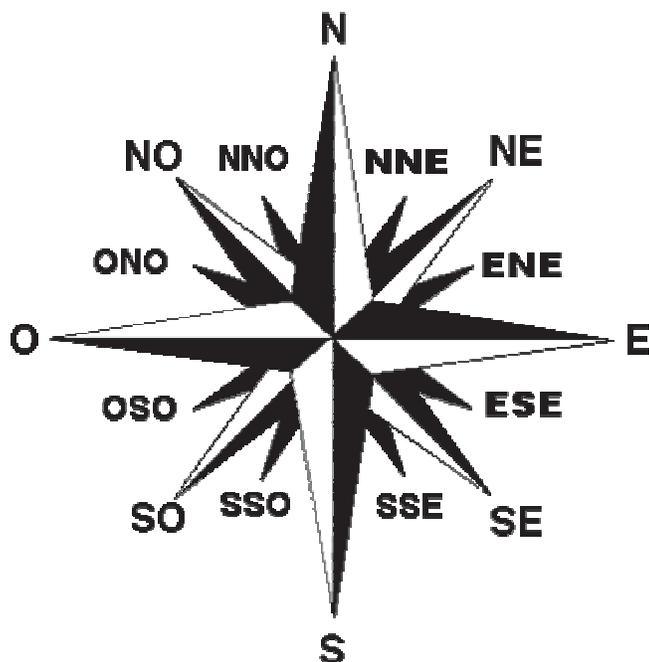


Figura No. 14. Rosa de los vientos utilizada para ubicar la orientación de las pendientes en las parcelas del sitio El Tepamal.

Cuadro No. 19. Ubicación de las parcelas con respecto a la orientación de las pendientes en el sitio El Tepamal.

	Orientación		Orientación en °	Ubicación de las parcelas
1	NNE	Norte Noreste	22.50°	0
2	NE	Noreste	45.00°	0
3	ENE	Este Noreste	67.50°	1 (4)
4	E	Este	90.00°	0
5	ESE	Este Sureste	112.50°	3 (2,6 y 8)
6	SE	Sureste	135.00°	0
7	SSE	Sur Sureste	157.00°	2 (3 y 7)
8	S	Sur	180.00°	0
9	SSO	Sur Sur oeste	202.50°	6 (1,5,9,10,11 y 12)
10	SO	Suroeste	225.00°	0
11	OSO	Oeste Sudoeste	247.50°	0
12	O	Oeste	270.00°	0
13	ONO	Oeste Noroeste	292.50°	0
14	NO	Noroeste	315.00°	0
15	NNO	Norte Noroeste	337.50°	0
16	N	Norte	360.00°	0

Cuadro No. 20. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en El Tepamal al cumplir un año de edad. $F_{(3,8)} = 2.138$, $R^2 = 0.445$, $P = 0.1736$, los números en negritas representan las diferencias estadísticamente significativas.

	Valor	Error estándar	Valor de "t"	P
Intercepto	-58.79	51.69	-1.14	0.2883
pendiente	11.08	4.53	2.45	0.0401
orientación	83.51	36.22	2.31	0.0500
pendiente: orientación	-7.19	2.96	-2.43	0.0414

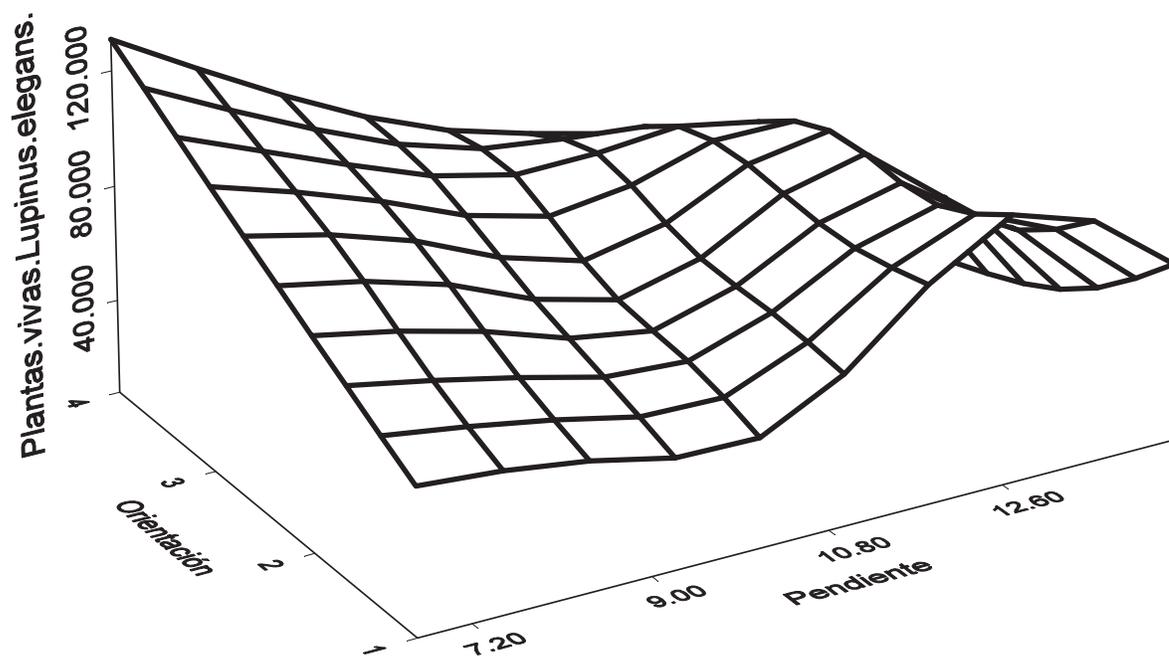


Figura No. 15. Sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación (1 = SSO, 2 = ESE, 3 = SSE y 4 = ENE) y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.

2.4.6 Altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. al término de la época de secas.

La altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. muestra diferencias estadísticamente significativas entre sitios con un valor de $P < 0.0001$ (cuadro 21). En el sitio El Tepamal se encuentran las plantas más altas, en el sitio Llano de Pario son de menor altura como se muestra en la figura 16. La altura de las plantas de *L. elegans* del sitio Mesa de Cutzato no se graficó debido a que al término de un año, cuando se realizó la medición, sólo sobrevivió un individuo, con 75 cm de altura, mayor a la altura promedio de las plantas del sitio de Llano de Pario. El Tepamal es el sitio que mostró condiciones más favorables al presentar mayor establecimiento y por consiguiente mejor desarrollo en las plantas de *L. elegans*.

Cuadro No. 21. Análisis de varianza de una vía aplicado a la altura de *Lupinus elegans* H.B.K. de los sitios El Tepamal y Llano de Pario.

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	P
sitio	1	133479.3	133479.3	78.1	<0.0001
residuales	430	735123.1	1709.6		

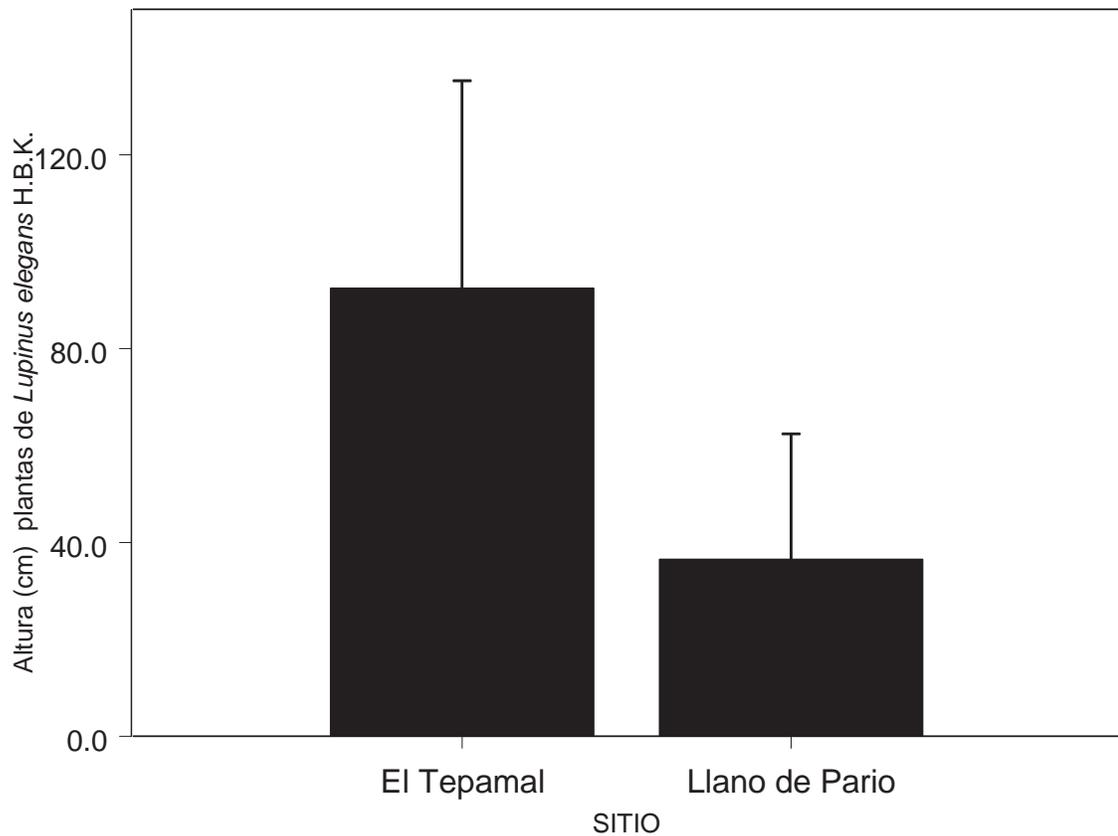


Figura No. 16. Alturas de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005). En los sitios El Tepamal y Llano de Pario. Las barras indican la desviación estándar.

La altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K en el sitio El Tepamal (Fig. 17) se analizó mediante un análisis de regresión múltiple dando como resultado un valor de $F_{(3,8)} = 0.7776$, $R^2 = 0.2258$, $P = 0.5387$ no encontrándose diferencias estadísticamente significativas con relación a la pendiente y la orientación (cuadro 22) aunque se observa una tendencia, las plantas que se encuentran en pendientes con menor grado de inclinación son más altas que las plantas que se encuentran en pendientes más pronunciadas alcanzando alturas un poco menores, y las plantas con orientación Este Sureste (ESE) son en promedio las de menor

altura (Fig.18). En general, las plantas alcanzaron altura considerable durante el primer año. Por otro lado, se realizó el mismo análisis tomando en cuenta únicamente las 6 plantas más altas de cada parcela (Fig. 19), resultando un valor de $F_{(3,8)} = 0.4777$, $R^2 = 0.1519$, $P = 0.7066$, no encontrando diferencias estadísticamente significativas en las alturas máximas de las plantas de *L. elegans* (cuadro 23). Tomando en cuenta sólo las alturas máximas, la tendencia se hace más clara, mostrando alturas menores en la parcelas con pendientes con un mayor grado de inclinación (Fig. 20).

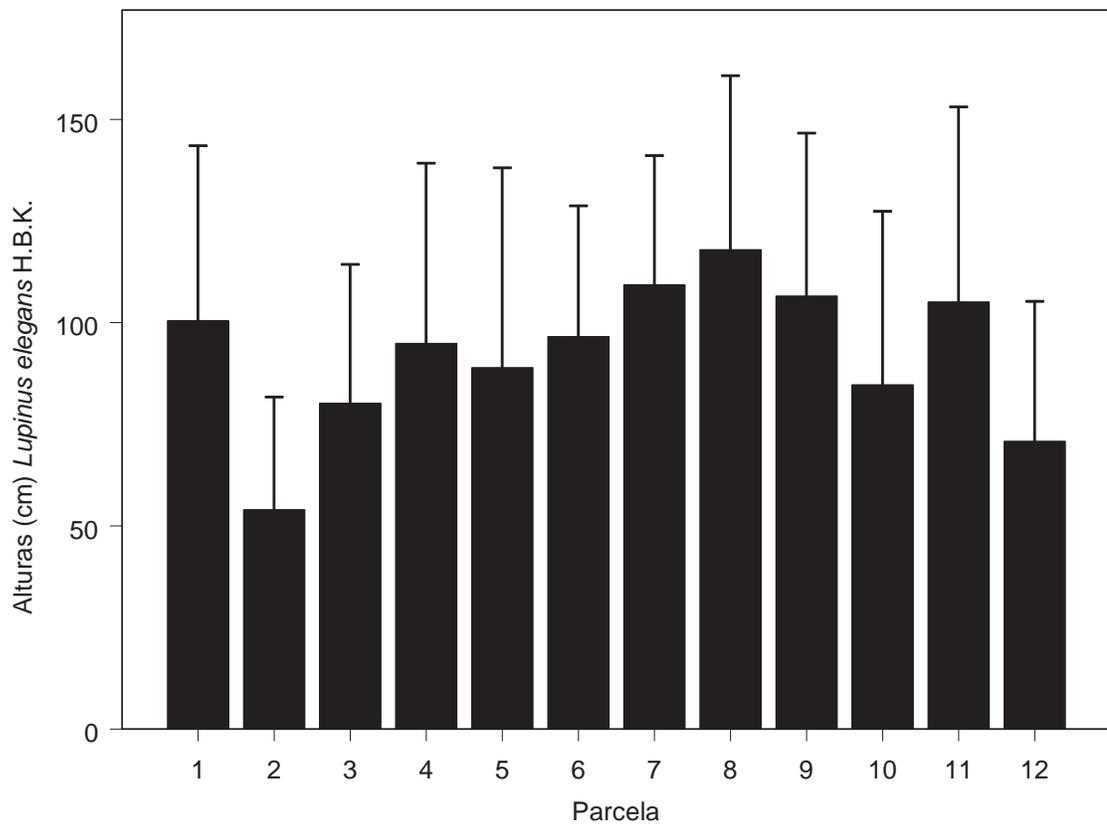


Figura No. 17. Alturas promedio de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005) en el sitio El Tepamal. Las barras indican la desviación estándar.

Cuadro No. 22. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en el sitio El Tepamal al cumplir un año de edad. $F_{(3,8)} = 0.7776$, $R^2 = 0.2258$, $P = 0.5387$.

	Valor	Error estándar	Valor de "t"	P
Intercepto	24.61	55.44	0.44	0.6689
pendiente	5.38	4.86	1.11	0.3001
orientación	57.41	38.85	1.48	0.1777
pendiente: orientación	-4.57	3.18	-1.44	0.1880

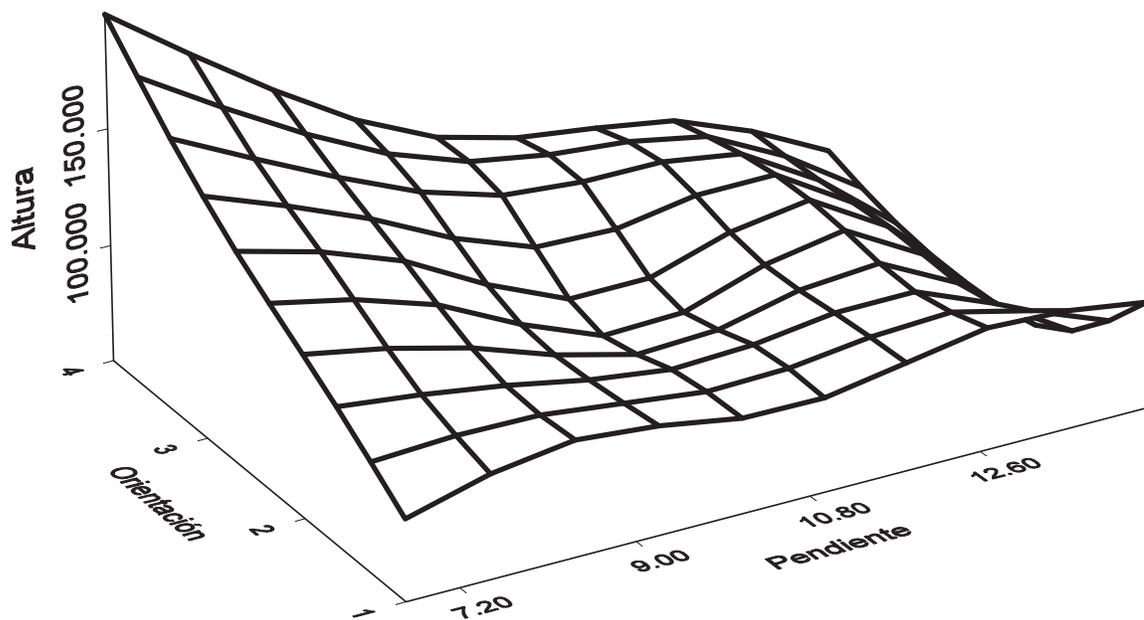


Figura No. 18. Altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación (1 = SSO, 2 = ESE, 3 = SSE y 4 = ENE) y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.

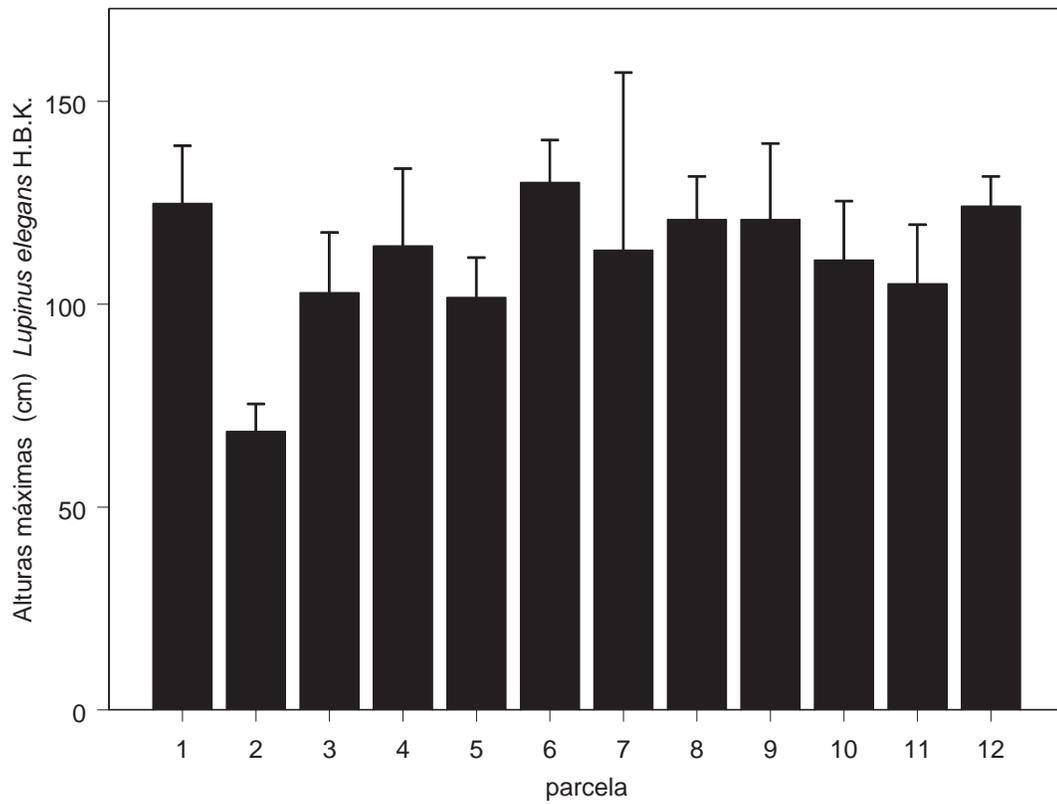


Figura No. 19. Alturas promedio de las 6 plantas más altas de *Lupinus elegans* H.B.K., tomadas al final de la época de secas (junio de 2005) el sitio El Tepamal. Las barras indican la desviación estándar.

Cuadro No. 23. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la altura máxima de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en el sitio El Tepamal al cumplir un año de edad. $F_{(3,8)} = 0.4777$, $R^2 = 0.1519$, $P = 0.7066$.

	Valor	Error estándar	Valor de "t"	P
Intercepto	130.69	52.59	2.49	0.0378
pendiente	-2.28	4.60	-0.49	0.6336
orientación	2.89	36.86	0.08	0.9393
pendiente: orientación	-0.02	3.01	-0.01	0.9959

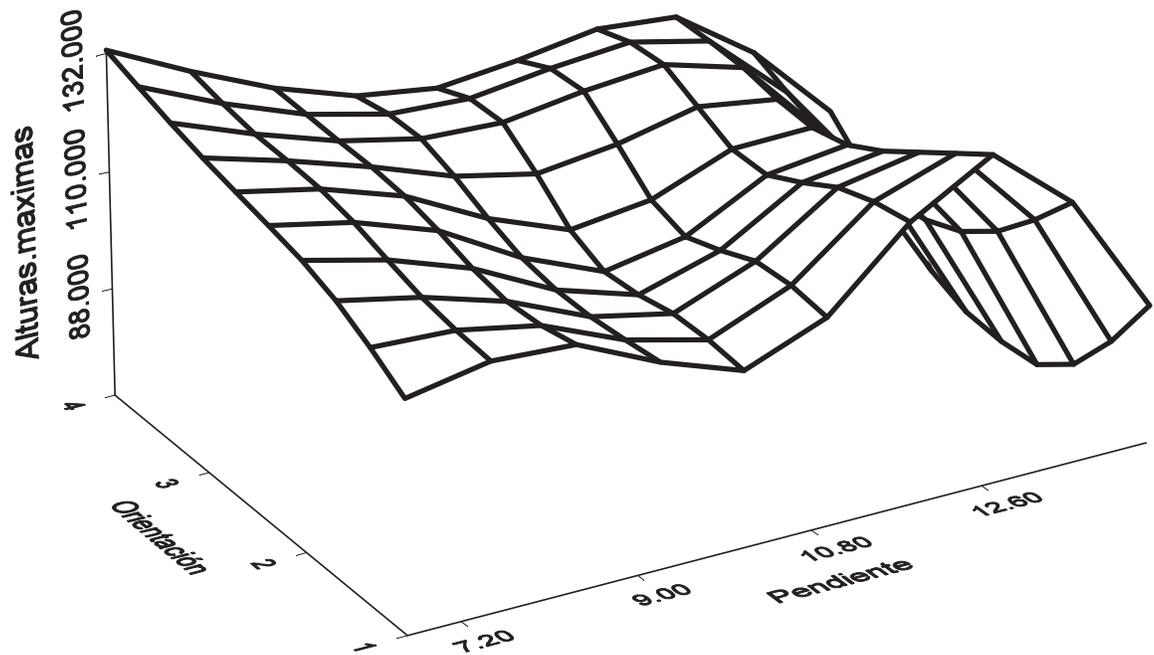


Figura No. 20. Altura máxima de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación (1 = SSO, 2 = ESE, 3 = SSE y 4 = ENE) y pendiente al término de un año en el sitio El Tepamal.

El dato de la altura es importante ya que con el análisis de regresión múltiple se observó que la pendiente y la orientación no tienen efecto importante en la altura de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., aunque existe una tendencia, las plantas que se encuentran en pendientes más pronunciadas, crecen menos, las expuestas a la orientación Este Sureste (ESE) son las de menor altura, mientras que en la sobrevivencia si se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

2.4.7 Formas de vida de acuerdo a la clasificación de Rauenkaier

El sistema de formas de vida de Rauenkaier se usa de modo general en los trabajos fitosociológicos y tiene como principio de clasificación la adaptación de la planta a la estación desfavorable del año, pero las formas de vida pueden cambiar en una misma especie dependiendo de las condiciones climáticas y factores externos en general.

Se observó que en los sitios de estudio, la misma especie puede presentar dos formas de vida diferentes aún cuando se encuentran relativamente cercanos; en particular *Trifolium repens* L. se presenta como euterófito (anual) en los sitios El Tepamal, y Mesa de Cutzato y como caméfito reptante (perene) en Llano de Pario. Las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., mostraron la forma de vida llamada nanofanerófito (perene de vida corta) en los tres sitios al y las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. euterófito (anuales) (cuadro 24).

Cuadro No. 24. Formas de vida que presentan las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. en los sitios El Tepamal, Llano de Pario y Measa de Cutzato de acuerdo a la clasificación de las formas de vida de las plantas de Rauenkaier extraído de Blanquet, J.B. (1979).

especies	El Tepamal	Llano de Pario	Measa de Cutzato
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K	Nanofanerófito	Nanofanerófito	Nanofanerófito
<i>Crotalaria pumila</i> Ort	Terófitos (euterófito)	Terófitos (euterófito)	Terófitos (euterófito)
<i>Trifolium repens</i> L.	Terófitos (euterófito)	Caméfito (caméfito reptante)	Terófitos (euterófito)

Terófitos son vegetales que desarrollan su ciclo de vida desde la germinación hasta la madurez del fruto dentro de un solo periodo de vegetación y cuyas semillas sobreviven en la estación desfavorable protegidas por el sustrato, dentro del cual se encuentran los euterófitos que son fanerógamas anuales.

Caméfitos son vegetales cuyas yemas de renovación se encuentran por encima de la superficie del suelo y reciben protección de la misma planta, dentro del cual se encuentran los caméfitos reptantes, son plantas herbáceas con retoños aplicados al suelo o ascendentes que persisten durante la estación desfavorable y llevan las yemas de renovación, frecuentemente enraizan.

Nanofanerófitos son vegetales cuyas yemas de renovación se encuentran entre unos 0.25 y 2 m sobre el suelo, follaje caduco, con arbustos de vida corta.

2.5 DISCUSIÓN

En nuestros días, es de vital importancia la reconversión de suelos agrícolas abandonados al uso forestal en bosques templados, debido a que su extensión se ha reducido notablemente (SEMARNAT 2000), como consecuencia del cambio de uso de suelo; de acuerdo con Nebel y colaboradores (1999) las principales causas son la agricultura y el pastoreo. La disminución de la riqueza de especies, erosión, compactación y empobrecimiento del suelo son algunos de los daños ocasionados por estas actividades. En sitios donde el nivel de perturbación aún es bajo, algunas acciones como la exclusión de ganado o la reforestación, podrían representar parte de la recuperación del sitio. Lo cierto es que se han destinado considerables recursos a los programas de reforestación de bosques templados (Pimentel y Kounang 1998), obteniendo éxitos variables (Sáenz-Romero y Lindig-Cisneros 2004).

De acuerdo con Loumeto y Huttel (1997) es necesario utilizar técnicas diferentes a las reforestación en sitios con altos niveles de perturbación, cuando estas acciones no son suficientes, siendo uno de los puntos más importantes el establecimiento de plantas del sotobosque (Krebs 1985, Prret *et al.* 1996), ya que la mayoría de las ocasiones, la atención se centra en tratar de desarrollar sólo el estrato arbóreo sin tomar en cuenta los estratos herbáceos o arbustivos, aún cuando son componentes fundamentales en etapas tempranas de la sucesión, de modo que el desarrollo de estos estratos pueden significar la diferencia en el éxito del desarrollo del estrato arbóreo (Ashton *et al.* 1997), maximizando su sobrevivencia y establecimiento. Tomando en cuenta las sugerencias de Hack y Tomeri (2001) las leguminosas representan una buena opción en la restauración ecológica por su capacidad de fijación de nitrógeno contribuyendo a restaurar las condiciones de fertilidad del suelo (Ashton *et al.* 1997) y resistencia al estrés además de que muchas especies del sotobosque son de la familia Fabaceae.

Los resultados del experimento coinciden claramente con la teoría propuesta por Hobbs y Norton (1996) que plantean la relación entre el nivel de perturbación y el esfuerzo de restauración, implicando que se requiere de una aplicación cada vez mayor de medidas

aditivas tendientes a modificar las condiciones del sitio, cuando el grado de perturbación es cada vez más alto. Con la especie *Lupinus elegans* H.B.K. se observó que en El Tepamal, que es el sitio con un menor nivel de perturbación, las plantas tanto en número como en altura son ampliamente mayor que en los arenales de origen volcánico. En el sitio Llano de Pario, que representa el nivel intermedio de perturbación, muestra una sobrevivencia menor que El Tepamal y mayor que el sitio Mesa de Cutzato, siendo un problema en este último sitio, la herbivoría en etapas tempranas (Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005). El esfuerzo se refleja en la necesidad de una resiembra de todas las parcelas en los arenales, mientras que en El Tepamal, solo se resembró una proporción en cuatro parcelas. En otro sentido, las condiciones ambientales reflejan los resultados del esfuerzo realizado, ya que el desarrollo del dosel de leguminosas, amortigua las temperaturas extremas en el sitio donde se logró su desarrollo.

Lupinus elegans H.B.K. es una especie nativa con potencial para restaurar sitios degradados (Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005). Debido a su capacidad de fijación de nitrógeno, contribuyendo al reestablecimiento de la fertilidad del suelo al descomponerse la abundante hojarasca, además que puede actuar como nodriza para otras especies (pinos, oyamel, compuestas etc.) (altruismo ecológico) (Margalef 1998) ya que es capaz de crear microclimas propicios para el establecimiento de especies nativas, por el desarrollo de su dosel que amortigua cambios bruscos de temperatura, puede atraer dispersores y por proporcionar nutrientes que beneficien a otras especies.

Crotalaria pumila Ort. presenta dificultades para su establecimiento, aunque estuvo presente en el sitio Llano de Pario no logró crear banco de semillas durante el primer año. Una alternativa sería desarrollar plantas en invernadero y transplantarlas en campo en época de lluvias en áreas donde *Lupinus elegans* H.B.K. ya estuviera establecido y diera protección a esta especie, ya que las principales limitantes para su establecimiento son las condiciones ambientales. Muy probablemente la altitud también es otro de los factores, aunque la especie está reportada para la región (Martínez 1997), los sitios donde se probó la especie, van desde los 2 200 hasta los 2 750 m.s.n.m. Por otro lado, puede ser interesante probar otras especies

de leguminosas que presenten características similares como puede ser follaje, altura, resistencia al estrés, etc.

Trifolium repens L. es una buena opción para ser utilizada en restauración ya que es una planta herbácea, regularmente perene, que crece espontáneamente en terrenos abandonados, campos de cultivo, parques y jardines, aunque es una planta nativa de Eurasia, está ampliamente naturalizada en el continente Americano, desde los Estados Unidos, México, Centroamérica y hasta Sudamérica, su éxito se debe en base a que posee mecanismos de reproducción tanto vegetativa como sexual, lo que le permite dispersarse rápidamente y adaptarse a diferentes condiciones ambientales (Guevara-Féfer 1994).

De acuerdo con Blanquet (1979) los caracteres utilizados en la delimitación de las formas de vida están influidos por factores externos y se trata principalmente de caracteres fenotípicos, de esta forma se explica que una misma especie pueda presentar distintas clases de formas de vida bajo diferentes condiciones climáticas, pero también en una misma región ciertas especies en una misma región, ciertas especies pueden aparecer bajo dos o incluso tres formas de vida. Para el caso de *Trifolium repens* L. presenta dos formas de vida aún cuando los sitios están muy cercanos entre sí, se presenta como euterófito (anual) en los sitios El Tepamal, y Mesa de Cutzato, muy probablemente se debe a que en el primer sitio, existe una competencia por el mismo estrato, ocupado principalmente por gramíneas y compuestas y como resultado, guarda sus reservas para permanecer como anual y en el segundo sitio, las condiciones ambientales son extremadamente difíciles debido al grosor considerable de la capa de arena y las temperaturas extremas, de modo que no resiste y por otro lado como caméfito reptante (perene) en el sitio Llano de Pario, aunque las condiciones de temperatura son extremas, la delgada capa de ceniza volcánica le permite su permanencia. Las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K., mostraron la forma de vida nanofanerófito (perene de vida corta) en los tres sitios al y las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. euterófito (anuales). Muchos de los fenómenos morfológicos favorables funcionalmente, que se utilizan en la división de las formas de vida, están fijados genéticamente sin ninguna duda y pueden haberse adquirido por selección en el pasado, quizá bajo condiciones distintas a las actuales (Blanquet 1979).

2.6 CONCLUSIONES

Los arenales de origen volcánico Llano de Pario y Mesa de Cutzato muestran características ambientales adversas para el establecimiento de las plantas complicando la restauración de la vegetación nativa. Las principales limitantes son las temperaturas extremas con picos máximos en verano, debido al color oscuro de la ceniza volcánica y por otro lado, las heladas que se presentan en otoño e invierno, que reducen notablemente la sobrevivencia de las plantas. En el sitio El Tepamal, las condiciones se mostraron menos adversas.

La riqueza de especies registrada en los sitios de estudio (en las parcelas de experimentación), muestra la dificultad de establecimiento en los sitios Llano de Pario con siete especies distribuidas en siete géneros y cinco familias, Mesa de Cutzato con ocho especies en ocho géneros y cinco familias, mientras que el sitio El Tepamal está representado por dieciocho especies en catorce géneros y ocho familias; el número de especies presentes en este sitio, es más del doble que las especies registradas en los arenales de origen volcánico. Las especies registradas resultan de gran interés, ya que el listado funcionará como base en comparaciones futuras para saber si nuevas especies logran colonizar el sitio después de haber implementado las técnicas de restauración aquí descritas.

En los tres sitios de estudio, el porcentaje de arena es mayor en relación al porcentaje de limo y de arcilla, encontrándose presente en mayor proporción en los sitios con mayor nivel de perturbación, siendo los arenales de origen volcánico Llano de Pario y Mesa de Cutzato. Con respecto a las concentraciones aprovechables de Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y Calcio (Ca), el suelo de los diferentes sitios es clasificado como muy pobre. En cuanto al porcentaje de materia orgánica es claro el efecto de perturbación ya que el sitio El Tepamal presenta un porcentaje ampliamente mayor que en los arenales de origen volcánico, que presentan porcentajes muy parecidos entre ellos, aún cuando se puede observar que el sitio Mesa de Cutzato es el más bajo en porcentaje de materia orgánica de los tres sitios. Con los datos obtenidos podrán realizarse comparaciones futuras para saber si las condiciones del suelo mejoraron al implementar las técnicas de restauración. En base a estos datos, es posible

relacionar la dificultad de la sobrevivencia y establecimiento al que se enfrentan las plantas debido a la escasez de nutrientes, además del esfuerzo que implica restaurar sitios de menor a mayor grado de perturbación.

Lupinus elegans H.B.K es una planta arbustiva que durante el primer año ha presentado un buen desempeño, tanto en la sobrevivencia como en el desarrollo de las plantas. El desarrollo del dosel de leguminosas, amortigua de manera favorable las temperaturas extremas, creando microambientes que pueden favorecer el establecimiento de otras especies nativas, además de que está produciendo hojarasca, y fijando nitrógeno al suelo. Con esta especie se refleja el esfuerzo que se requiere según el gradiente de degradación existente en los sitios de estudio; a mayor nivel de degradación, mayor esfuerzo, implicando así un menor esfuerzo el sitio de El Tepamal, un esfuerzo intermedio en Llano de Pario y un esfuerzo mayor en Mesa de Cutzato.

Considerando el desarrollo de las plantas *Lupinus elegans* H.B.K., en el sitio El Tepamal, el dato de la altura es importante ya que la pendiente y la orientación no tienen efecto importante en la altura de las plantas, aunque existe una tendencia, las plantas que se encuentran en pendientes más pronunciadas, crecen menos, las expuestas a la orientación Este Sureste (ESE) son las de menor altura en promedio, mientras que en la sobrevivencia si se encontraron diferencias estadísticamente significativas, observándose una tendencia de mayor sobrevivencia, de nuevo, en parcelas con pendientes con menor grado de inclinación y con orientación SSE (Sur Sureste) y ENE (Este Noreste). En base a los resultados obtenidos, *L. elegans* es una especie con potencial para restauración ecológica, puede sobrevivir aún cuando las condiciones ambientales de un sitio se muestren adversas, dificultando el establecimiento de las plantas. Tiene la capacidad de establecerse en suelos empobrecidos, sin importar el grado de inclinación de la pendiente o la orientación.

Las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. presentaron un desempeño mejor en el sitio Llano de Pario, aunque no se creó banco de semillas durante el primer año, debido a que faltaron unos cuantos días para que los frutos produjeran semillas. Las condiciones adversas y el efecto combinado de factores (temperatura, humedad, erosión vientos, etc.) puede ser

determinante para impedir el establecimiento de las plantas, así se observa con los datos de temperatura registrados en los sitios, en donde se presentan las temperaturas más extremas, el establecimiento se dificulta notablemente. En los sitios restantes, no hubo sobrevivencia de *C. pumila*, muy probablemente a que se encuentra en los límites del rango de distribución altitudinal.

Las plantas de *Trifolium repens* L. mostraron mayor sobrevivencia en Llano de Pario. Las alturas de las plantas de *L. elegans*, muestran el mismo patrón que la sobrevivencia, a mayor nivel de perturbación, menor altura de las plantas. En general, los porcentajes de sobrevivencia son bajos en relación con la densidad de semillas, proporción que fue prevista en un principio al aumentar un porcentaje a cada especie como se mencionó anteriormente.

Los datos de temperatura registrados en suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas, muestran, que la clave para la creación de microclimas y amortiguar las condiciones adversas, está en el desarrollo del dosel de plantas del sotobosque, misma que favorece el establecimiento de otras especies nativas herbáceas y arbóreas.

2.7 LITERATURA CITADA

- Aide, T. M. and J. K. Zimmerman. 2000. Forest regeneration in a chronosequence of tropical abandoned pastures : Implications for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 8(4): 328-330.
- Antos, J. A. and C. B. Zobel. 1986. Seedling establishment in forests affected by *Thepbra* from Mount St. Helens. *American Journal of Botany* 73: 495-499.
- Ashton, P.M.S., S. J.,Samarasinghe, and C.V.S. Gunatilleke, 1997. Role of legumes in Release of sucesionally arrested grasslands in the central hills of Sri Lanka. *Restoration Ecology* 5: 36-43.
- Aureoles-Celso, E. 2004. Estudios de nodulación en *Lupinus elegans* (Fabaceae) una especie con potencial para ser utilizada en proyectos de restauración ecológica en la Meseta Purépecha. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 44 pp.
- Becker, M. and D. E. Johnson. 1998. Legumes as dry season fallow in upland rice-based systems of West Africa. *Biology and Fertility of Soils* 27 (4): 258.
- Blanco-García, A. and Lindig-Cisneros R. 2005. Incorporating restoration in sustainable forestry management: Using pine bark mulch to improve native-species establishment on tephra deposits *Restoration Ecology*. En prensa.
- Blanquet, J. B. 1979. Fitosociología, bases para el estudio de las comunidades vegetales. Edit. H. Blume Ediciones Rosario. España. 820 pp.
- Braatne, J. H. and L. C. Bilss. 1999. Comparative physiological ecology of *Lupinus* colonizing early sucesional habitats on Mount St. Helens. *Ecology* 80: 891-907.
- Bradshaw, A. D. 1984. Land restoration: now and in the future. Department of Botany. University of Liverpool. B 223: 1-18.
- Comin, F. A. and J. A. Romero. 2001. Restoration of wetlands from abandoned rice fields for nutrient renoual, and biological community and landscape diversity. *Restoration Ecology* 9(2): 201-203.
- De la Torre, Y. 1971. Volcanes de México. 2° edición. Editorial Aguilar. México. 312 pp.

- Delgado, P. 1992. Aspectos Biológicos de conos y semillas de tres especies de pinos, en la zona boscosa de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán México. Tesis profesional. Escuela de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 71 pp.
- Del Moral, R. 1983. Initial recovery of subalpine vegetation in Mount St. Helens, Washington. *American Midland Naturalist* 109: 72-80.
- Eggler, W. A. 1963. Plant life of Parícutin volcano, México, eight years after activity ceased. *American Midland Naturalist* 69: 38-67.
- Galindo-Vallejo, S. 2004. Estudio de la vegetación nativa asociada a los depósitos de ceniza volcánica en la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 53 pp.
- Giménez de Ascárate Cornide, J., M. E. Escamilla Weinmann y A. Velázquez. 1997. Fitosociología y sucesión en el Volcán Parícutín (Michoacán, México). *Caldasia* 19: 487-505.
- Gómez-Romero, M. 2004. Estudio del establecimiento de *Lupinus elegans* y *Eupatorium glabratum* especies nativas para restauración ecológica de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 89 pp.
- Guevara-Féfer. 1994. Biología de la polinización del trébol *Trifolium repens* L. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. *Biológicas* 2:49-54.
- Hobbs, R. J. and D. A. Norton, 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. *Restoration Ecology* 4:93-110.
- Krebs, Ch. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. 2º edición. Editorial Harla. México. pp. 461- 471.
- Lindig-Cisneros, R., C. Sáenz-Romero, N. Alejandre-Melena, E. Aureoles-Celso, S. Galindo Vallejo, M. Gómez-Romero, R. Martínez-Maldonado, y E. I. Medina - Sánchez. 2002. Efecto de la profundidad de los depósitos de arena volcánica en el establecimiento de vegetación nativa en las inmediaciones del Volcán Parícutin. México. Facultad de Biología. *Ciencia Nicolaita*. 31: 47-52.
- Loumeto, J. J. and C. Huttel. 1997. Understory vegetation in fast-growing tree plantations on savanna soil in Congo. *Forest Ecology and Management* 99: 65-81.
- Marchiol, L. and S. Cesco. 2000. Germination and inicial root growth of tour legumes as affected by landfill biogas atmosphere. *Restoration Ecology*. 8(1): 93-98.

- Margalef, R. 1998. Ecología. Ediciones Omega, S.A. España. pp. 775 – 786.
- Martínez, M. A. 1997. Contribución al conocimiento de plantas vasculares en los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, México. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. pp 8-34.
- Medina, C., F. Guevara, M. A. Martínez, P. Silva, M. A. Chávez e I. García. 2000. Estudio florístico en el área de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo/CIIDIR/IPN. Morelia Michoacán, México. Acta Botánica Mexicana 52: 5-41.
- Medina-Sánchez, E. and R. Lindig-Cisneros. 2005. Effect of scarification and growing media on seed germination of *Lupinus elegans* H.B.K. Seed Sci. & Technol., 33: 237-241.
- Meyer, C. L. and T. D. Susk. 2001. Microclimatic changes induced by ecological restoration of ponderosa pine forests in northern Arizona. Restoration Ecology 9 (4): 449-453.
- Nebel, B. J. y R. T. Wright. 1999. Ciencias Ambientales. 6° edición. Editorial Pearson. Educación Prentice Hill. México. 148 pp.
- Odum, E. P. 1972. Ecología. 3° edición Editorial Iberoamericana. México. pp. 160–162.
- Ortiz, S. G. 1997. Diseño e implementación de un programa de educación ambiental no formal en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán y los lineamientos para realizar programas de educación ambiental en comunidades rurales. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. pp. 20-23.
- Perret, S., R. Michellon, J. Boyer and J. Tassin. 1996. Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Reunion Island (French overseas territory, Indian Ocean). Agriculture Ecosystems & Environment 59: 149-157.
- Pimentel, D. and N. Kounang, 1998. Ecology of soil erosion in ecosystems. Ecosystems 1:416-426.
- Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2° edición. Instituto de Ecología, A.C.- Centro Regional del Bajío Comisión Nacional del Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). México, D.F. 1406 pp.
- Sáenz-Romero, C. y R. Lindig-Cisneros. 2004. Evaluación y propuestas para el programa de reforestación en Michoacán, México. Ciencia Nicolaita. México 37: 107-122.

- Salisbury, F.B. y C.W. Ross. 1994. Fisiología Vegetal. 4° edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 654 pp.
- SEMARNAP. 2002. www.semarnap.gob.mx/gestiones/planes/restauración.htm México.
- Singh, A. and A. K. Jha. 2000. Effect of nutrient enrichment of native tropical trees planted on Singrauli Coalfields, India. *Restoration Ecology* 8(1):80-82.
- Smith, R. L. y T. M. Smith. 2000. Ecología. 4° edición. Editorial Addison Wesley. España. 458 pp.
- Supurr, S. H. y B. V. Barnes. 1982. Ecología Forestal. AG Editor, S.A. México. 615 pp.
- Tyler, G. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Séptima edición. Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México 856 pp.
- Vázquez-Yanes, C., A. I. Batis-Muñoz, M. I. Alcocer Silva, M. Gual Díaz y C. Sánchez-Dirzo. 1999. Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y reforestación. Reporte técnico del proyecto 1084 CONABIO. Instituto de Ecología UNAM. México. 38 pp.
- Velázquez, A., A. Torres y G. Bocco. 2003. Las enseñanzas de San Juan Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. SEMARNAT/INE/SUMA 595 pp.
- Wilson, H. D. 1994. Regeneracion of native forest on Hinewai Reserve, Banks Peninsula. *New Zeland. Journal of Botany* 32: 378-383.
- Wood, D. M. and R. Del Moral. 1988. Colonizing plants of the pumice plains, Mount St. Helens, Washington. *American Journal of Botany* 77: 1411-1418.

Capítulo III. PROFUNDIDAD ÓPTIMA DE SEMBRADO DE *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. (Fabaceae) EN CENIZA VOLCÁNICA.

RESUMEN

Para determinar la profundidad óptima de sembrado para promover la emergencia de plántulas en ceniza volcánica como sustrato, de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort., se diseñó un experimento de laboratorio donde se probaron 17 tratamientos con profundidades de sembrado que van de 0.2 a 8 centímetros; como resultado, la emergencia de plántulas se dio en tres rangos con una relación inversamente proporcional, a mayor profundidad, la emergencia de plántulas es menor, aun cuando la relación no se mantiene en forma lineal, se presentó la máxima emergencia en el primer rango, en las menores profundidades. Los resultados muestran que tanto *L. elegans* como *C. pumila* tienen una probabilidad del 1% de emerger a una profundidad de hasta 7.5 centímetros. Por otro lado, al conocer el rango de máxima emergencia, fue sometido a un experimento de invernadero para conocer con mayor precisión la mejor profundidad de sembrado, por lo que se probaron 8 tratamientos con profundidad de 0.2 a 3.5 centímetros en una caja de madera diseñada para el experimento. Los resultados mostraron que para *L. elegans* una profundidad de 2.5 centímetros es el mejor tratamiento al presentar un 98% de emergencia de plántulas, mientras que para *C. pumila* 2 centímetros fue el mejor tratamiento con un 63% de emergencia de plántulas. En ambos experimentos *L. elegans* presentó un porcentaje de emergencia mayor que *C. pumila*. Un rastrillo con 3 cm de largo fue diseñado en base a los resultados para facilitar la siembra en los sitios a restaurar.

SUMMARY

In order to determine the best depth for field planting of seeds in volcanic ash as substratum, of *Lupinus elegans* H.B.K. and *Crotalaria pumila* Ort., a laboratory experiment was designed where 17 treatments were proven with field depths from 0.2 to 8 centimeters. Seedling emergence was measured. At higher depths, seedling emergence is low, although the relationship is not linear; the maximum emergence was obtained in the smallest depth. The results show that both *L. elegans* and *C. pumila* have a probability of 1% of emerging at a depth of 7.5 centimeters. A greenhouse experiment was carried out to test depth effects on seedling emergence under more natural conditions. Eight treatments were tested from 0.2 to 3.5 centimeters deep in a box designed for the experiment. The results showed that *L. elegans* at a depth of 2.5 centimeters had the best performance with 98% of emergences, while *C. pumila* showed best emergence at 2 centimeters with 63% emergence. In both experiments, *L. elegans* presented a higher emergence percentage than *C. pumila*. A rake with 3 cm of long was designed based on the results to facilitate seed sowing under field conditions.

3.1 INTRODUCCIÓN

De los constituyentes del suelo la arena son las partículas de mayor tamaño, constituyen la fracción gruesa del suelo, exponiendo superficies comparativamente más pequeñas por un peso igual de arcillas (cuadro 1) o limo, por lo que su función por las propiedades físicas y químicas es significativo y sirve como una estructura alrededor de la cual está asociada la parte activa del suelo. La arena puede tener forma redonda o completamente irregular, dependiendo de la erosión a la que haya estado sujeta, una de sus características es que carece de plasticidad, de modo que los grandes poros facilitan el drenaje y movimiento del agua (Buckman y Brady 1991). La composición del suelo afecta la germinación de las semillas las cuales responden a características como humedad, temperatura y nutrientes para iniciar el proceso de la germinación (Baskin y Baskin 1998).

Cuadro No.1. Límite de tamaño de partículas en la clasificación de texturas de acuerdo a Buckman y Brady (1991).

Arena	Diámetro en mm	No. de partículas/gr
Muy gruesa	2-1	90
Gruesa	1-0.5	720
Media	0.5-0.25	570
Fina	0.25-0.10	46 000
Muy fina	0.10-0.005	722 000

En cuestión de propagación, las semillas de muchas especies de plantas, especialmente de plantas silvestres, sólo germinan si se someten a un tratamiento especial bajo condiciones de vivero; esta resistencia a germinar se llama latencia de semillas (Adams 1971). Algunos de los mecanismos que mantienen latentes a las semillas en el suelo, es la latencia exógena, inducida por intensidades inadecuadas de luz (Gómez-Pompa y Vásquez-Yanes 1976, Vásquez-Yanes y Orozco 1984, Acuña 1987). La latencia puede ser el resultado de factores físicos, como la cubierta gruesa de las semillas, que impiden el paso de la humedad u oxígeno, o puede ser, la presencia de sustancias químicas inhibidoras en la cubierta de una semilla; puede resultar, de condiciones no favorables de temperatura, humedad o aireación, la combinación de factores, son los responsables de la latencia en especies diferentes de plantas (Adams 1999, Medina-Sánchez 2003). El conocimiento de las

condiciones óptimas para la germinación de ciertas semillas, puede ser valioso y determinante en la restauración ecológica (Rickert 1971). Por otro lado, la conservación y la restauración ecológica, plantean la necesidad de utilizar especies nativas, profundizar nuestro conocimiento sobre su fisiología, ecología y desarrollo de técnicas que permitan incrementar la supervivencia de las plantas en condiciones adversas (González-Zertuch *et al.* 2000).

El propósito de este estudio, es determinar la profundidad de sembrado más apropiada para promover la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort., por otro lado, es frecuente que las semillas de leguminosas no puedan germinar porque su testa es muy dura e impermeable, por lo que requieren de tratamientos de escarificación (Medina-Sánchez 2003) el establecimiento de las plántulas depende en gran medida de la profundidad a la que emergen, de modo que, semillas que se encuentren muy cerca de la superficie del suelo pueden no enraizar de forma adecuada y semillas con enterramiento profundo pueden no emerger.

La emergencia de las plántulas a partir de las semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. desde una profundidad mayor que la superficial, evitaría que las semillas fueran comidas por aves o algunos otros depredadores en sitios de restauración ecológica; en algunos casos es benéfico que las semillas sean comidas para ser dispersadas, pero en este caso, en particular, es necesario evitar la dispersión para tener mayor control del experimento, además de que las semillas fueron escarificadas previamente al sembrado.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo general

Conocer la profundidad de sembrado que optimice la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. (Fabaceae) en ceniza volcánica como sustrato para desarrollar una técnica de sembrado en arenales de esta naturaleza en el eje neovolcánico transversal.

3.2.2 Objetivos particulares

- Determinar la profundidad óptima de sembrado, que incremente la emergencia en el campo de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort.
- Conocer la profundidad máxima a la que *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. pueden emerger.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

Experimento de profundidad de sembrado

En abril de 2005, se establecieron dos experimentos para conocer la profundidad de sembrado a la que pueden emerger con mayor éxito las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. Los experimentos se realizaron en condiciones de laboratorio y campo (invernadero).

3.3.1 Primer experimento

Etapas de laboratorio

Para conocer la profundidad a la que las semillas de las leguminosas en estudio tienen probabilidad de emerger, se montó un experimento en una cámara de crecimiento con temperatura controlada de 26°C (12 horas al día) y 23°C (12 horas) bajo iluminación.

Las semillas fueron seleccionadas previamente mediante la técnica de flotación, para aumentar el grado de confiabilidad de la información resultante sobre la profundidad de sembrado y no confundirla con el porcentaje de viabilidad (en este método se obtienen porcentajes de germinación arriba del 98%). Posteriormente, las semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. fueron escarificadas con ácido sulfúrico concentrado (98% de pureza) durante 30 minutos (Medina-Sánchez, 2003) y las semillas de *Crotalaria pumila* Ort. durante 20 minutos con el mismo tratamiento. Se utilizaron 30 contenedores desechables, por cada tratamiento con ceniza volcánica como sustrato. Posteriormente se sembraron dos semillas por cada contenedor. Los contenedores de las diferentes profundidades fueron ordenados al azar dentro de la cámara de crecimiento; cada tercer día se adicionó agua suficiente para mantener la humedad. Se realizaron evaluaciones durante cinco semanas. El experimento se llevó a cabo en cuatro partes, dos por especie por la dificultad del espacio en donde se colocaron al azar las réplicas de cada tratamiento. La diferencia de tiempos no afecta debido a que se mantienen las mismas condiciones de temperatura. Las profundidades probadas fueron las siguientes:

Cuadro No. 2.Tratamientos de profundidad para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica como sustrato en laboratorio.

Tratamiento	Profundidad (cm)
1	0.2
2	0.5
3	1.0
4	1.5
5	2.0
6	2.5
7	3.0
8	3.5
9	4.0
10	4.5
11	5.0
12	5.5
13	6.0
14	6.5
15	7.0
16	7.5
17	8.0

Los resultados fueron explorados mediante un análisis binomial para saber si existía diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos. Mediante el comportamiento de los datos, se decidió aplicar un Análisis de varianza de una vía entre los rangos ubicados, adicionalmente se aplicó una prueba de Tukey para encontrar las diferencias entre los grupos.

3.3.2 Segundo experimento

Etapas de Invernadero

Con los resultados obtenidos en el experimento de laboratorio, fue posible conocer el rango de máxima emergencia de las especies en estudio, mismo que fue sometido a un experimento de invernadero para conocer con mayor precisión el mejor método de sembrado a la profundidad que pudiera soportar la emergencia exitosa de plántulas de las leguminosas, para llevarlo a cabo en el campo.

Se construyó un cajón de madera de 1.20 m x 1 m x 0.20 m, con un poste en cada esquina para colocar un techo de malla de sombra y los laterales se cubrieron con tela de gallinero. El cajón fue enterrado 5 cm, los siguientes 15 cm fueron cubiertos con una mezcla de creci-root ® (sustrato rico en nutrientes a base de fibra de coco, corteza de árbol y fertilizante de liberación prolongada) y arena comercial 1:1; 4 cm se cubrieron con ceniza volcánica y 1 cm restante en la parte superior quedó libre (Fig. 1). El área fue dividida en ocho parcelas para probar 8 profundidades diferentes y cada parcela fue subdividida en dos, para que en cada parcela ambas especies compartieran la misma profundidad (Figura 2). Las profundidades probadas fueron las siguientes:

Cuadro No. 3. Tratamientos de profundidad para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica como sustrato en invernadero.

Tratamiento	Profundidad (cm)
1	0.2
2	0.5
3	1.0
4	1.5
5	2.0
6	2.5
7	3.0
8	3.5

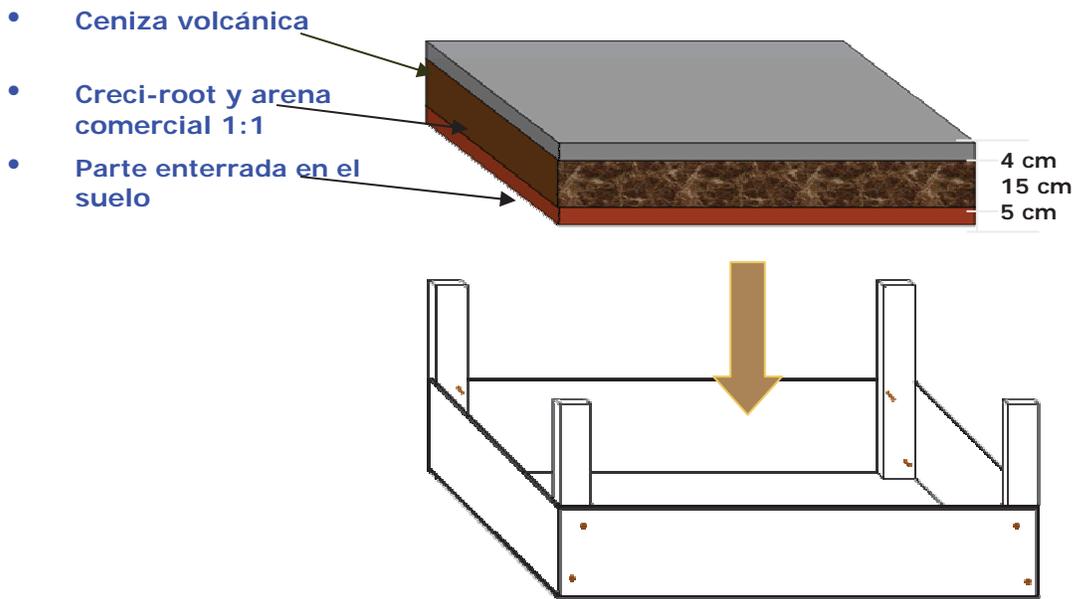
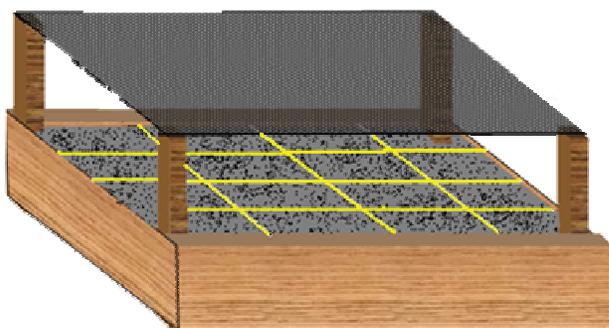


Figura No. 1. Preparación del sustrato para el experimento de profundidad de sembrado de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. (Figura diseñada por Ruy Alvarado Sizzo y Arturo Jiménez Martínez).



0.2 cm L. elegans	0.5 cm L. elegans	1 cm L. elegans	1.5 cm L. elegans
0.2 cm C. pumila	0.5 cm C. pumila	1 cm C. pumila	1.5 cm C. pumila
2 cm L. elegans	2.5 cm L. elegans	3 cm L. elegans	3.5 cm L. elegans
2 cm C. pumila	2.5 cm C. pumila	3 cm C. pumila	3.5 cm C. pumila

Figura No. 2. Diseño de parcelas para 8 tratamientos con 60 réplicas para *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en la caja de emergencia (Figura diseñada por Ruy Alvarado Sizzo y Arturo Jiménez Martínez).

Las semillas fueron escarificadas con el tratamiento descrito anteriormente. En cada parcela fueron sembradas 60 semillas con la ayuda de palillos largos de madera (aproximadamente 1 cm de diámetro), que fueron marcados con las medidas necesarias; los orificios se cubrieron con ceniza volcánica y se humedeció de inmediato para homogenizar el sustrato. Cada tercer día, se regó suficientemente con la ayuda de una pistola de aspersión para evitar que el sustrato fuera modificado. Las evaluaciones se realizaron de manera semanal (6 semanas) registrando las plántulas emergidas hasta no presentar cambios. Los resultados fueron explorados mediante una regresión polinomial de segundo orden y un análisis binomial para obtener mayor consistencia en los resultados. Posteriormente se realizó un Análisis de varianza de una vía y una prueba de Tukey saber si existía diferencia estadísticamente significativa y conocer el agrupamiento de los tratamientos. Adicionalmente, se monitoreó la temperatura del suelo por medio de un registrador de temperatura (Hobo® H01-001-01 Onset Computer Corporation, EUA) el cual tomó lecturas cada hora diariamente. Los programas que se utilizaron para los análisis estadísticos son Excel y S-Plus-2000.

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Etapa de laboratorio

De los resultados obtenidos del experimento de laboratorio, es posible observar que existen tres rangos de emergencia de las plántulas en ceniza volcánica como sustrato en los tratamientos de profundidad probados para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. (Fig. 3) con una relación inversamente proporcional en términos generales ya que, a mayor profundidad, la emergencia de plántulas es menor. Lo interesante es que la relación no se mantiene de forma lineal, lo que confirma que en un primer rango es donde se da la mayor emergencia de plántulas, pero no decrece conforme aumenta la profundidad, por el contrario, puntos intermedios de este rango presentan la mayor emergencia, siendo así, las semillas sembradas a una profundidad mayor a la superficial optimiza la emergencia, pero hay una profundidad a la que las semillas tienen menor probabilidad de poder emerger y consecuentemente dificultad para establecerse ya como plantas.

Los resultados del análisis binomial para *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. muestran un valor de $P(\text{Chi}) < 0.00001$ (Cuadro 4) para cada especie, confirmando que existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos probados; estos a su vez, forman tres grupos (Cuadro 5).

Emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* vs *Crotalaria pumila*

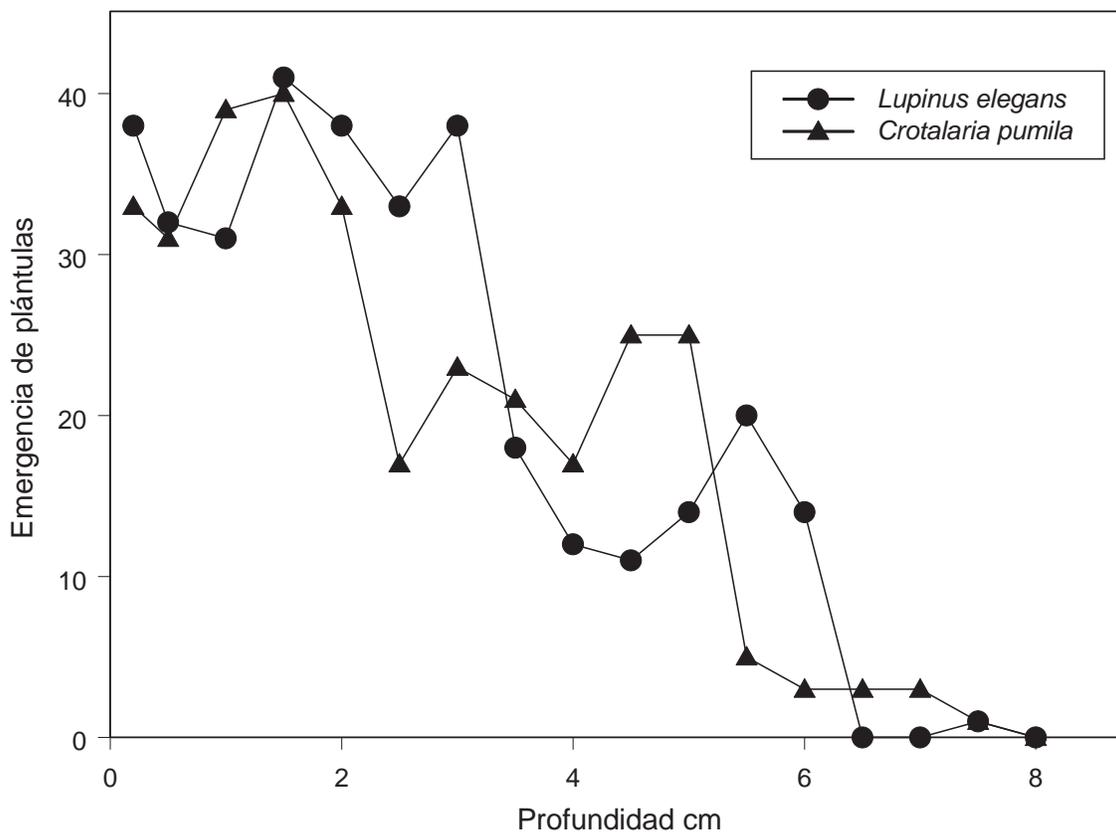


Figura No. 3. Emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. vs *Crotalaria pumila* Ort. en el experimento de laboratorio.

Cuadro No. 4. Análisis de devianza aplicado a la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en el experimento de laboratorio.

	g.l.	Dev. Res.	g.l.	Dev. Res.	Pr(Chi)
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.			1019	1301.24	
	1	247.48	1018	1053.75	< 0.00001
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.			1019	1268.98	
	1	220.04	1018	1048.94	< 0.00001

Cuadro No. 5. Rangos de emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. del experimento de laboratorio.

Rangos	Grupos	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.
1	A	0.2 cm - 3 cm	0.2 cm - 2 cm
2	B	3.5 cm - 6 cm	2.5 cm - 5 cm
3	C	6.5 cm - 8 cm	5.5 cm - 8 cm

Mediante un Análisis de varianza de una vía se confirmó que existe diferencia estadísticamente significativa entre los rangos con un valor de $P < 0.00001$ para *Lupinus elegans* H.B.K. y un valor de $P < 0.00005$ para *Crotalaria pumila* Ort. (Cuadro 6) y con la prueba de Tukey (Cuadro 7), se confirmó la existencia de tres grupos por cada especie, no siendo los mismos rangos para ambas especies.

Cuadro No. 6. Análisis de varianza de una vía aplicado a la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en el experimento de laboratorio.

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	P
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	2	3480.5	1740.250	164.12	< 0.00001
Residuales	14	148.44	10.6		
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	2	2977.42	1488.71	141.17	< 0.00005
Residuales	14	147.63	10.54		

Cuadro No. 7. Intervalos de confianza (95%) simultáneos para las combinaciones lineares de los rangos de la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pomila* Ort. en el experimento de laboratorio mediante la prueba de Tukey (en asterisco, las combinaciones con diferencias significativas).

	Grupos	Combinación rangos	Valor	Error estándar	Límite inferior	Límite superior
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	A	1-2	21.0	1.81	16.30	25.8****
	B	1-3	35.6	2.04	30.30	40.9****
	C	2-3	14.6	2.10	9.08	20.1****
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	A	1-2	13.9	1.97	8.72	19.0****
	B	1-3	32.7	1.97	27.60	37.8****
	C	2-3	18.8	1.87	13.90	23.7****

Por otro lado, los resultados nos muestran que *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. tienen una probabilidad del 1% de emerger a una profundidad de hasta 7.5 cm, para ambas especies, para *Lupinus elegans* H.B.K. una profundidad de 6 cm representa una emergencia del 23 % y *Crotalaria pumila* Ort. un 25 % a una profundidad de 5 cm. Además, el porcentaje aumenta, si la profundidad disminuye sin llegar a superficial. Otro aspecto importante es que a los 8 cm de profundidad, ya no hay emergencia registrada para ninguna de las dos especies, mientras que la mejor para ambas especies se ubicó entre 1 y 3 cm de profundidad.

3.4.2 Etapa de Invernadero

Con los resultados obtenidos en el experimento de laboratorio se identificó un rango de mayor emergencia de plántulas para ambas especies, mismo que fue llevado a un experimento de invernadero para conocer con mayor exactitud el método de sembrado que fuera más eficaz para la emergencia de plántulas de las leguminosas en estudio.

En junio de 2005 se llevó a cabo la última evaluación en la caja de emergencia de plántulas, con el resultado de un mayor porcentaje en general, para plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. que para plántulas de *Crotalaria pumila* Ort. (Cuadro 8).

Cuadro No. 8. Emergencia óptima de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica como sustrato.

Trat.	Profundidad (cm)	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.		<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	
		No. semillas germinadas	Germinación (%)	No. semillas germinadas	Germinación (%)
1	0.2	42	70	11	18
2	0.5	51	85	31	52
3	1.0	55	92	36	60
4	1.5	57	95	36	60
5	2.0	53	88	38	63
6	2.5	59	98	34	57
7	3.0	58	97	35	58
8	3.5	49	81	18	30

A una profundidad de sembrado de 2.5 cm en ceniza volcánica como sustrato, *Lupinus elegans* H.B.K. tiene un porcentaje de emergencia de plántulas del 98 %, al emerger 59 de las 60 semillas sembradas, lo que significa que es la profundidad “óptima” (Fig. 4) para eficientizar la germinación y posteriormente elevar la probabilidad de establecimiento en campo. Para *Crotalaria pumila* Ort. la profundidad “óptima” (Fig. 5) es de 2 cm, con porcentaje de emergencia de plántulas de 63.33 % y le sigue 3 cm de profundidad, con porcentaje de 58.33 %, al emerger 38 de las 60 semillas (Cuadro 8).

Con los resultados obtenidos en la caja de germinación, el análisis estadístico por regresión polinomial de segundo orden, muestra que hay diferencia significativa en la germinación de *Lupinus elegans* H.B.K., con valor de $P = 0.02968$ (Fig. 6) y *Crotalaria pumila* Ort. con valor de $P = 0.01586$ (Fig. 7), con lo cual se confirma que las semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. pueden ser sembradas a una profundidad ya conocida, de manera que puede aumentar significativamente la emergencia de plántulas, sobrevivencia y establecimiento, por tener mayor probabilidad de emerger a la profundidad conocida y por otra parte, porque al estar enterradas estarán más protegidas de las aves y otros posibles depredadores. Las temperaturas registradas en la caja de emergencia de plántulas, no fueron extremas (Cuadro 9), de modo que las semillas no presentaron dificultad para emerger por este sentido y los resultados obtenidos son confiables.

Cuadro No. 9. Datos de temperatura monitoreados durante la etapa de experimentación de invernadero.

Temperatura en °C	
Promedio	18.5
Mínima	9.0
Máxima	37
Moda	17.1

Emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. a diferentes profundidades

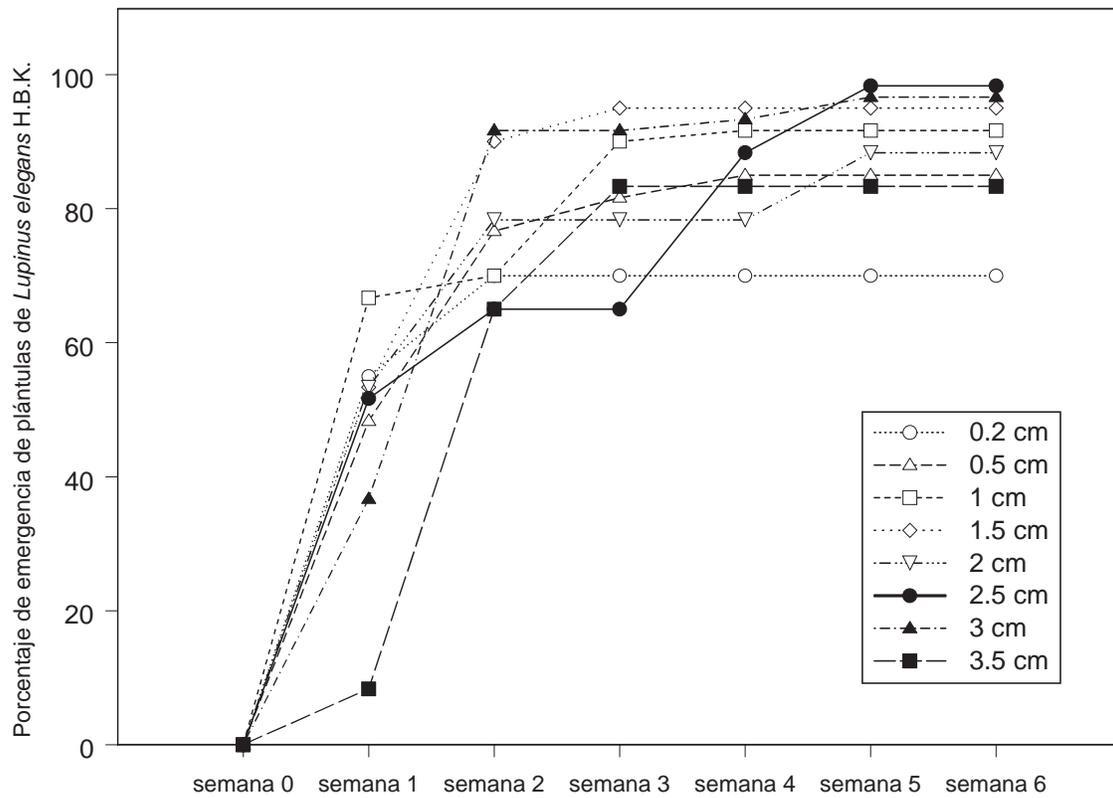


Figura No 4. Comportamiento de la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. en los diferentes tratamientos al paso de seis semanas.

Emergencia de plántulas de *Crotalaria pumila* Ort. a diferentes profundidades

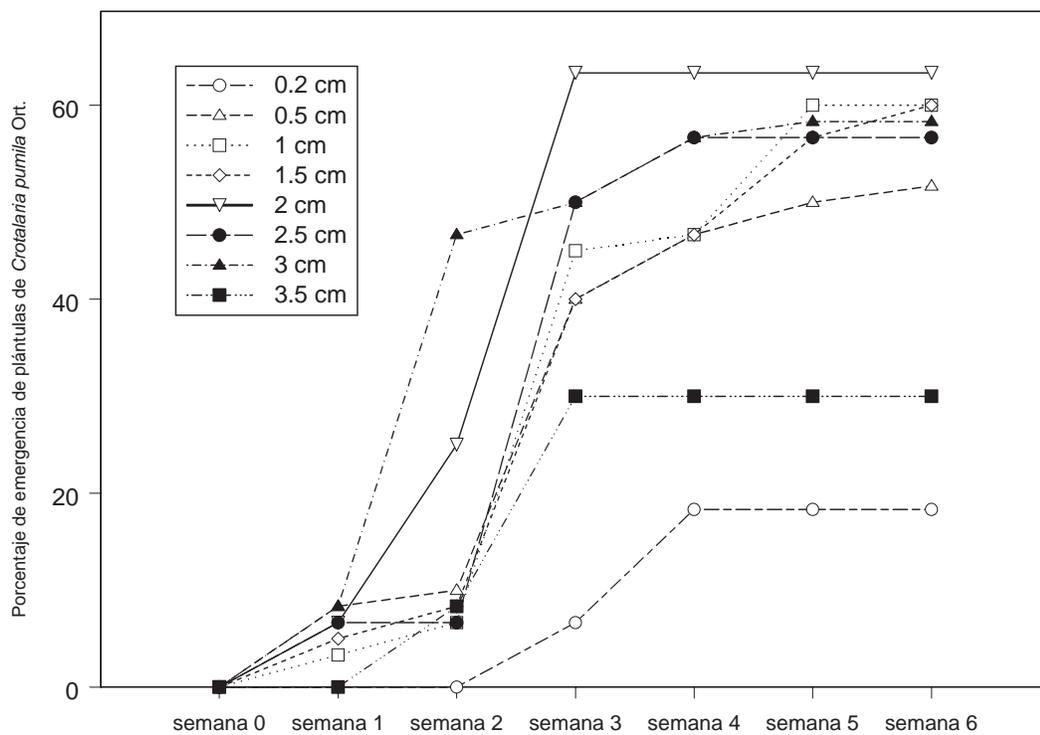


Figura No. 5. Comportamiento de la emergencia de plántulas de *Crotalaria pumila* Ort. en los diferentes tratamientos al paso de seis semanas.

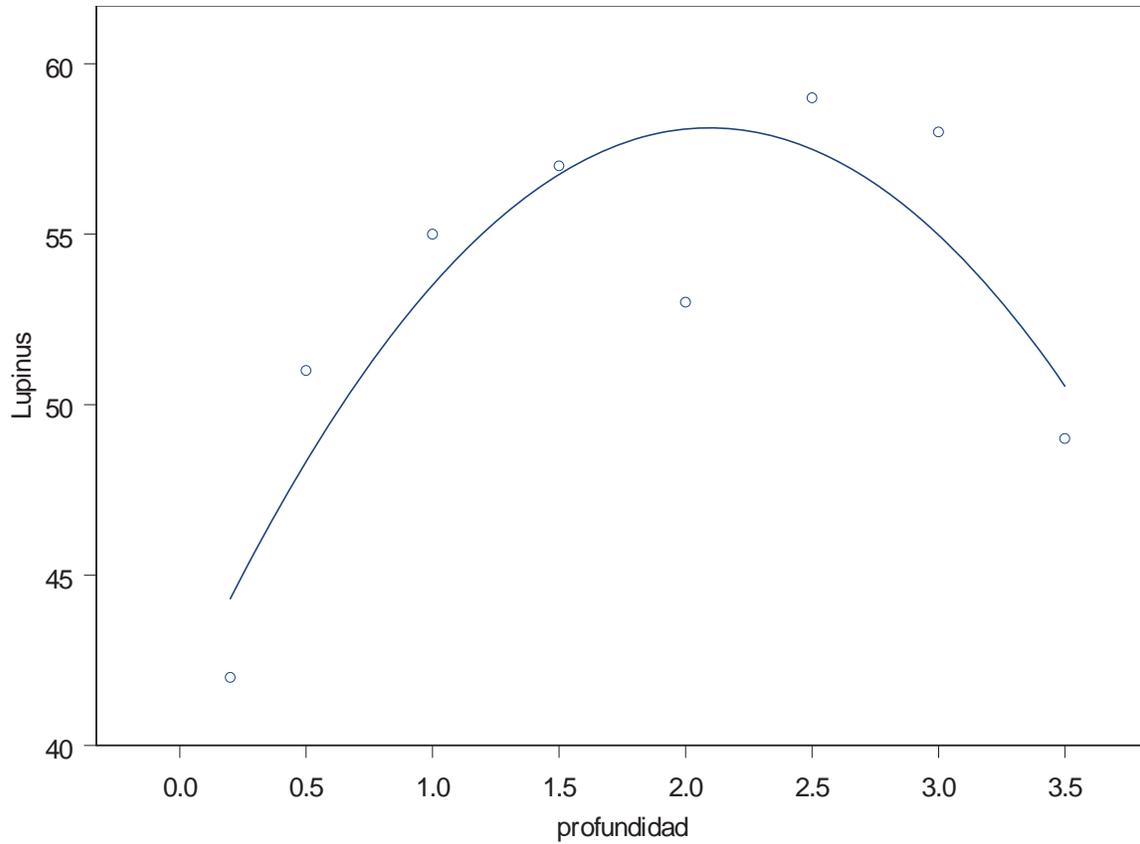


Figura No. 6. Emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. en ceniza volcánica. La gráfica muestra los resultados del análisis de regresión polinomial de segundo orden.

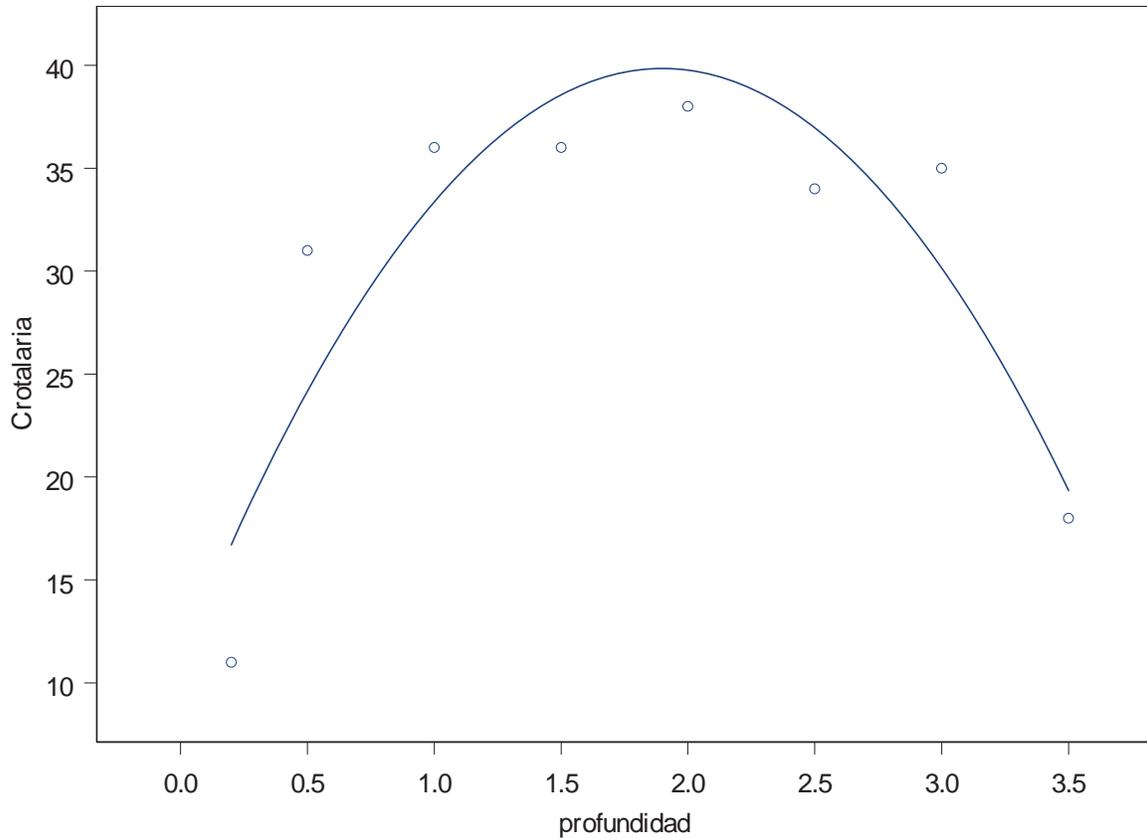


Figura No. 7. Emergencia de plántulas de *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica. La gráfica muestra los resultados del análisis de regresión polinomial de segundo orden.

Se aplicó un análisis binomial (Cuadro 10) para tener una prueba más consistente de la significancia entre los tratamientos, ya que los datos de emergencia para *Crotalaria pumila* Ort. se observan homogéneos, sólo el primer y el último tratamiento están fuera de lugar (Fig. 7). Los resultados del análisis muestran un valor de $P(\text{Chi}) = 0.007$ para *Lupinus elegans* H.B.K. indicando la consistencia de la significancia para esta especie y $P(\text{Chi}) = 0.31$ para *Crotalaria pumila* Ort. no encontrando diferencia estadísticamente significativa con este análisis.

Cuadro No. 10. Análisis de devianza aplicado a la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en el experimento de invernadero.

	g.l	Dev. Res.	gl	Dev. Res.	Pr(Chi)
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.			479	345.82	
	1	17.27	478	338.54	0.007
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.			479	665.42	
	1	11.01	478	664.41	0.31

Tomando en cuenta que un análisis muestra resultados con diferencias estadísticamente significativas, fue posible separar los tratamientos en dos grupos (Cuadro 11) a los cuales, se les aplicó un Análisis de varianza de una vía (Cuadro 12) obteniendo un valor de $P = 0.01$ para ambas especies, mostrando diferencia estadísticamente significativa, lo que confirma la existencia de dos grupos.

Cuadro No. 11. Grupos formados de las profundidades probadas para la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. del experimento de laboratorio.

Grupos	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.
A	0.2 cm, 0.5 cm, 3.5 cm	0.2 cm, 0.5 cm, 3.5 cm
B	1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm, 3 cm	1 cm, 1.5 cm, 2 cm, 2.5 cm, 3 cm

Cuadro No. 12. Análisis de varianza de una vía aplicado a la emergencia de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort en el experimento de campo.

	g.l.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor de F	P
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	1	154.13	154.13	13.62	0.01
Residuales	6	67.86	11.31		
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	1	468.075	468.07	13.07	0.01
Residuales	6	214.8	35.8		

Crotalaria pumila Ort. presenta menor emergencia que *Lupinus elegans* H.B.K. (Fig. 8), de igual forma ocurre en laboratorio e invernadero. Las profundidades que obtuvieron mejores resultados son 2 cm y 2.5 cm. Al sembrar en campo, no se pueden utilizar ambas profundidades a la vez; la ventaja es que son medidas muy cercanas entre sí, por lo tanto fue necesario implementar una técnica adecuada que funcionara para ambas especies.

Curva de emergencia de *Lupinus elegans* vs *Crotalaria pumila*

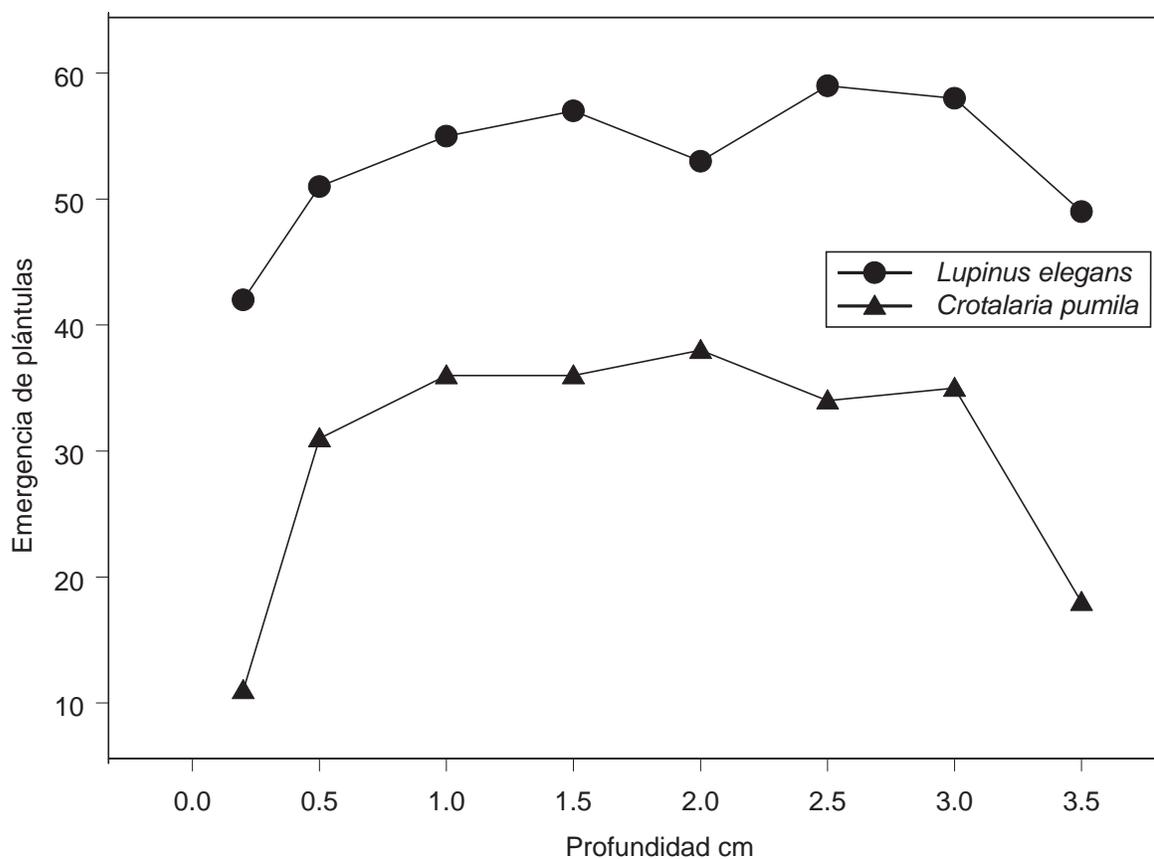


Figura No. 8. Emergencia comparativa de plántulas de *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. en ceniza volcánica.

3.5 DISCUSIÓN

En condiciones de campo el espesor de la capa de ceniza volcánica afecta el establecimiento de plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. como tal vez de muchas otras especies en las inmediaciones del Volcán Parícutin (Gómez-Romero *et al.* 2005) por la distancia que la raíz tiene que atravesar para llegar al suelo original y obtener nutrientes para su sobrevivencia, por otro lado, resulta ser otro factor importante, la capa de ceniza volcánica sobre las semillas, el espesor de esta, puede marcar la diferencia en el éxito de la emergencia de plántulas. Al presentar una mayor emergencia de plántulas a una profundidad considerable de sembrado, es de vital importancia tomar este factor en cuenta para cuestiones de manejo.

Es importante encontrar la forma de maximizar la probabilidad de establecimiento de las plantas, Bassin y Bassin (1998) confirman que las semillas responden a características como humedad, temperatura y nutrientes para iniciar el proceso de germinación, de acuerdo con González-Zertuch y colaboradores (2000), el desarrollo de técnicas que permiten incrementar la sobrevivencia de plántulas en condiciones adversas, es indispensable para avanzar en la restauración ecológica, debido a esto, Ricket (1971) sugiere que el conocimiento de las condiciones óptimas para la germinación de ciertas semillas, puede ser determinante, una cubierta gruesa de las semillas puede impedir el paso de humedad u oxígeno y como consecuencia no emergen (Adams 1999), aún cuando algunas especies de leguminosas presentan altas tasas de germinación y emergencia después de un shock térmico de altas temperaturas que pueden soportar de 60 °C hasta 120 °C (Hanley *et al.* 2003).

En otro sentido, con el sembrado a una profundidad mayor que la superficial, las semillas están más protegidas de la vista de posibles depredadores. Sin embargo, en campo siempre hay factores no controlables como temperaturas extremadamente bajas o controlables hasta cierto grado, como es el caso de la erosión pluvial; donde es posible

hacer zanjas o levantar diques para desviar el cauce, pero cuando la precipitación es muy abundante, resulta imposible controlar ese factor. De modo que es de vital importancia, desarrollar técnicas que puedan amortiguar en lo posible, los efectos adversos que dificultan el establecimiento de las plantas. González-Zetuch y colaboradores (2000) plantean la necesidad de utilizar especies nativas, estudiando previamente su fisiología, ecología y el desarrollo de técnicas que incrementen la supervivencia de las plantas en campo cuando las condiciones desfavorables dificulten su establecimiento.

3.6 CONCLUSIONES

La profundidad óptima de sembrado para incrementar la emergencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. en ceniza volcánica como sustrato es de 2.5 centímetros al haber germinado 98.33% y para *Crotalaria pumila* Ort. de 2 centímetros emerge el 63.33%. Las plantas de *L. elegans* muestran una tasa de emergencia mayor que *C. pumila*.

Los resultados del experimento de laboratorio muestran que existen tres rangos de emergencia de plántulas, para ambas especies. Para *Lupinus elegans* H.B.K., el primer rango va de 0.2 - 3 centímetros, el segundo de 3.5 – 6.0 centímetros, el tercero de 6.5 a 8 centímetros de profundidad. Para *Crotalaria pumila* Ort. el primer rango va de 0.2 – 2 centímetros, el segundo de 2.5 – 5 centímetros y el tercero de 5.5 – 8 centímetros de profundidad. Para *L. elegans* una profundidad de 6 cm o menor, representa una emergencia de más del 20 %, mientras que para *C. pumila* este porcentaje se encuentra a 5 centímetros o menos; 7.5 centímetros de profundidad, es el punto máximo al que las especies en estudio tienen posibilidad de emerger con una probabilidad del 1%, este es un dato importante, ya que en campo gran parte de las semillas quedan enterradas en profundidades considerables por distintas situaciones como erosión, arrastre en terreno irregular, sumergidas en agujeros hechos por tuzas o conejos etc. de modo que las semillas que quedan enterradas a una profundidad de 7.5 centímetros o menos, tienen probabilidad de emerger. A una profundidad de 8 centímetros o más ya no hay emergencia de plántulas, por lo que resulta ser una información útil para resolver cuestiones técnicas al aumentar el porcentaje de emergencia si las semillas son enterradas a una profundidad considerada, evitando ser depredadas.

La temperatura monitoreada durante el experimento de invernadero, registra una temperatura promedio de 18.5° C, una máxima de 37° C y una mínima de 9° C; se registraron altos porcentajes de emergencia, de 42 a 59% para las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. y 18 a 63 % para las plantas de *Crotalaria pumila* Ort., lo que sugiere que ambas especies tienen la capacidad de resistir condiciones más extremas de temperatura.

La herramienta diseñada se utilizó en la resiembra (descrito en el capítulo IV), misma que puede marcar la diferencia en el éxito del establecimiento de las plantas en condiciones adversas. La ventaja de que las semillas puedan emerger desde una profundidad de sembrado mayor a la superficial, es que la temperatura por debajo de unos pocos centímetros de la superficie disminuye, y por consiguiente, es posible aumentar la probabilidad de establecimiento.

3.7 LITERATURA CITADA

- Acuña, P. (1987). Efecto de la luz y de la escarificación en la germinación de semillas de cinco especies de árboles tropicales secundarios. *Rev. Biol. Trop.*, 35(2): 203-207.
- Adams, L. 1971. Ruptura de la latencia de las semillas en problemas de la investigación botánica. Limusa-Wiley. México. 208 pp.
- Baskin, C. and J. M. Baskin. 1998. *Seeds Ecology. Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination* Academic Press San Diego California USA.
- Buckman, H. O. y N. C. Brady. 1991. *Naturaleza y propiedades del suelo*. Editorial UTHEHA, México. 251 pp.
- Gómez-Pompa, A y C. Vásquez-Yanes. 1976. Estudio sobre sucesión secundaria en los trópicos cálido-húmedos: el ciclo de vida de las especies secundarias. pp. 579-593. In: A. Gómez-Pompa, C. Vásquez-Yanes, S. del Amo y Butanda (eds). *Regeneración de selvas*. Editorial Continental. México D. F.
- Gómez-Romero, M. R. Lidig-Cisneros and S. Galindo-Vallejo. (2005). Effect of depth on vegetation development in areas affected by volcanism. *Plant Ecology*. Aceptado.
- González-Zertuch, L., A. Orozco-Segovia y C. Vázquez-Yanes. (2000). El ambiente de las semillas en el suelo, su efecto en la germinación y la sobrevivencia de la plántula. *Biol. Sor. Bot. México* 65: 73-81.
- Hanley, M. E., J. E. Unna and J.B. Darvill. (2003). Seed size and germination response: a relationship for fire following plant species exposed to thermal shock. *Oecologia* 134:18-22.
- Medina-Sánchez, E. I. 2003. Determinación de los requerimientos de germinación de semillas de tres especies de leguminosas del estado de Michoacán, con potencial para restauración. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, México. 40 pp.
- Rickert, B. F. 1971. Efecto de la luz y otros factores de germinación en las semillas en problemas de la investigación botánica. Limusa-Wiley. México. 208 pp.
- Vásquez-Yanes, C. C. y A. Orozco, 1984. Fisiología ecológica de las semillas de árboles de selva tropical. *Ciencia* 35: 191-201.

Capítulo IV. RESIEMBRA Y DESEMPEÑO DE *Lupinus elegans* H.B.K. TRANSPLANTADOS A LOS 3 MESES DE EDAD

RESUMEN

En los sitios El Tepamal, Llano de Pario y Mesa de Cutzato se sembró la combinación de leguminosas *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. durante el primer año de experimentación, al segundo año se realizó la resiembra presentando *L. elegans* y *T. repens* mayor sobrevivencia en El Tepamal, mientras que *C. pumila* mostró mayor sobrevivencia en Llano de Pario. En Mesa de Cutzato las condiciones se mostraron más agrestes. La sobrevivencia no es afectada por la pendiente u orientación. Por otro lado, se transplantaron 32 *L. elegans* de 3 meses de edad en Llano de Pario, el cuarto mes sobrevivía el 43%, descendiendo al quinto mes coincidiendo con la temporada de heladas. Se detectó un umbral a 100 metros de distancia de la orilla del bosque, las plantas que se encuentran a una distancia mayor de 100 metros tienen 55% más de posibilidades de sobrevivir que las que se encuentran a menor distancia; en Mesa de Cutzato fueron 40 plantas, al segundo mes solo 13% sobrevivió, al cuarto mes todas descendieron. Los resultados coinciden con la teoría propuesta por Hobbs y Norton (1996) donde sugieren que los esfuerzos de restauración en los sitios con niveles altos de perturbación se incrementan en la medida en que el nivel de degradación es mayor. *L. elegans* en el sitio con menor nivel de perturbación, sólo se resembró en parcelas cuyo número de plantas fuera menor a 1 x m² mientras que en Llano de Pario se resembró en todas las parcelas y se llevaron plantas de 3 meses de edad y para el caso del sitio Mesa de Cutzato, además de la resiembra se transplantó un número superior, pero no fue suficiente, al aumentar esfuerzos significa una elevación considerable de costos, se sugiere destinar el sitio como atractivo ecoturístico.

SUMMARY

In three sites, El Tepamal, Llano de Pario and Mesa de Cutzato a combination of three legumes (*Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. and *Trifolium repens* L.) was sown during the first year of experimentation. The second year, *L. elegans* and *T. repens* showed highest survival in El Tepamal, while *C. pumila* showed highest survival in Llano de Pario. In Mesa de Cutzato, the conditions for seedling establishment were limiting. During the second year, 32 plants of *L. elegans*, 3 months of age, were transplanted in Llano de Pario, after four months survival was 43%, but all plants died at the fifth month because of frost. At his site a survival threshold was detected at 100 meters from the forest border, the plants at more than 100 had 55% more possibilities of surviving than plants at less than 100 meters. In Mesa de Cutzato, where 40 plants were planted per parcel, after two months only 13% of the plants survived, at the fourth month all have had died. The results are consistent with Hobbs and Norton's model where the restoration efforts increases in a nonlinear fashion as the disturbance increases. *L. elegans* plants showed highest survival in the site with the smallest disturbance level (Llano de Pario), and very poor performance in the most disturbed site (Mesa de Cutzato).

4.1 INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos de restauración en sitios con niveles altos de perturbación se incrementan en la medida en que el nivel de degradación es mayor (Hobs y Norton 1996). La reintroducción de especies para la restauración de un sitio puede representar la recuperación de la función y estructura, cuando el sitio representa un nivel bajo de perturbación; el sembrado de especies de leguminosas juegan un papel importante en este sentido, pero cuando el nivel de perturbación es mayor, un esfuerzo de resiembra puede ser considerado además de acciones conjuntas como el transplante en campo de plantas desarrolladas en invernadero en sus primeras etapas, considerando la edad óptima del transplante.

La edad afecta la interacción entre plantas y factores ambientales, tales como temperaturas extremas, herbivoría, sequía y erosión entre otros, por lo que es importante conocer la edad a la cual la tasa de supervivencia de los individuos plantados se maximiza. Otro aspecto importante que depende en gran parte de la edad, es el tamaño de la planta, mismo que puede afectar de manera determinante, la supervivencia bajo condiciones de restauración (Jobidon *et al.* 1998, Links y Kerr 1999, Blanco-García 2005). Por otra parte, determinar la edad óptima para maximizar la supervivencia de las plantas propagadas en vivero, puede reducir considerablemente los costos de la restauración, al permitir una sobrevivencia mayor de las plantas en el campo y una reducción en los costos de propagación, al mantener las plantas en vivero sólo el tiempo necesario (Mexal *et. al.* 2002, Blanco-García 2005).

La identificación de factores que afecta la supervivencia de *Lupinus elegans* H.B.K. en los arenales de Nuevo San Juan Parangaricutiro, son herbivoría y daño por heladas (Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005), determinado a partir de un estudio realizado durante los años 2002 - 2004, determinando la edad óptima de las plantas propagadas en vivero para su uso en proyectos de restauración, además de conocer la supervivencia de los individuos en función de la edad, para encontrar la manera de minimizar en parte, los efectos de las variables ambientales limitantes. En el experimento se utilizaron plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. de tres edades: mes y medio, 3 meses y 6 meses. Se encontró que los

individuos de 3 y 6 meses mostraron mayor supervivencia significativamente y entre estos dos grupos, prácticamente no había diferencia, por lo que se determinó que la edad óptima de transplante fue a los 3 meses por dos principales razones: en principio, porque reduce los costos de mantenimiento en invernadero, además del esfuerzo de cuidar las plantas sólo la mitad del tiempo y por otro lado, porque las plantas con un menor tamaño (en promedio 38 cm de altura) llegan en mejor estado (menos estrés) al sitio, después de haber sido transportadas, que las plantas de 6 meses (con 62 cm de altura en promedio).

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo general.

Evaluar la sobrevivencia de las leguminosas en los sitios de experimentación.

4.2.1 Objetivos particulares

- Realizar una evaluación de la resiembra de *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. habiendo implementado la técnica de sembrado a la profundidad apropiada.

- Evaluar el desempeño de las platas de *Lupinus elegans* H.B.K. que fueron transplantadas en campo a la edad de 3 meses, en parcelas en las que ya se había sembrado previamente *Lupinus elegans* H.B.K., *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. (capítulo II).

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1 Resiembra en campo (implementando una profundidad óptima de sembrado que incrementa la emergencia de plántulas descrita en el capítulo III).

Con los resultados obtenidos sobre la profundidad óptima de sembrado (como se explica en el capítulo anterior), se realizó la resiembra en campo a principios de junio de 2005, 18 días antes a la fecha del año anterior, debido a que en el año 2004 faltó poco tiempo (aproximadamente 15 días) para que los frutos de las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. maduraran por completo y así pudieran crear banco de semillas. En los sitio con ceniza volcánica presente (Llano de Pario y Mesa de Cutzato) se hicieron surcos en toda la parcela de 3 cm de profundidad con ayuda de un rastrillo con dientes de 3 cm de largo, para llevar a cabo el sembrado de la combinación de leguminosas; una vez sembradas se cubrieron los valles con el mismo sustrato. La resiembra, se realizó en Llano de Pario y Mesa de Cutzato de la misma manera que el año anterior, en El Tepamal. La plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. fueron resembradas sólo en las parcelas que presentaron menos de 60 plantas por parcela, sólo el 40% (8.4 gr) del total de semillas, la proporción se obtuvo tomando en cuenta el porcentaje general de establecimiento en el sitio (aproximadamente el 7%). Las parcelas resembradas fueron la 2, 4, 5 y 12. Para los análisis estadísticos, se utilizó Análisis de varianza de una vía, que permite saber si existe diferencia estadísticamente significativa entre sitios por especie para la sobrevivencia. En el sitio El Tepamal, donde existen pendientes con diferente grado de inclinación y orientación, se realizó un análisis de regresión múltiple, tomando como variable dependiente la sobrevivencia. Los programas utilizados para los análisis estadísticos son Excel y S-Plus 2000.

4.3.2 Transplante a los tres meses de edad

A principios de abril de 2005 se sembró semilla de *Lupinus elegans* H.B.K., escarificada a 30 minutos con ácido sulfúrico concentrado (98% de pureza) (Medina-Sánchez 2003), en contenedores medianos de plástico de (Broadway Plastics de México APB), con volumen de 310 cm³ como los más adecuados para propagar la especie (Alvarado-Sosa

2004); como sustrato se utilizó una mezcla de creci-root® (sustrato comercial a base de fibra de coco, corteza de árbol y fertilizante de liberación prolongada) y arena comercial en proporción 1:1, esto, para facilitar el drenaje y evitar que se acumulara humedad excesiva; en cada tubete se sembraron dos semillas para asegurar la sobrevivencia de al menos una, cuando germinaron las dos, una se transplantó a otro contenedor. Se regó todos los días y al término de tres meses, cuando las plantas tenían una altura promedio de 38 cm que es cuando tienen altas probabilidades de sobrevivir en campo y un fácil manejo para el transporte (Blanco-García 2005) fueron llevadas a campo. El trasplante tuvo lugar en Llano de Pario con 32 plantas (Fig. 1) y Mesa de Cutzato con 40 plantas (Fig. 2), se decidió poner más plantas en este sitio porque las condiciones son más desfavorables y la posibilidad de sobrevivencia y establecimiento es baja; en El Tepamal se observó una buena cobertura del estrato arbustivo, por lo que no fue necesario el trasplante. El análisis estadístico, Análisis de varianza de una vía fue utilizado para encontrar las diferencias entre sitios en cuanto a sobrevivencia. Se utilizó un análisis de supervivencia (S-Plus 2000) para evaluar el desempeño de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantados a los 3 meses de edad. Se utilizó este análisis no paramétrico debido que se monitoreó de manera individual el tiempo de sobrevivencia de cada individuo hasta la ocurrencia del evento muerte; del análisis de supervivencia se usaron las funciones: análisis de riesgos proporcionales y la sobrevivencia, para conocer el tiempo de sobrevivencia de las plantas de *L. elegans* con respecto a la distancia a la orilla del bosque > y < a 100 metros y una regresión para conocer la relación entre distancia y tiempo de sobrevivencia. Para los análisis estadísticos, se utilizaron los programas Excel y S-Plus 2000. Adicionalmente se monitoreó la temperatura de los sitios El Tepamal y Llano de Pario para el caso de la resiembra y solo Llano de Pario para el experimento de trasplante.

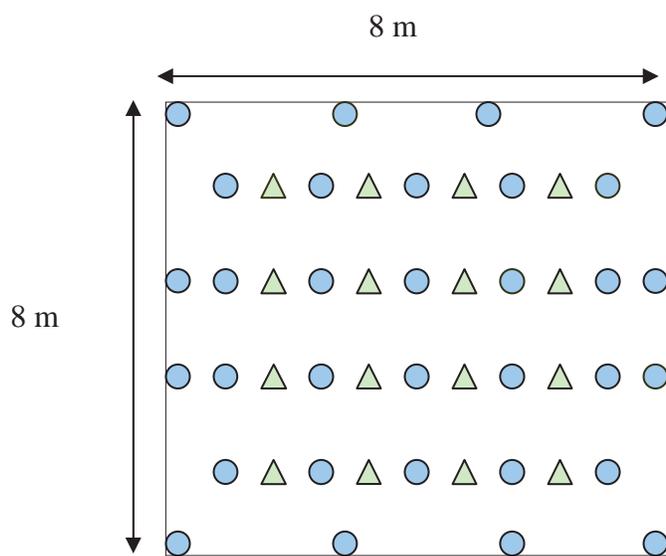


Figura No. 1. Diseño de la distribución del transplante de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantados a los 3 meses de edad en Llano de Pario.

● Plantas de *Lupinus elegans* H.B.K.

▲ Plantas de pinos

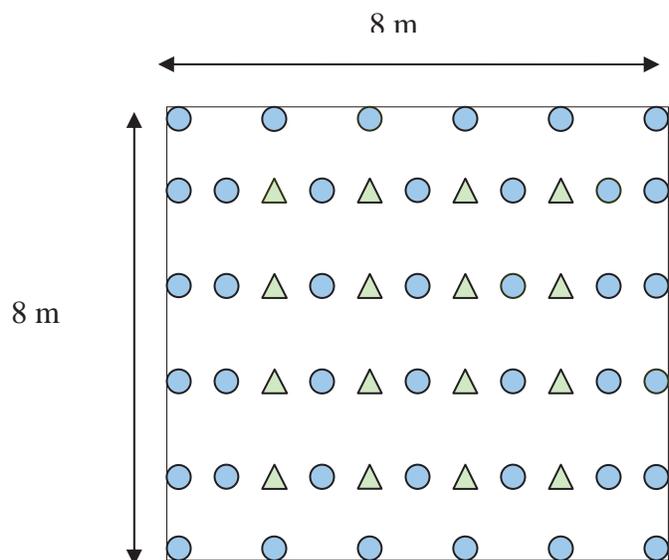


Figura No. 2. Diseño de la distribución del transplante de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantados a los 3 meses de edad en Mesa de Cutzato.

● Plantas de *Lupinus elegans* H.B.K.

▲ Plantas de pinos.

4.4 RESULTADOS

4.4.1 Resiembra

4.4.1.1 Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales en Llano de Pario son más extremas en relación a El Tepamal como lo indican claramente las diferencias de temperatura del aire (cuadro 1 y Fig. 3). En El Tepamal, la temperatura bajo el dosel de leguminosas se mantiene notablemente más estable que en el suelo desnudo y la temperatura del aire (cuadro2 y Fig. 4).

Cuadro No. 1. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Pario.

Temperatura del aire en °C en Llano de Pario			
fecha	promedio	mínima	máxima
Junio 2005	15.6	3.7	30.3
Julio	13.8	4.9	25.6
Agosto	13.5	5.8	25.6

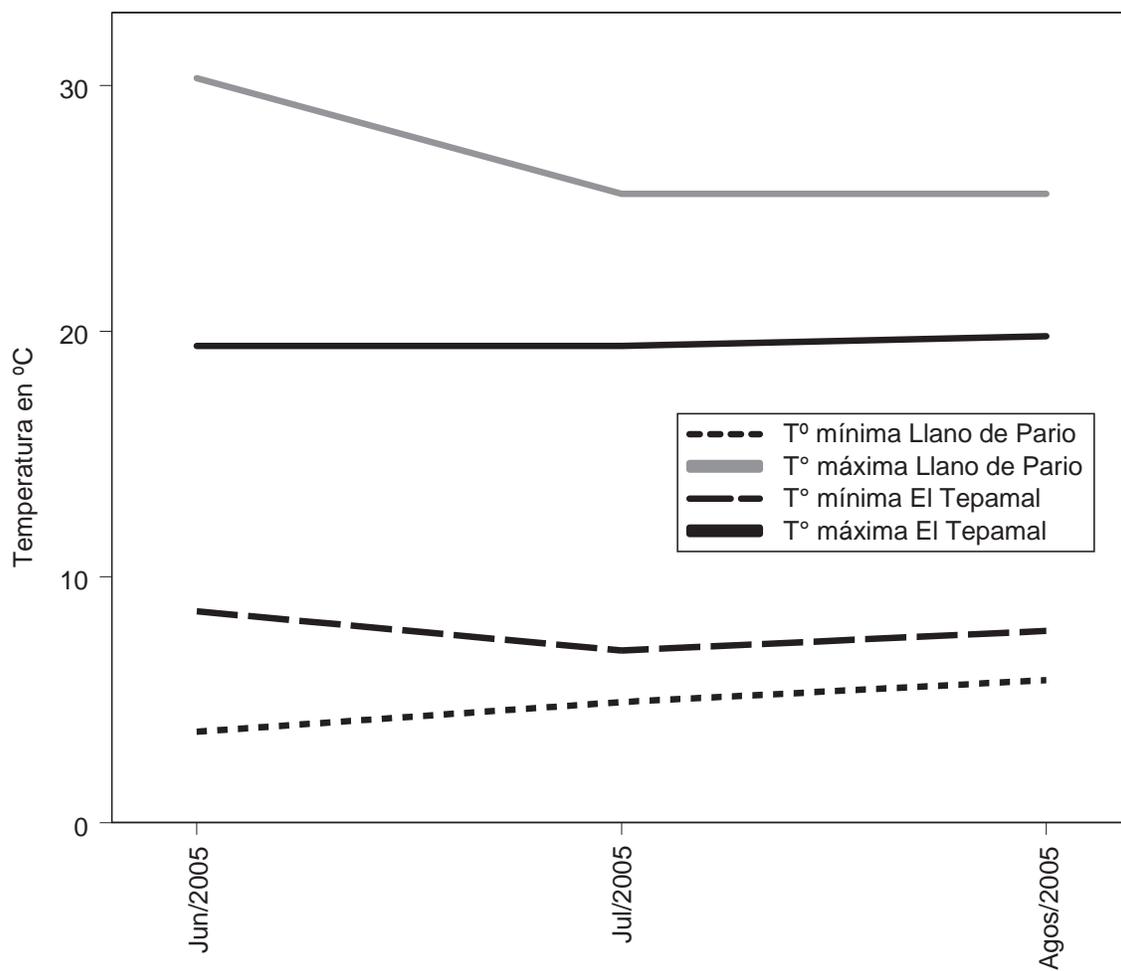


Figura No. 3. Comparación de temperaturas (mínima y máxima) del aire en Llano de Parí y El Tepamal. Nótese que tanto las temperatura mínimas como las máximas, Llano de Parí se encuentra en los extremos.

Cuadro No. 2. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire, suelo desnudo y bajo el dosel de leguminosas en El Tepamal.

Temperatura en °C en El Tepamal									
fecha	AIRE			SUELO			BAJO DOSEL DE LEGUMINOSAS		
	promedio	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima	promedio	mínima	máxima
Junio 2005	14.7	8.6	19.4	19.4	7.8	41.5	15.6	10.2	22.4
Julio	11.9	7	19.4	15.9	10.6	27.5	14.4	11.3	19.8
Agosto	11.5	7.8	19.8	15.4	9.8	25.2	13.9	4.5	19.8

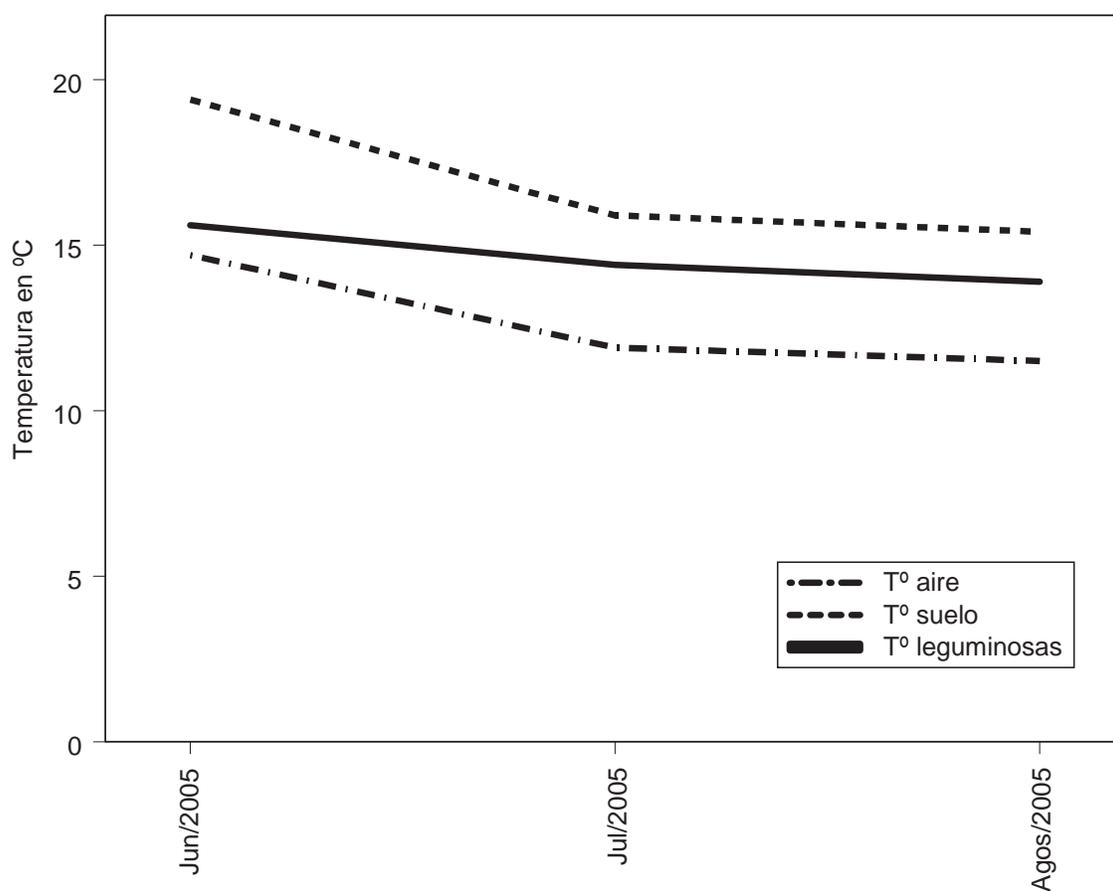


Figura No. 4. Temperatura (promedio) del aire, suelo y bajo dosel de leguminosas en El Tepamal. Nótese que la temperatura bajo el dosel de leguminosas es más homogénea.

4.4.1.2. Resiembra. Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L.

El análisis estadístico por medio de un Análisis de varianza de una vía, nos muestra que hay diferencia estadísticamente significativa entre sitios, con un valor de $P = 0.014$ (cuadro 3) para las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. debido a que en Llano de Pario es donde muestra un mejor desempeño (cuadros 4 y 5) y un valor de $P < 0.001$ para *Trifolium repens* L mostrando un mayor porcentaje en El Tepamal. Para el caso de *Lupinus elegans* H.B.K. no existe diferencia estadísticamente significativa en la evaluación, aunque desde un principio se pensó que la sobrevivencia para las plantas en Mesa de Cutzato sería menor como consecuencia de daños por herbivoría (Blanco-García 2005). Por otro lado, el efecto de la orientación y la pendiente no muestran diferencia estadísticamente significativa para el establecimiento de las plantas en estudio.

Cuadro No. 3. Análisis de varianza de una vía por especie de la resiembra en los tres diferentes sitios en la agosto de 2005.

Especie	Valor de P
<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	0.24
<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	0.014
<i>Trifolium repens</i> L.	0.0001

Cuadro No. 4. Promedio de plantas vivas de *Lupinus elegans* H.B.K. *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. por sitio en agosto de 2005.

sitio	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K.	<i>Crotalaria pumila</i> Ort.	<i>Trifolium repens</i> L.
El Tepamal	66.58	1.25	14380
Llano de Pario	65.66	20.95	661
Mesa de Cutzato	20.0	1.5	2374

Cuadro No. 5. Porcentaje de plantas vivas de la resiembra de *Lupinus elegans* H.B.K. *Crotalaria pumila* Ort. y *Trifolium repens* L. en agosto de 2005.

Porcentaje de plantas vivas de la resiembra			
sitio	<i>Lupinus elegans</i> H.B.K. %	<i>Crotalaria pumila</i> Ort. %	<i>Trifolium repens</i> L. %
El Tepamal	7.09	0.04	15.29
Llano de Pario	6.98	0.66	0.7
Mesa de Cutzato	4.3	0.04	2.53

En cuanto a la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y la pendiente, se aplicó un análisis de regresión múltiple no encontrando diferencias estadísticamente significativas con un valor de $F_{(3,8)} = 0.8455$, $R^2 = 0.2407$ $P = 0.5066$ (cuadro 6 y Fig. 5). Se observa una tendencia de mayor sobrevivencia en parcelas con pendientes con menor grado de inclinación y con orientación SSE (Sur Sureste) y SSO (Sur Suroeste).

Cuadro No. 6. Resultado del análisis de regresión múltiple aplicado a la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y pendiente en El Tepamal al cumplir un año de edad. $F_{(3,8)} = 0.8455$, $R^2 = 0.2407$ $P = 0.5066$.

	Valor	Error estándar	Valor de "t"	P
Intercepto	-18.73	56.77	-0.33	0.7500
pendiente	7.16	4.97	1.50	0.1720
orientación	62.49	40.17	1.56	0.1584
pendiente: orientación	5.27	3.32	-1.59	0.1511

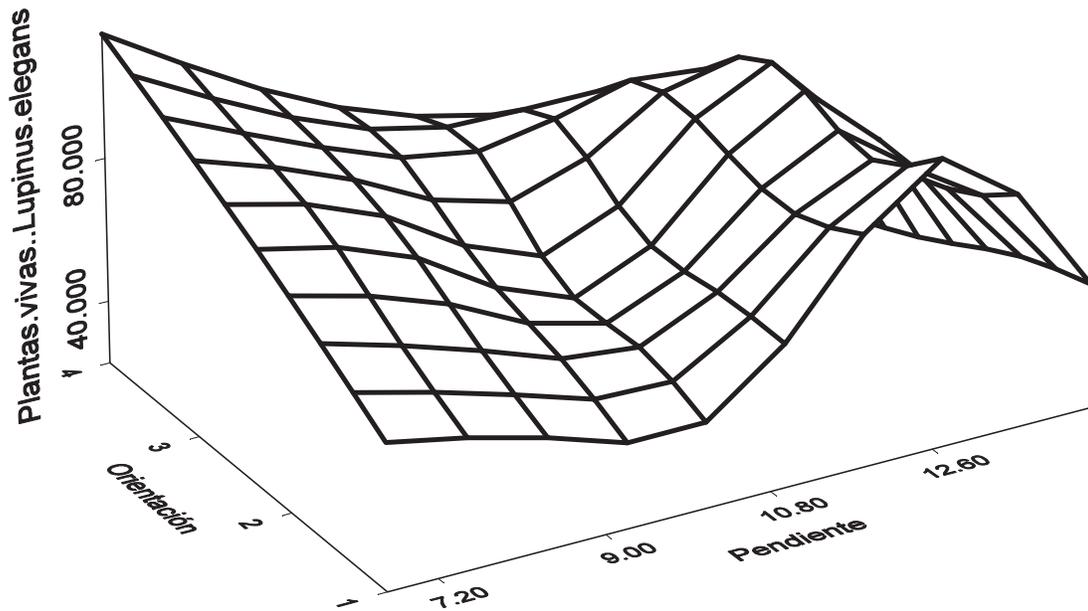


Figura No. 5. Sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación (1 = SSO, 2 = ESE, 3 = SSE y 4 = ENE) y pendiente al término de la primera evaluación del segundo año (14 meses) en el sitio El Tepamal.

4.4.2 *Lupinus elegans* H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad en Llano de Pario.

4.4.2.1 Condiciones ambientales

Como ya se mencionó, las condiciones ambientales en Llano de Pario son extremas como lo indican claramente las variaciones de temperatura del aire (cuadro 7 y Fig. 6). Con respecto a la variación de temperatura destaca el periodo de helada en el mes de noviembre con temperaturas de -5.8 °C.

Cuadro No. 7. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Pario.

fecha	Temperatura del aire en °C en Llano de Pario		
	promedio	mínima	máxima
Julio 2005	13.8	4.9	25.6
Agosto	13.5	5.8	25.6
Septiembre	13.5	4.5	25.6
Octubre	12.3	1.1	25.6
Noviembre	9.6	-5.8	21.7
Diciembre	8.1	-3.3	21.7
Enero 2006	7.2	-5.3	20.5

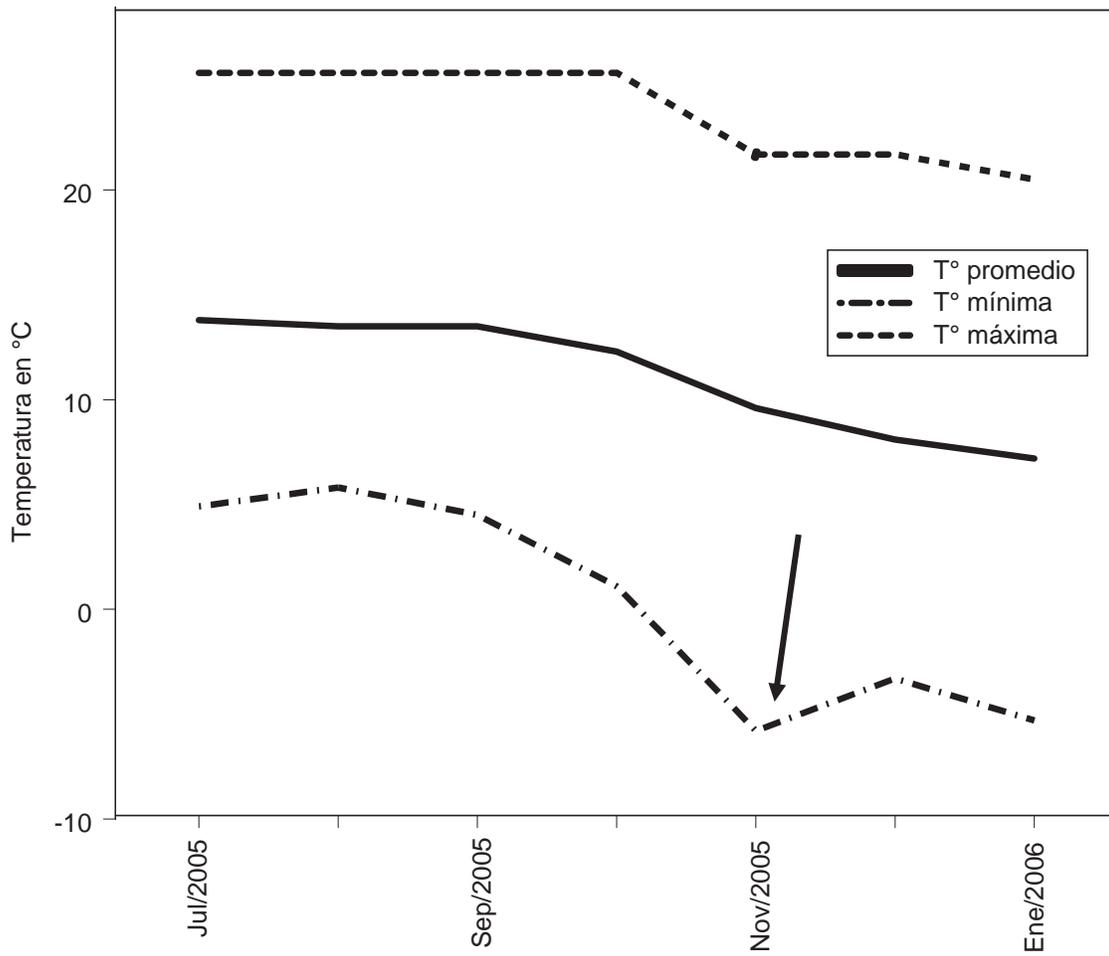


Figura No. 6. Temperaturas (promedio, mínima y máxima) del aire en Llano de Parí. Nótese en la temperatura mínima que la primera helada se registró en el mes de noviembre. La flecha indica la temporada de heladas.

4.4.2.2 Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad en Llano de Pario y Mesa de Cutzato.

A cuatro meses de haber sido transplantedos *Lupinus elegans* H.B.K de 3 meses de edad, se observa una sobrevivencia alta en la mayoría de las parcelas en Llano de Pario, aunque es variable, va desde 3 % a 66 %, con un promedio de 43 % (cuadro 8) de plantas vivas por parcela. Es importante notar que gráficamente se observa mayor número de plantas vivas en las parcelas de la 7 a la 12, lo que corresponde a las parcelas que se encuentran más alejadas de la orilla del bosque (Fig. 7). Por otro lado, la mayor mortalidad se presentó en el mes de noviembre, coincidiendo con la máxima helada registrada (Fig. 6). En contraste, las plantas de Mesa de Cutzato, son pocas las sobrevivientes (cuadro 9 y Fig. 8) solo con 13% de plantas sobrevivientes apenas a los dos meses del transplante y solo una planta viva al tercer mes.

Cuadro No. 8. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad en el sitio Llano de Pario.

Porcentaje de sobrevivencia de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K							
parcela	Distancia bosque en m	Agos/04	Sep/04	Oct/04	Nov/04	Dic/04	Ene/05
1	96.2	88	66	56	56	0	0
2	81.5	38	16	9	9	0	0
3	85.8	84	63	47	47	0	0
4	77.3	9	3	3	3	0	0
5	76	91	66	41	38	0	0
6	61.2	14	13	9	9	0	0
7	120.2	94	66	44	38	0	0
8	124	97	81	66	66	0	0
9	148	78	63	53	47	0	0
10	126	93	88	81	81	3	3
11	115.7	75	66	63	63	0	0
12	110	88	66	60	60	0	0
Promedio	101.825	70.75	54.75	44.33	43	0.25	0.25

Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantados a los 3 meses de edad

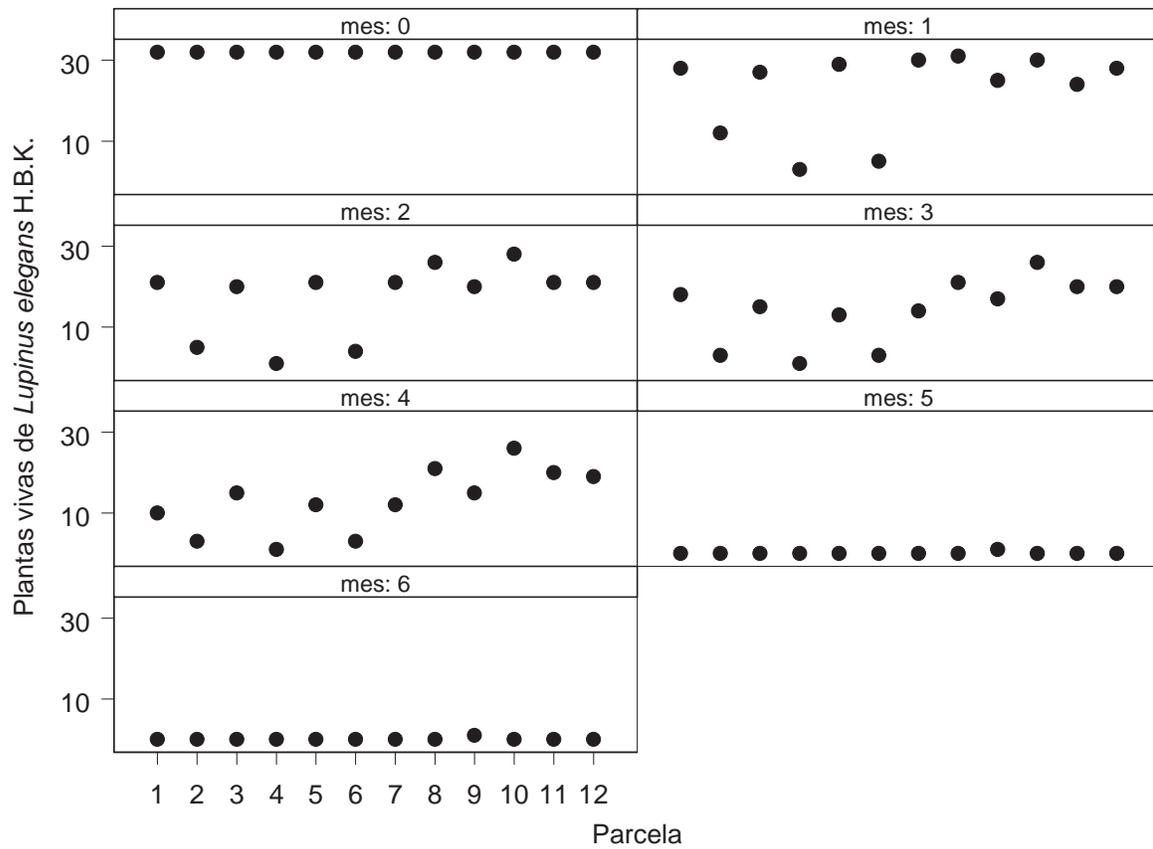


Figura No. 7. Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantados a los 3 meses de edad, evaluación mensual hasta 6 meses en el sitio Llano de Pario.

Cuadro No. 9. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad en el sitio Mesa de Cutzato.

Porcentaje de sobrevivencia de <i>Lupinus elegans</i> H.B.K				
parcela	Agos/04	Sep/04	Oct/04	Nov/04
1	28	8	1	0
2	40	18	0	0
Promedio	48	13	0.5	0

Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. transplantado a los 3 meses de edad

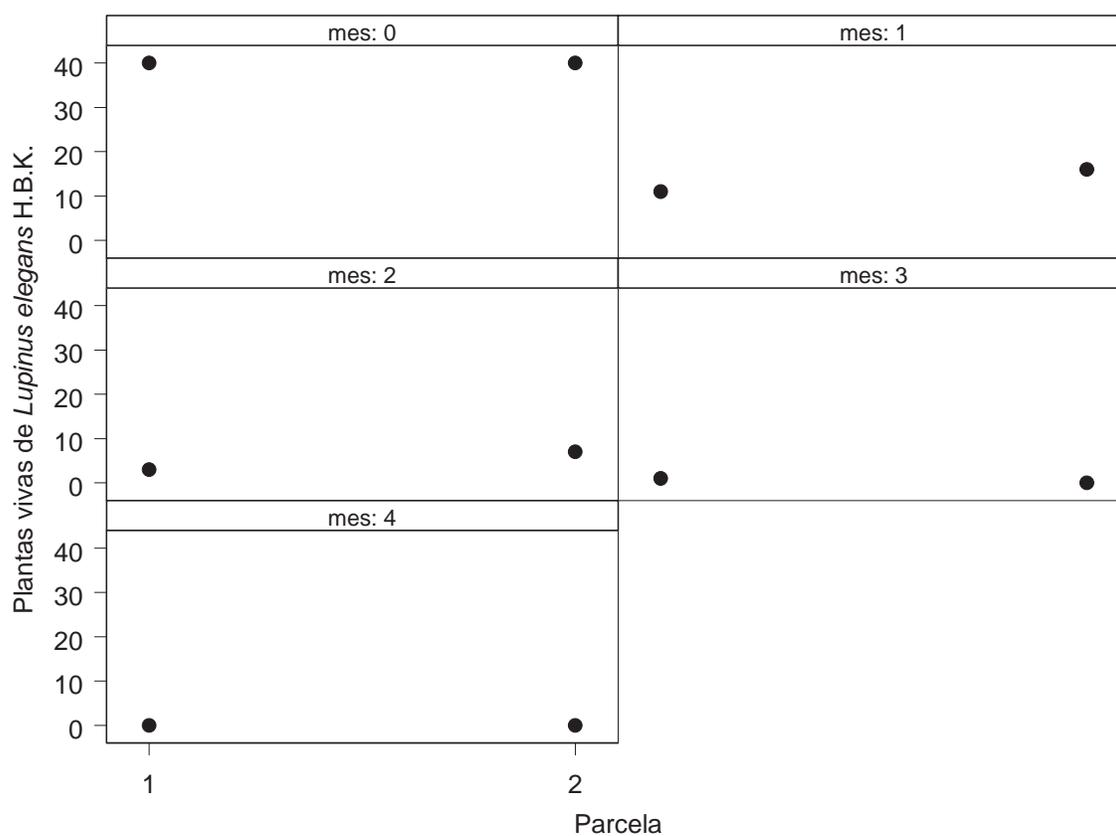


Figura No. 8. Desempeño de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad, evaluación mensual hasta 6 meses en el sitio Mesa de Cutzato.

El análisis de supervivencia mostró diferencias estadísticamente significativas en el número de individuos vivos por unidad de tiempo que se encontraban a una distancia menor o mayor de 100 metros de la orilla del bosque ($P < 0.001$) (Fig. 9).

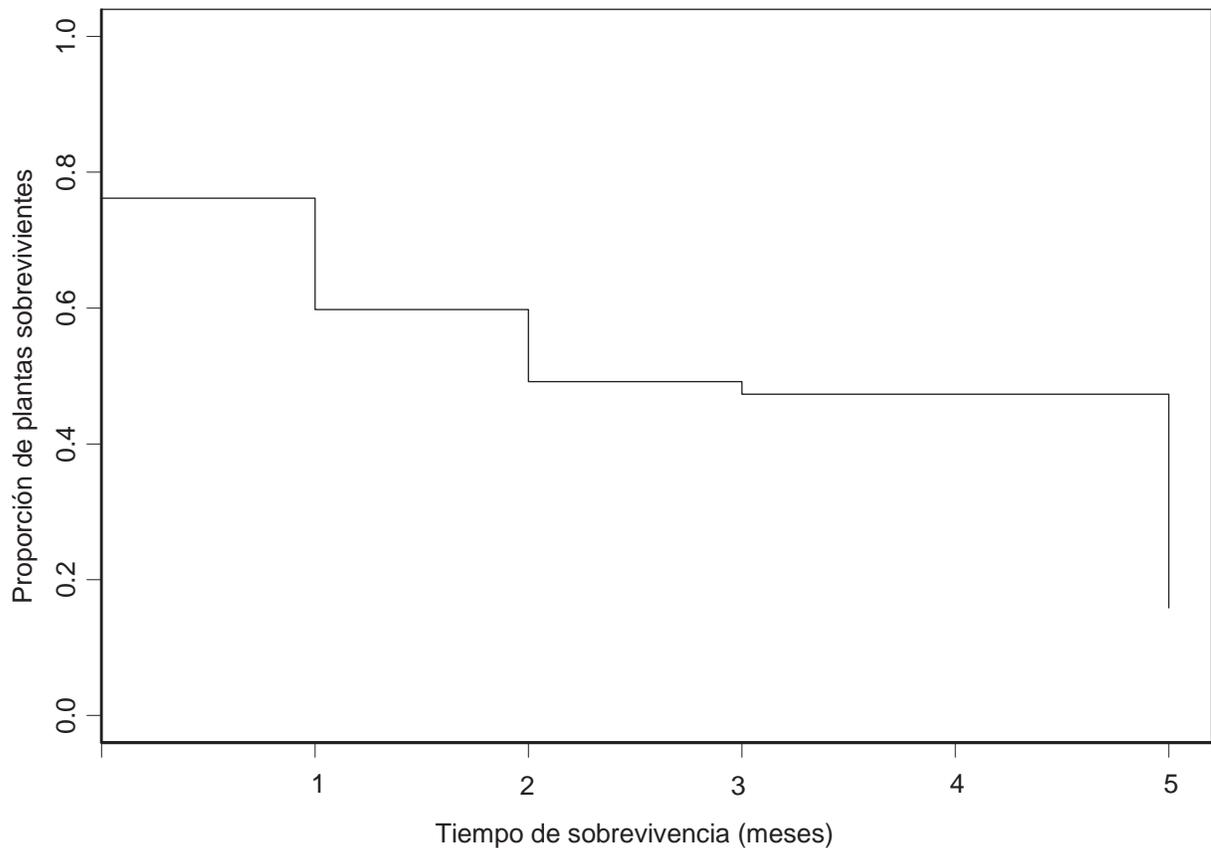


Figura No. 9. Curva de supervivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantedos a los 3 meses de edad, evaluación mensual en el sitio Mesa de Cutzato.

El análisis de riesgos proporcionales muestra que existe un umbral de distancia de 100 metros, ya que las plantas que se encuentran dentro de las parcelas con distancias mayores de dicha distancia a la orilla del bosque tienen un 55% de posibilidad de poder sobrevivir con respecto a las plantas que se encuentran a una distancia menor (cuadro 10). El efecto de la distancia para la supervivencia de los individuos, se muestra en la figura 10.

Cuadro No. 10. Análisis de riesgos proporcionales de la sobrevivencia de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad, en función de un umbral de distancia a la orilla del bosque de 100 metros.

	coef	exp coef	se (chef)	z	p
Umbral 100 m	-0.589	0.555	0.103	-5.71	< 0.0001

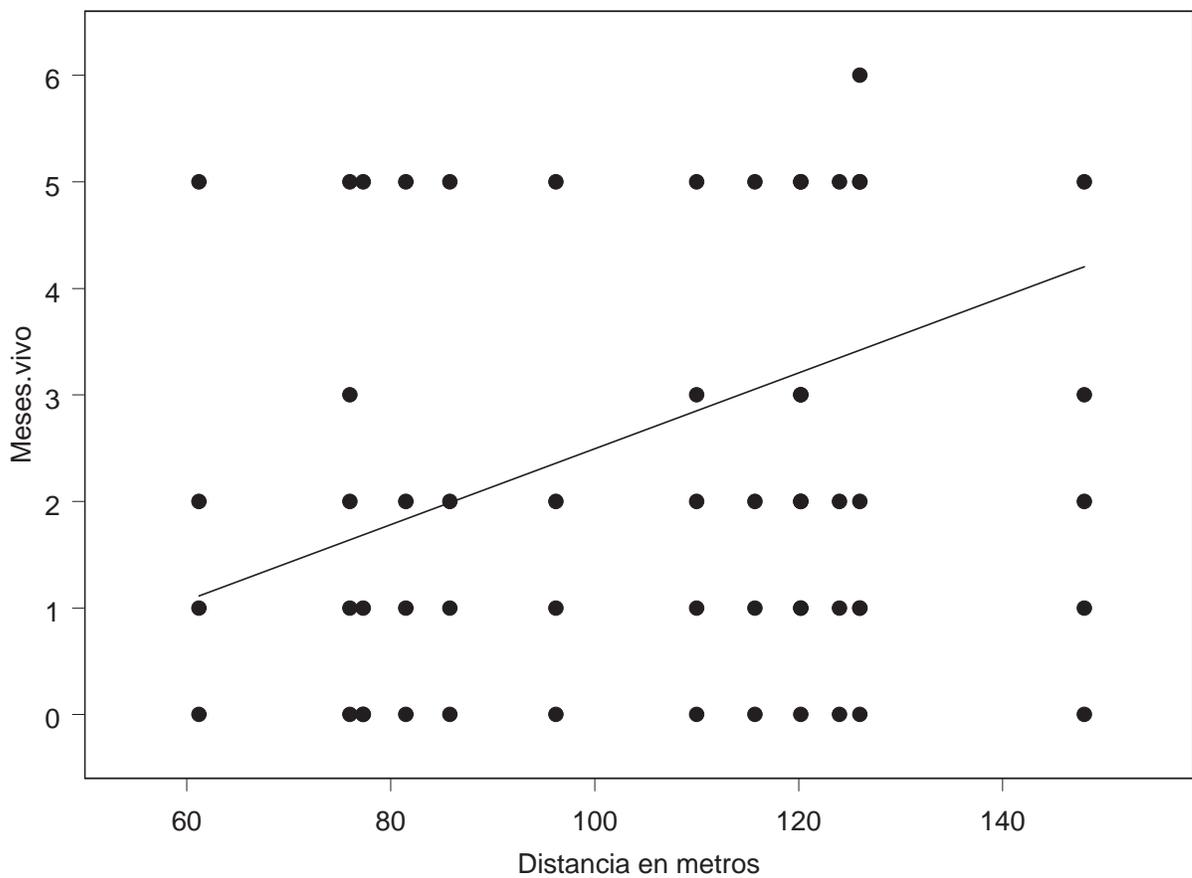


Figura No. 10. Relación entre la distancia de las plantas a la orilla del bosque y la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K transplantados a los 3 meses de edad $F_{382} = 87.44$, $P < 0.001$, $R^2 = 0.18$.

4.5 DISCUSIÓN

La temperatura se muestra como un factor determinante para el establecimiento de las plantas, de modo que el esfuerzo debe ser mayor, pues al aumentar el nivel de degradación de un sitio, la capacidad de regeneración de la vegetación va disminuyendo (Hobbs y Norton 1996). En base a los resultados obtenidos de los experimento en este capítulo, se puede observar claramente el gradiente de perturbación, pues para el sitio El Tepamal, en cuanto a *Lupinus elegans* H.B.K., fue suficiente sembrar al boleto con el suelo removido superficialmente (como se describe en el capítulo II), obteniendo una sobrevivencia y desarrollo muy favorables; en Llano de Pario fue necesario además de sembrar, en el segundo año, resembrar y transplantar *L. elegans* a los 3 meses de edad, obteniendo resultados satisfactorios, mientras que en Mesa de Cutzato se realizó la siembra, resiembra y transplante y aún sigue siendo baja la sobrevivencia.

Tomando en cuenta que el tamaño de la planta puede afectar de manera determinante, la supervivencia en condiciones de restauración (Jobidon *et al.* 1998, Kerr 1999, Blanco-García 2005), además, que la edad óptima de transplante puede maximizar la supervivencia de las plantas que son propagadas en vivero, por ellos se transplantaron plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. de tres meses de edad en los sitios Llano de Pario y Mesa de Cutzato, ya que reduce considerablemente los costos de restauración, al permitir una sobrevivencia mayor de las plantas en el campo por presentar una altura de más de 30 cm, además que los costos de propagación se reducen (Mexal *et al.* 2002) si se mantienen las plantas en vivero solo tres meses y no seis que a esta edad las plantas se estresan más al transportarse (Blanco-García 2005).

De acuerdo a Blanco-García (2005) la mortalidad de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. durante los primeros meses, se debe principalmente herbivoría por conejos, mientras que la máxima mortalidad se presenta con la temporada de heladas, nuestros resultados coinciden en que la máxima mortalidad se debe a cuestiones ambientales, ya que en el mes de noviembre, siendo el quinto mes de evaluación, es cuando se registraron temperaturas bajo

cero, presentándose la mortalidad masiva de las plantas de *L. elegans* transplantedos a los tres meses de edad, ya con ocho meses de edad.

Para evitar la herbivoría se ha utilizado malla de gallinero obteniendo resultados positivos (Holl y Quiroz-Nitzen 1999, Holl *et al.* 2000, Yates *et al.* 2000, Blanco-García y Lindig-Cisneros 2005), podría utilizarse para evitar la herbivoría durante los primeros meses, ya que es cuando las plantas son más susceptibles a morir.

4.6 CONCLUSIONES

En cuanto a los resultados de la resiembra en campo, la sobrevivencia de las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. con respecto a la orientación y la pendiente, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas con aunque existe una tendencia de mayor sobrevivencia en parcelas con pendientes con menor grado de inclinación y con orientación SSE (Sur Sureste) y SSO (Sur Suroeste). La pendiente y la orientación son factores que no intervienen de manera directa en el establecimiento de las plantas. Los factores determinantes para la sobrevivencia, se concentran en gran parte en las condiciones ambientales del sitio.

Las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. presentan una mejor sobrevivencia en el sitio Llano de Pario. Las plantas de *Trifolium repens* L., aunque muestra una mayor número de plantas vivas en el sitio El Tepamal, tienen mayor probabilidad de sobrevivencia en Llano de Pario, ya que cuando se realizó la evaluación de la resiembra, en este sitio, aún había plantas vivas del año anterior, mientras que El Tepamal se registraron muy pocos individuos.

La evaluación a los cuatro meses del trasplante, muestra que el desempeño de *Lupinus elegans* H.B.K. fue favorable en el sitio Llano de Pario. La mortalidad durante los primeros meses, se debe principalmente a herbivoría, probablemente por conejos, mientras que la máxima mortalidad coincide con la temporada de heladas. Los análisis realizados, muestran que la distancia a la orilla del bosque menor a 100 metros es un umbral para la sobrevivencia de las plantas de *L. elegans* trasplantados a los 3 meses de edad, ya que sobrevivieron menos plantas en las parcelas con una distancia menor. Tal parece que para los herbívoros resulta ser más cómodo depredar en sitios cercanos que en sitios más abiertos y lejanos, que pudieran implicar un mayor riesgo para su estabilidad.

En Mesa de Cutzato, la proporción de sobrevivencia es menor; tomando en cuenta que este es el sitio que presenta un nivel mayor de perturbación, debido a que además de las temperaturas extremas y la herbivoría, el espesor de la capa de ceniza volcánica es otro factor determinante para el establecimiento de las plantas (Gómez-Romero 2004).

4.7 LITERATURA CITADA

- Alvarado-Sosa, P. A. 2004. Identificación de los patrones de asignación de biomasa en *Lupinus elegans* H.B.K. determinados por condiciones controladas de vivero y su efecto en el desempeño bajo condiciones de restauración ecológica. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 40 pp.
- Blanco-García, A. 2005. Efecto del esfuerzo de restauración de la vegetación nativa aledaña al volcán Parícutin, Michoacán, México. Tesis de grado de maestría. Centro de investigaciones en ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Mich. México. 53 pp.
- Blanco-García, A. and Lindig-Cisneros R. 2005. Incorporating restoration in sustainable forestry management: Using pine bark mulch to improve native-species establishment on tephra deposits Restoration Ecology. En prensa.
- Gómez-Romero, M. 2004. Estudio del establecimiento de *Lupinus elegans* y *Eupatorium glabratum* especies nativas para restauración ecológica de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 89 pp.
- Hobbs, R. J. and D. A. Norton, 1996. Towards a conceptual framework for restoration ecology. Restoration Ecology 4:93-110.
- Holl, K. D. and E. Quiroz-Nietzen, 1999. The effect of rabbit herbivory on reforestation of abandoned pasture in southern Costa Rica. Biological Conservation 87: 391-395.
- Holl, K. D., M. E. Loik, E. H. V. Lin, and I. A. Samuels. 2000. Tropical montane forest restotation in Costa Rica: Overcoming barriers to dispersal and establishment. Restoration Ecology 8:339-349.
- Jinks, R. L. and G. Kerr. 1999. Establishment and early growth of different plant types Corsican pine (*Pinus nigra* var. *Marritima*) on four sites in Thetford Forest. Forestry 72: 293-304.
- Jobidon, R., L. Charette, P. and Y. Bernier. 1998. Initial size and competing vegetation effects on water stree and growth of *Picea mariana* (Mill). BSP seedrings planted in the different environments. Forest Ecology and Management 103: 293-305.

- Medina-Sánchez, E. I. 2003. Determinación de los requerimientos de germinación de semillas de tres especies de leguminosas del estado de Michoacán, con potencial para restauración. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, México. 40 pp.
- Mexal, J. G., R. A. C. Rangel, P. Negreros-Castillo and C. P. Lezama. 2002. Nursery production practices effect survival and growth of topical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. *Fores Ecology and Management* 168: 125-133.
- Yates, C. J., R. J. Hobbs and I. Atkins. 2000. Establishment of perennial shrub and tree species in degraded *Eucalyptus salmonophoia* (*Salmo gim*) remnat woodlands: Effects of restoration treatments. *Restoration Ecology* 8:135-143.

IV. CONCLUSIONES GENERALES

Los experimentos se realizaron en sitios que forman un gradiente de perturbación. Las condiciones ambientales en los arenales de origen volcánico, presentan dificultad para el establecimiento de las plantas. Las plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. presentan un buen desempeño como especie, tiene las características deseables para desarrollarse en sitios perturbados aún cuando existen pendientes pronunciadas, por tener la capacidad de fijador nitrógeno, producir hojarasca, alcanzar alturas que permiten dar protección a otras especies, creando microclimas que favorecen el establecimiento de otras especies nativas del sotobosque, además de que muestra claramente tanto en el desarrollo, como en la sobrevivencia, el gradiente de degradación en los sitios, al tener que realizar un esfuerzo mayor en los sitios con mayor nivel de perturbación. En el sitio El Tepamal fue suficiente sembrar el primer año (exceptuando 4 parcelas en las que se resembró), en el sitio Llano de Paio, se sembró el primer año, se resembró al segundo año y se trasplantaron *L. elegans* de tres meses de edad, con buen resultado hasta la primera evaluación del segundo año, y en el sitio Mesa de Cutzato, además de la siembra, resiembra y trasplante, aún se observa la gran dificultad para el establecimiento.

Desde otro enfoque, en los tres sitios de estudio, el porcentaje de arena es mayor en relación al porcentaje de limo y de arcilla, encontrándose presente en mayor proporción en los sitios con mayor nivel de perturbación. Con respecto a las concentraciones aprovechables de Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Calcio, el suelo de los diferentes sitios es clasificado como muy pobre. El porcentaje de materia orgánica es en el sitio El Tepamal mayor que en los arenales de origen volcánico, siendo el sitio Mesa de Cutzato el más bajo en de los tres. Por otro lado. El número de especies en el sitio El Tepamal es ampliamente mayor que el de los sitios Llano de Paio y Mesa de Cutzato.

El estudio sobre las profundidades de sembrado para incrementar la emergencia de plántulas tanto para *Lupinus elegans* H.B.K. que emerge mejor a una profundidad de 2.5 centímetros de profundidad, como para *Crotalaria pumila* Ort., que presenta su óptima emergencia a los 2 centímetros de profundidad, proporcionó información para la resiembra al

segundo año con la ayuda de una herramienta diseñada a partir de los resultados, es un rastrillo con dientes de 3 centímetros de largo que se utilizó para hacer pequeñas zanjas para que las semillas quedaran enterradas a la profundidad óptima. Esta herramienta fue útil para proteger a las semillas de la vista de aves u otros depredadores.

El trasplante de *Lupinus elegans* H.B.K. a los tres meses de edad, resultó ser una técnica adecuada para el sitio Llano de Pario, al presentar alto porcentaje de sobrevivencia en los primeros meses, observándose muerte por herbivoría en parcelas con una distancia menor a 100 metros; este dato marca la presencia de un umbral, a una distancia mayor de 100 metros de la orilla del bosque, las plantas de *L. elegans* tienen un 55 % más de probabilidad de sobrevivir que las plantas que se encuentran a una distancia menor. La máxima mortalidad es por heladas. Las plantas de *Crotalaria pumila* Ort. han presentado mayor dificultad y en el sitio Llano de Pario, es donde ha presentado mayor sobrevivencia. Durante el primer año, el problema fue el tiempo, ya que a las plantas les faltaron pocos días para poder madurar las semillas completamente y así poder crear el banco de semillas, pero la resiembra se anticipó 18 días, obteniendo de esta manera, resultados favorables a la primera evaluación del segundo año, para este sitio. En los sitios El Tepamal y Mesa de Cutzato ha resultado muy difícil el establecimiento mismo que se atribuye a que se encuentra fuera del rango altitudinal de óptima distribución, al segundo año aumentó la sobrevivencia de *Trifolium repens* L. en los tres sitios.

Las características del sitio Mesa de Cutzato presentan condiciones considerablemente adversas en cuanto a las temperaturas extremas, arrastre de banco de semillas por erosión pluvial y una capa de ceniza volcánica de grosor considerable, características que incrementarían los costos de la restauración, apoyando la sugerencia de Blanco-García (2005), se plantea que dicho sitio en particular obtendría mayor beneficio si fuera aprovechado como atractivo ecoturístico de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Desde otro enfoque, la alternativa es la extracción de ceniza volcánica en las partes más profundas, dejando como máximo una capa no mayor a los 30 cm de profundidad (Gómez-Romero, 2004) y proteger las áreas en donde se plante, con maya de gallinero.

V. RECOMEDACIONES DE MANEJO

Los resultados fueron materializados en un rastrillo de lámina con dientes de 3 cm de largo (Fig. 1), para hacer los surcos en la ceniza volcánica para que al tiempo del sembrado, la profundidad quedara entre 2cm y 2.5 cm.

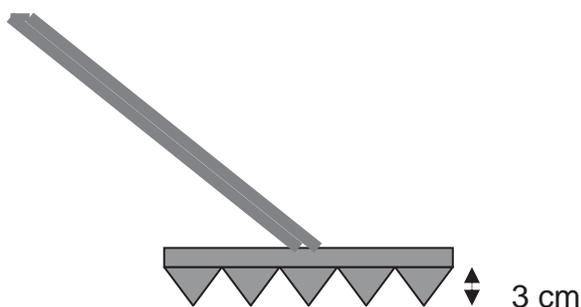


Figura No. 1. Diseño de la herramienta que se utilizó en la resiembra para enterrar las semillas de las leguminosas a la profundidad adecuada.

Para llevar a la práctica los datos obtenidos en los experimentos, se hacen las siguientes recomendaciones:

Sembrar al principio de la época de lluvias en zonas donde el espesor de la capa de ceniza volcánica no sea mayor de 30 centímetros (Gómez-Romero 2004), esto puede marcar la diferencia en la sobrevivencia. Es importante el mantenimiento de zanjas o diques en la temporada de lluvias para desviar el cauce, esta acción, puede ayudar de manera considerable para mantener el banco de semillas en los sitios, así como las plántulas ya emergidas.

5.1 *Lupinus elegans* H.B.K.

Las semillas de *Lupinus elegans* H.B.K. deben ser escarificadas previamente con ácido sulfúrico concentrado (98% de pureza) durante 30 minutos (Medina-Sánchez y Lindig-Cisneros 2005). Para sembrar en parcelas de 64 m², la cantidad de semillas es de 21 gramos, que son entre 930 y 960 semillas por parcela. Es necesario hacer surcos en las parcelas antes de ser sembradas, de modo que las semillas queden enterradas a una profundidad óptima de 2.5 centímetros, por lo que se diseñó una herramienta que pudiera cumplir dicho objetivo (Fig. 1). El sembrado se realiza al boleado, de preferencia que las semillas estén secas, es decir que la escarificación se lleve a cabo el día anterior a la siembra. Es importante que las semillas queden distribuidas en forma homogénea dentro de la parcela, cuando la parcela se encuentre sobre una pendiente considerable, es importante sembrar la más cantidad de semillas en la más parte más alta de la parcela, debido a que pueden resbalar o rodar a las partes más bajas por el viento o la lluvia. Al término de la siembra, es necesario cubrir los valles o surcos con el mismo sustrato que fue removido con el rastrillo. Cuando se trata de ceniza volcánica, es relativamente fácil cubrir los surcos lanzando la arena en sentido opuesto a los surcos para que puedan quedar cubiertos. Las evaluaciones sobre emergencia de las plantas dependerá del tipo de estudio, en este estudio, se realizaron evaluaciones bimestrales para evaluar la sobrevivencia. La resiembra debe ser considerada siempre y cuando el número de plantas sea menor a una planta por cada metro cuadrado. Cuando sea menor es necesario sacar la proporción de semillas necesarias.

En otro sentido, es importante el desarrollo de plantas de *Lupinus elegans* H.B.K. en invernadero utilizando creci-root (sustrato rico en nutrientes compuesto a base de fibra de coco, corteza de árbol y fertilizante de liberación prolongada) en combinación con arena comercial 1:1 como sustrato en tubete mediano (con volumen de 310cm³) (Alvarado-Sosa 2004). El trasplante en campo debe realizarse a los tres meses de edad (Blanco-García 2005) a una distancia mayor a los 100 metros de la orilla del bosque.

5.2 *Crotalaria pumila* Ort.

Las semillas de *Crotalaria pumila* Ort. deben ser escarificadas previamente con ácido sulfúrico concentrado (98% de pureza) durante 20 minutos (Medina-Sánchez y Lindig-Cisneros 2005) Para sembrar en parcelas de 64 m², la cantidad de semillas es de 16 gramos, que son entre 3140 y 4 000 semillas por parcela. Al igual que para *Lupinus elegans* H.B.K. Es necesario hacer surcos en las parcelas antes de ser sembradas, de modo que las semillas queden enterradas a una profundidad óptima de 2 - 2.5 centímetros. El sembrado se realiza al boleó y las recomendaciones de sembrado son las mismas que para *L. elegans*. Las evaluaciones sobre emergencia de las plantas dependerán del tipo de estudio, en este estudio, se realizaron evaluaciones bimestrales para evaluar la sobrevivencia. La resiembra debe ser considerada siempre y cuando el número de plantas sea menor a siete u ocho plantas por cada metro cuadrado. El número de semillas necesarias, dependerá de la sobrevivencia de las plantas de esta especie. También es posible desarrollar plantas en invernadero con las recomendaciones ya mencionadas.

Tanto para *Lupinus elegans* H.B.K. como para *Crotalaria pumila* Ort. es importante que las semillas sean colectadas del sitio más cercano posible al sitio donde se realizará la siembra.

5.3 *Trifolium repens* L.

Las semillas de *Trifolium repens* L. no necesitan tratamiento previo para ser sembradas, además de que se adquieren fácilmente de manera comercial. Para sembrar en parcelas de 64 m², la cantidad de semillas es de 60 gramos, que son entre 94 000 y 94 320 semillas por parcela. Las recomendaciones para la siembra son las mismas que para *Lupinus elegans* H.B.K. y *Crotalaria pumila* Ort. La resiembra debe ser considerada siempre y cuando el número de plantas sea menor a noventa o cien plantas por cada metro cuadrado. El número de semillas necesarias, dependerá de la sobrevivencia de las plantas de esta especie.

La siembra de las tres especies se lleva a cabo al mismo tiempo, se hacen los surcos, se siembra al boleó primero una especie, y sucesivamente una por una y posteriormente se cubren los valles etc.

El rastrillo con dientes de 3 cm es una herramienta que puede incrementar las tasas de emergencia, sobrevivencia y establecimiento en campo al sembrar las tres especies a una profundidad entre 2 y 2.5 cm.

VI. LITERATURA CITADA

- Alvarado-Sosa, P. A. 2004. Identificación de los patrones de asignación de biomasa en *Lupinus elegans* H.B.K. determinados por condiciones controladas de vivero y su efecto en el desempeño bajo condiciones de restauración ecológica. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 40 pp.
- Blanco-García, A. 2005. Efecto del esfuerzo de restauración de la vegetación nativa aledaña al volcán Parícutin, Michoacán, México. Tesis de grado de maestría. Centro de investigaciones en ecosistemas. Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Mich. México. 53 pp.
- Bocco, G., A. Torres, A. Velázquez y Ch. Siebe. 1998. Geomorfología y Recursos naturales en comunidades rurales. El caso de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Geografía y Desarrollo. 19: 71-84.
- Cogliastro, A. Y. and D. Gagnon. 1997. Experimental determination of soil characteristics optimal for the growth of ten hardwoods planted on abandoned farmland. Forest Ecology and Management 96 (1-2): 50-60.
- Eggler, W. A. 1948. Plant communities in the vicinity of the volcano Parícutin, México after two and a half years of eruption. Ecology 29: 415-437.
- Eggler, W. A. 1963. Plant life of Parícutin volcano, México, eight years after activity ceased. American Midland Naturalist 69: 38-67.
- Gómez-Romero, M. 2004. Estudio del establecimiento de *Lupinus elegans* y *Eupatorium glabratum* especies nativas para restauración ecológica de Nuevo San Juan Parangaricutiro Michoacán, México. Tesis profesional. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México. 89 pp.
- Guevara-Féfer. 1994. Biología de la polinización del trébol *Trifolium repens* L. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Biológicas 2:49-54.
- Kimoto, A. and T. Mizuyama. 2002. Spatial and temporal changes of vegetation cover in granite mountains in central Japan: A GIS-based approach. Land Degradation & Development 13 (4):345-345.

- Lindig-Cisneros, R. E. Andresen, S. Lara-Cabrera, D. Pérez-Salicrup y C. Sáenz Romero. 2004. Generación de criterios y técnicas para la restauración de bosques de coníferas. Reporte Técnico de Proyecto CONACYT (SEMARNAT-2002-C01-0760) pp. 1-36.
- Medina-Sánchez, E. and R. Lindig-Cisneros. 2005. Effect of scarification and growing media on seed germination of *Lupinus elegans* H.B.K. Seed Sci. & Technol., 33: 237-241.
- Lu, D. and E. Moran, 2002. Linking amazonia secondary sucesión forest growth to soil properties. Land Degradation & Development 13 (4): 332 -336.
- Nebel, B. J. y R. T. Wright. 1999. Ciencias Ambientales. 6° edición. Editorial Pearson. Educación Prentice Hill. México. 148 pp.
- Renato, C. 2002. Reforestación más que plantar arbolitos. Revista ¿Cómo ves?. México 40:30.
- Salami, A. T. 1998. Vegetation modification and man-induced enviromental change in rural southwestern Nigeria. Agriculture Ecosystems & Environment 70 (2-3):152 -163.
- Segerstom, K. 1950. Erosion studies at Parícutin volcano, state of Michoacán, Mexico. U. S. Geological Survey Bulletin 965A: 1-164.
- Vázquez-Yanes, C. y A. I. Batis. 1996. Adaptación de árboles nativos valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Centro de Ecología UNAM. México. 75 pp.
- Velázquez, A., A. Torres y G. Bocco. 2003. Las enseñanzas de San Juan Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales. SEMARNAT/INE/SUMA 595 pp.
- Williams, H. 1950. Volcanoes of the Parícutin region. U.S. Geological Survey Bulletin 965B: 165-279.