

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lindl.
dos y tres años después de quemado.**

TESIS

**Que como requisito parcial para obtener el grado
de:**

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

LUZ AURORA ESPINOZA MARTÍNEZ



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

Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2006.



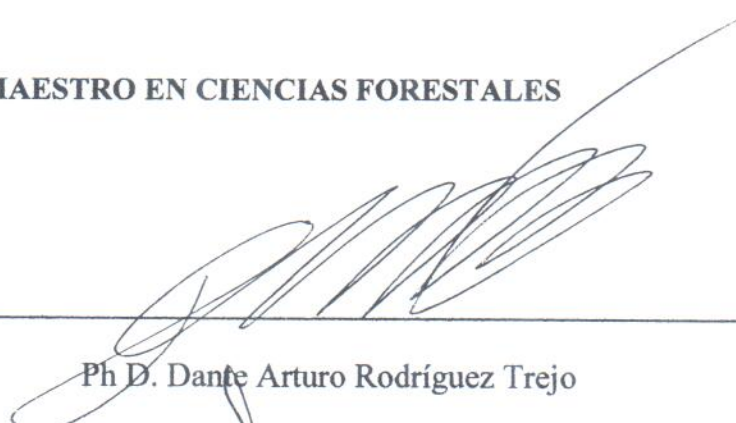
BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

**SINECOLOGÍA DEL SOTOBOSQUE DE *Pinus hartwegii* Lind. DOS Y TRES
AÑOS DESPUÉS DE QUEMADO.**

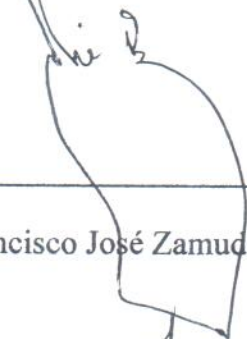
Tesis realizada por **Luz Aurora Espinoza Martínez** bajo la dirección del comité asesor
indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado
de:

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____


Ph D. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ASESOR: _____


Ph D. Francisco José Zamudio Sánchez

ASESOR: _____


M. C. Javier Santillán Pérez

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación, formó parte del Proyecto Ajusco, en el cual participan CONACYT, CONAFOR, el Gobierno de la Ciudad de México, la Comunidad Santo Tomás Ajusco y la Universidad Autónoma Chapingo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado a través de la beca para estudios de Maestría, lo cual me permitió realizarlos y concluirlos.

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial a la DICIFO, por abrirme las puertas para adquirir conocimientos y superación.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, por el valioso apoyo brindado en la realización de este trabajo, por su disposición de compartir sus conocimientos y experiencia, y por sus invaluable consejos, los cuales han sido de gran utilidad en mi proceso de aprendizaje. Su paciencia y su confianza.

Al Dr. Francisco José Zamudio Sánchez, por su amable atención al presente estudio y el aporte de sus conocimientos en el aula y fuera de ella. Por su empeño por formar profesionistas de excelencia.

Al M.C. Javier Santillán Pérez, por su disponibilidad en la revisión de este trabajo, por sus conocimientos impartidos en el salón de clases, sus aportaciones, observaciones y recomendaciones.

Al personal del herbario José Espinosa Salas de Preparatoria Agrícola, en especial a la M.C. Agustina Díaz Osorno por su atenta participación en la identificación del material vegetal correspondiente.

A todos los amigos y compañeros que colaboraron tan desinteresadamente en la toma de datos de este trabajo, sus fuerzas conjuntas fueron una gran ayuda.

A la Ing. Rosa Ángela Pacheco, por su invaluable apoyo en el proceso de análisis, gracias por abrirme un espacio en tu agenda.

Al Creador de todo el universo, por quien existo y continúo mi camino, sin Ti nada soy.
Gracias Jesucristo.

DEDICATORIA

A mi Padre Eterno, por darme la vida y estar junto a mi cada momento, por permitirme alcanzar un sueño más y guiarme al Camino y Verdad (El principio de la sabiduría está en Ti -Jesucristo-).

A mi amado esposo Rodolfo Rivera Hinojosa, por estar conmigo, por tu amor y paciencia y por alentarme con tu ejemplo a buscar más cada día, eres excelente TAUBECJ. DTB.

A mi madre Gloria Alberta Martínez Domínguez, por sus bendiciones que me han ayudado a adquirir conocimiento, sabiduría e inteligencia. Shalom!!

A mi pequeña hermana Iris del Rocío, por tu brazo siempre disponible a apoyar. Adelante Optometrista.

A mi padre José Luis Espinoza Leyte.

A todos los lectores de la presente investigación, espero les sea útil.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente, nació en el Distrito Federal, México el 29 de marzo de 1979. En la misma ciudad realizó sus estudios de primaria en la escuela “Dr. Nicolás León” y sus estudios de secundaria en la escuela No. 154 “Republica de Cuba”.

En la Universidad Autónoma Chapingo, cursó sus estudios de bachillerato en la “Preparatoria Agrícola” de dicha institución, así como sus estudios de licenciatura en la División de Ciencias Forestales; egresando de la carrera “Ingeniero en Restauración Forestal” en el año de 2002.

En agosto de 2004, ingresó al programa de posgrado de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo, y concluyó sus estudios de Maestría en Ciencias Forestales en agosto de 2006.

RESUMEN

Luz Aurora Espinoza Martínez

SINECOLOGÍA DEL SOTOBOSQUE DE *Pinus hartwegii* Lind. DOS Y TRES AÑOS DESPUÉS DE QUEMADO

Diciembre de 2006

(Bajo la dirección del Ph D. Dante Arturo Rodríguez Trejo).

En el Cerro de Santo Tomás Ajusco, D. F., se llevó a cabo una evaluación sobre áreas que recibieron diferentes tratamientos con fuego en el año 2002, las cuales combinaron dos diferentes épocas (marzo y mayo) y dos intensidades (alta y baja) para cada época, considerando además dos densidades de dosel arbóreo (cerrado y abierto), y contando con un área testigo (sin quema) para su comparación. Lo anterior, con la finalidad de estudiar el efecto del fuego en la vegetación del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lindl. a dos y tres años de la aplicación de dichas quemas. El levantamiento de datos se realizó durante el periodo de lluvias del segundo y tercer año después del fuego (2004 y 2005), los cuales fueron analizados a través de pruebas de hipótesis univariadas y multivariadas.

En general, los tratamientos con fuego favorecieron la diversidad, riqueza y cobertura de especies dos años después de la aplicación de las quemas, especialmente en los tratamientos con densidad de dosel abierta; estas tendencias varían al tercer año, donde la diversidad y la riqueza tienden a homogeneizarse entre los tratamientos con fuego y el control. La época de aplicación de las quemas no mostró diferencias significativas, pero

pudo observarse una marcada evidencia de afectación al arbolado en la quema de mayo alta intensidad. Las especies *Alchemilla procumbens* Rose., *Festuca tolucensis* H. B. K., *Eupatorium oligocephalum* DC., *Senecio callosus* Sch. & Bip. y *Penstemon gentianoides* Don., son las especies que mostraron los valores de importancia mayores en los dos años evaluados. Así mismo, *Alchemilla procumbens* Rose., *Eupatorium oligocephalum* DC., *Senecio callosus* Sch. & Bip., *Penstemon gentianoides* Don., *Lupinus montanus* H. B. K y *Senecio cinerarioides* H. B. K. fueron las especies identificadas como indicadoras de incendios.

Palabras clave: Intensidad de quema, quemas prescritas, respuesta al fuego, riqueza y diversidad de especies.

ABSTRACT

Luz Aurora Espinoza Martínez

SINECOLOGY OF THE *Pinus hartwegii* LIND. UNDERSTORY TWO AND THREE YEARS AFTER BURNING

December, 2006

(Under the direction of Ph D. Dante Arturo Rodríguez Trejo).

In the Santo Tomás Ajusco hill region of the Federal District, an evaluation was carried out of areas that had received different fire treatments in 2002, which combined two different times (March and May) and two intensities (high and low) for each time. In addition, two arboreal canopy densities (closed and open) were studied, plus a control area (without burning). The objective was to study the fire effect on the vegetation understory of the *Pinus hartwegii* Lindl. two and three years after the said burn treatments. Samples were taken during the rainy season in the second and third years after the prescribed burns (2004 and 2005), and these were analyzed through univariate and multivariate hypothesis tests.

In general, the fire treatments favored species diversity, richness and cover two years after the burns, especially in the treatments with open canopy density; these tendencies vary until the third year, in which the diversity and the richness tend to be similar in the fire treatments and the control. The burn application times did not show significant differences, but a marked degree of woodland impact could be observed in the May high intensity burn. *Alchemilla procumbens* Rose., *Festuca tolucensis* H. B. K., *Eupatorium*

oligocephalum DC., *Senecio callosus* Sch. & Bip. and *Penstemon gentianoides* Don, were the species that showed the values of greatest significance in the two years evaluated. Also, *Alchemilla procumbens* Rose., *Eupatorium oligocephalum* DC., *Senecio callosus* Sch. & Bip., *Penstemon gentianoides* Don, *Lupinus montanus* H. B. K. and *Senecio cinerarioides* H. B. K. were the species identified as fire indicators.

Key words: Burn intensity, prescribed burns, response to the fire, species richness and diversity.

INDICE

	Pag.
APROBACIÓN DE TESIS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INDICE.....	x
INDICE DE CUADROS.....	xv
INDICE DE FIGURAS.....	xxii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. Objetivo general.....	7
2.2. Objetivos particulares.....	7
3. METODOLOGÍA.....	8
3.1. Descripción del área de estudio.....	8
3.1.1. Ubicación.....	8
3.1.2. Fisiografía.....	8
3.1.3. Geología.....	9
3.1.4. Clima.....	9
3.1.5. Hidrología.....	9

3.1.6. Suelos.....	9
3.1.7. Vegetación.....	10
3.2. Establecimiento del experimento.....	10
3.3. Obtención de datos.....	12
3.4. Análisis.....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
4.1. Antecedentes.....	20
4.1.1. Sinecología.....	21
4.1.2. <i>Pinus hartwegii</i> Lind.	22
4.1.2.1. Distribución.....	22
4.1.2.2. Hábitat.....	22
4.1.2.3. Especies vegetales asociadas.....	22
4.1.3. <i>Pinus hartwegii</i> y el fuego.....	23
4.1.3.1. Adaptaciones.....	23
4.2. Pruebas de hipótesis univariadas comparando intensidad de fuego	25
4.2.1. Diversidad.....	25
4.2.2. Riqueza y cobertura de especies.....	27
4.3. Pruebas de hipótesis multivariadas comparando intensidad de fuego.....	29
4.3.1. Diversidad.....	29
4.3.2. Riqueza y cobertura de especies.....	32
4.4. Comparación entre pares de tratamientos (segundo y tercer año después de las quemadas).....	35
4.4.1. Diversidad.....	35

4.4.1.1. Diversidad dos años después de la aplicación del fuego (2004).....	35
4.4.1.1.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control).....	35
4.4.1.1.2. Herbáceas altas (tratamientos y control).....	37
4.4.1.1.3. Arbustos (tratamientos y control).....	39
4.4.1.1.4. Herbáceas rasantes (MyA y MrB).....	40
4.4.1.1.5. Herbáceas altas (MyA y MrB).....	41
4.4.1.1.6. Arbustos (MyA y MrB).....	42
4.4.1.2. Diversidad tres años después de la aplicación del fuego (2005).....	43
4.4.1.2.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control).....	43
4.4.1.2.2. Herbáceas altas (tratamientos y control).....	45
4.4.1.2.3. Arbustos (tratamientos y control).....	46
4.4.1.2.4. Herbáceas rasantes (MyA y MrB).....	48
4.4.1.2.5. Herbáceas altas (MyA y MrB).....	49
4.4.1.2.6. Arbustos (MyA y MrB).....	49
4.4.1.3. Diversidad comparada entre años (2004 y 2005).....	50
4.4.1.3.1. Herbáceas rasantes.....	50
4.4.1.3.2. Herbáceas altas.....	51
4.4.1.3.3. Arbustos.....	53
4.4.2. Riqueza de especies y cobertura.....	56
4.4.2.1. Riqueza de especies y cobertura dos años después de la aplicación del fuego (2004).....	57
4.4.2.1.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control).....	57
4.4.2.1.2. Herbáceas altas (tratamientos y control).....	58

4.4.2.1.3. Arbustos (tratamientos y control).....	60
4.4.2.1.4. Herbáceas rasantes (MyA y MrB).....	61
4.4.2.1.5. Herbáceas altas (MyA y MrB).....	62
4.4.2.1.6. Arbustos (MyA y MrB).....	63
4.4.2.2. Riqueza e especies y cobertura tres años después de la aplicación del fuego (2005).....	63
4.4.2.2.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control).....	63
4.4.2.2.2. Herbáceas altas (tratamientos y control).....	65
4.4.2.2.3. Arbustos (tratamientos y control).....	66
4.4.2.2.4. Herbáceas rasantes (MyA y MrB).....	67
4.4.2.2.5. Herbáceas altas (MyA y MrB).....	68
4.4.2.2.6. Arbustos (MyA y MrB).....	69
4.4.2.3. Riqueza de especies y cobertura comparada entre años (2004 y 2005).....	69
4.4.2.3.1. Herbáceas rasantes.....	69
4.4.2.3.2. Herbáceas altas.....	70
4.4.2.3.3. Arbustos.....	71
4.5. Valor de Importancia.....	75
4.5.1. Quema prescrita en mayo intensidad alta, segundo año (2004).....	75
4.5.2. Quema prescrita en mayo intensidad baja, segundo año (2004).....	77
4.5.3. Quema prescrita en marzo intensidad alta, segundo año (2004).....	79
4.5.4. Quema prescrita en marzo intensidad baja, segundo año (2004).....	81
4.5.5. Testigo sin quema, segundo año (2004).....	83
4.5.6. Quema prescrita en mayo intensidad alta, tercer año (2005).....	86

4.5.7. Quema prescrita en mayo intensidad baja tercer año (2005).....	88
4.5.8. Quema prescrita en marzo intensidad alta, tercer año (2005).....	90
4.5.9. Quema prescrita en marzo intensidad baja, tercer año (2005).....	92
4.5.10. Testigo sin quema, tercer año (2005).....	95
4.6. Listado Florístico.....	99
5. CONCLUSIONES.....	103
6. RECOMENDACIONES.....	104
7. LITERATURA CITADA.....	105
8. ANEXOS.....	114
8.1. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis univariadas y multivariadas sobre intensidades. Análisis de Índices de diversidad.....	114
8.2. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis univariadas y multivariadas sobre intensidades. Análisis de riqueza y cobertura de especies.....	115
8.3. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis multivariadas en la comparación entre pares de tratamientos. Análisis de diversidad.....	116
8.4. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis multivariadas en la comparación entre pares de tratamientos. Análisis de riqueza y cobertura de especies.....	118

INDICE DE CUADROS

	Pag.
Cuadro 1. Características de tiempo atmosférico y comportamiento del fuego durante la aplicación de las quemas.....	11
Cuadro 2. Tratamientos aplicados.....	14
Cuadro 3. Niveles de significancia muestral de pruebas univariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Índices de diversidad segundo y tercer año).....	26
Cuadro 4. Niveles de significancia muestral de pruebas univariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Riqueza y cobertura segundo y tercer año).....	28
Cuadro 5. Niveles de significancia muestral de pruebas multivariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Índices de diversidad segundo y tercer año).....	30
Cuadro 6. Niveles de significancia muestral de pruebas multivariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Riqueza y cobertura segundo y tercer año).....	33
Cuadro 7. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).....	36
Cuadro 8. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (segundo año).....	38
Cuadro 9. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (segundo año).....	39
Cuadro 10. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (segundo año)....	41
Cuadro 11. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (segundo año).....	42

Cuadro 12. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (segundo año).....	42
Cuadro 13. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).....	44
Cuadro 14. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (tercer año).....	45
Cuadro 15. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (tercer año).....	47
Cuadro 16. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).....	48
Cuadro 17. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (tercer año).....	49
Cuadro 18. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (tercer año).....	49
Cuadro 19. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas rasantes.....	50
Cuadro 20. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas altas.....	52
Cuadro 21. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato arbustivo.....	54
Cuadro 22. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).....	57

Cuadro 23. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (segundo año).....	59
Cuadro 24. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (segundo año).....	60
Cuadro 25. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).....	62
Cuadro 26. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato herbáceas altas (segundo año).....	62
Cuadro 27. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato arbustivo (segundo año).....	63
Cuadro 28. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).....	64
Cuadro 29. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (tercer año).....	65
Cuadro 30. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego contra el control para el estrato arbustivo (tercer año).....	66
Cuadro 31. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).....	68

Cuadro 32. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta contra marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (tercer año).....	68
Cuadro 33. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (tercer año).....	69
Cuadro 34. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas rasantes.....	70
Cuadro 35. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas altas.....	71
Cuadro 36. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato arbustivo.....	72
Cuadro 37. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato herbáceo rasante.....	75
Cuadro 38. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato herbáceo alto.....	76
Cuadro 39. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato arbustivo.....	77
Cuadro 40. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.....	78
Cuadro 41. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo alto.....	78

Cuadro 42. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato arbustivo.....	79
Cuadro 43. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo rasante.....	80
Cuadro 44. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo alto.....	80
Cuadro 45. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato arbustivo.....	81
Cuadro 46. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.....	82
Cuadro 47. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo alto.....	82
Cuadro 48. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato arbustivo.....	83
Cuadro 49. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo rasante.....	84
Cuadro 50. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo alto.....	84
Cuadro 51. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato arbustivo.....	85
Cuadro 52. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad alta, estrato herbáceo rasante.....	87

Cuadro 53. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad alta, estrato herbáceo alto.....	87
Cuadro 54. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad alta, estrato arbustivo.....	88
Cuadro 55. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.....	89
Cuadro 56. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo alto.....	89
Cuadro 57. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato arbustivo.....	90
Cuadro 58. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo rasante.....	91
Cuadro 59. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo alto.....	91
Cuadro 60. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato arbustivo.....	92
Cuadro 61. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.....	93
Cuadro 62. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo alto.....	93
Cuadro 63. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato arbustivo.....	94

Cuadro 64. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo rasante.....	95
Cuadro 65. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo alto.....	96
Cuadro 66. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato arbustivo.....	96
Cuadro 67. Listado florístico de especies colectadas en el segundo y tercer año después de las quemas.....	99

INDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio (zona 5 “Pueblos rurales” dentro de la delegación Tlalpan, D. F.).....	8
Figura 2.- Disposición de las parcelas con diferentes aplicaciones de fuego.....	12
Figura 3. Distribución de <i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	22

1. INTRODUCCIÓN

La alteración en los ecosistemas forestales se ocasiona tanto por fenómenos naturales, como por la acción antropogénica que directa o indirectamente ha causado perturbaciones en estos ambientes; de acuerdo con SEMARNAP (1999), en los bosques de coníferas las principales causas de daño detectadas han sido los incendios forestales.

Los incendios forestales son uno de los disturbios más comunes en la tierra y de vital importancia para muchos ecosistemas (Rodríguez y Fulé, 2003). Estos pueden ser originados por causas naturales o por el hombre, a través de ciertas actitudes o actividades que implican accidentes, negligencia o intención. En México, aproximadamente el 90% de los incendios son de origen humano y la mitad de estos últimos se deben a actividades agropecuarias, a su vez relacionadas con problemas de subsistencia y pobreza, así como la falta de una buena cultura forestal (Rodríguez *et al.*, 2002).

México cuenta con un gran potencial forestal, tanto ecológico como comercial e industrial, no obstante en los últimos 500 años sus recursos forestales han sido disminuidos históricamente por el cambio en el uso de suelo, por lo menos en un 50 % de su extensión (SEMARNAP, 1999). Nuestro país, como muchos otros, vivió en 1998 una compleja interacción de factores que provocaron una proliferación de incendios sin precedentes en el medio rural y semiurbano, algunos de los cuales tuvieron consecuencias devastadoras. Se produjeron 14 445 incendios que afectaron una superficie de 850 000 ha (CONAFOR, 2006), de las cuales el 22 % provocó la degradación de recursos arbóreos y el 78% restante, de pastos y matorrales. Durante los últimos años (1999-2000) se han presentado anualmente un promedio de 7 839

incendios que afectan 267 000 ha, teniendo un promedio de afectación de 29 ha por incendio registrado (SEMARNAP, 1999; SEMARNAT, 2001).

Los incendios forestales registrados durante la temporada 2005 fueron un total de 9 709 siniestros que afectaron una superficie de 276 088.82 ha en el territorio nacional, siendo los estados más afectados Baja California, Oaxaca, Jalisco, Chiapas, Zacatecas, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Durango y Puebla, que en conjunto representaron 78.98% del total nacional en cuanto a este indicador (CONAFOR, 2006).

Los impactos del fuego varían según el sector de la sociedad afectada (urbana, rural), el tipo de impacto (negativo, positivo), su intensidad (en términos relativos: alta, media y baja), la duración del efecto y tiempo en el que se manifiesta (plazos corto, mediano y largo), sus características (directo, indirecto, tangible o intangible) y en función de la cuantía, extensión, frecuencia y ubicación de los siniestros (Rodríguez *et al.*, 2002).

El fuego es una poderosa fuerza de la naturaleza. Un incendio forestal intenso puede reconfigurar el terreno, alterar el equilibrio entre las especies vegetales, afectar la vida animal y amenazar la vida y la propiedad del hombre (Anónimo, 2003). Los daños originados por el fuego pueden ser causa de deforestación, generación de contaminación por humos, erosión del suelo, mortandad de fauna silvestre, alteración del paisaje y daños a la salud; los incendios son un agente degradador y, por lo tanto, se ha tratado a toda costa de combatirlos y suprimirlos (Martínez, 2003); sin embargo, los incendios forestales no sólo afectan negativamente; el que los efectos del fuego sean favorables o desfavorables dependerá, del tipo de vegetación afectada, su objetivo de manejo, periodicidad, intensidad, extensión, época del año y ubicación de los incendios (Rodríguez, 1991).

El fuego es uno de los amigos más antiguos del hombre, quien lo ha utilizado para calentarse, alumbrarse y cocinar. Durante siglos ha sido parte esencial de las tareas diarias de los primeros pobladores de la tierra (Anónimo, 2003).

Los incendios forestales ocasionados de manera natural son un factor ecológico que influye en la evolución de los ecosistemas; el fuego ha jugado un rol significativo en el desarrollo de la vegetación en muchas partes del mundo y es necesario para mantener la estructura y función de la mayoría de los ecosistemas forestales (Rodríguez *et al.*, 2002); de hecho, muchas plantas han desarrollado adaptaciones al fuego y en diversos casos es necesario para mantener la diversidad, la cual manifiesta la riqueza y el equilibrio de especies de un lugar determinado (Franco, 1995; Castro, 2003; Martínez, 2003); por tal motivo es necesario conocer los efectos positivos que se derivan del fuego que permitan hacer un buen uso de este factor ecológico, y poder realizar así un mejor manejo de nuestros recursos forestales.

Desde una perspectiva ecológica, los incendios que refuerzan los ciclos naturales del fuego, son benéficos y ayudan a mantener la vida en los ecosistemas que han evolucionado junto con él. Pero éste también puede ser dañino, especialmente sobre ecosistemas compuestos por organismos que no poseen las adaptaciones que les permitan sobrevivir o aprovechar el fuego (The Nature Conservancy, 2004).

El fuego ayuda a determinar la existencia de los diferentes tipos de hábitat en todo el mundo. En los ecosistemas dependientes del fuego, este es un proceso natural esencial; muchas plantas y animales han evolucionado de modo que toleran la presencia periódica de las llamas y dependen del fuego para su crecimiento y reproducción. Algunos ejemplos incluyen los bosques de eucaliptos de Australia, los bosques de pino del oeste americano y de México y los vastos pastizales y sabanas de América del norte

y África, entre otros; de hecho, la exclusión del fuego resulta, a menudo, en cambios generales al ecosistema, los cuales son ecológica y socialmente indeseables. Los ecosistemas sensibles al fuego evolucionaron sin la influencia de grandes incendios, y las plantas y animales que aquí viven, por lo general no pueden sobrevivir a incendios frecuentes o intensos; ejemplos de estos incluyen los bosques lluviosos hasta secos tropicales de la cuenca del Congo y del Amazonas, de Asia sur oriental y de Australia. En los ecosistemas independientes del fuego, no hay incendios en gran parte debido a la falta de vegetación o de fuentes de encendido, tal como sucede en el desierto de Namibia, en África, o en los ecosistemas de tundra en la costa Antártica (The Nature Conservancy, 2004 y The Nature Conservancy, 2005).

La dinámica alterada del fuego; es decir, demasiado, muy poco o el tipo de fuego equivocado, es una amenaza de gran importancia para la conservación de la biodiversidad, para nuestra economía y las décadas de progreso logrado en cuanto a desarrollo sostenible (The Nature Conservancy, 2005).

En Estados Unidos se ha dado un valor importante al conocimiento de la ecología de fuego en ecosistemas forestales, lo cual ha permitido un mejor manejo de éste. Un ejemplo es el ecosistema de *Pinus palustris* Mill., caracterizado por bosque abierto y sabanas, ubicado al SE de los Estados Unidos (Wade *et al.*, 2000).

En el anterior ecosistema, los factores de clima, especies clave y una inmensa extensión árida y topográficamente susceptible a disturbios, interactúan para mantener un régimen crónico de incendios. Los incendios recurrentes son esenciales para mantener este ecosistema, el cual persiste y mantiene su diversidad a pesar de disturbios constantes y suelos infértiles. La flora y fauna que domina este ecosistema, presenta

adaptaciones bien desarrolladas a incendios frecuentes. Este régimen de fuego mantiene dos estratos, arbóreo abierto y un sotobosque dominado por pastos (Wade *et al.*, 2003).

Pinus palustris presenta numerosas características que lo hacen altamente tolerante al fuego. Después de salir del estado cespitoso, su yema terminal crece rápidamente. La corteza engruesa rápidamente durante los primeros años de crecimiento en altura y protege al tallo de incendios superficiales. Las yemas grandes tienen una relativa alta resistencia al calor y están protegidas por largas acículas. Las plántulas de *P. palustris* presentan un estado cespitoso por varios años donde no hay crecimiento en altura, pero desarrolla la raíz y el cuello de la raíz engrosa. Durante el estado cespitoso, frecuentemente las plántulas son infectadas por un hongo (*Scirrhia acicola* (Dearn.) Siggers), el cual debilita a las plantas y eventualmente las mata. El fuego controla esta enfermedad al consumir las acículas infectadas y estimular la plántula al crecimiento en altura, quizás debido a la liberación de nutrientes (Wade *et al.*, 2000).

En México, *Pinus montezumae* Lamb. es una especie que presenta la estrategia de estado cespitoso y corteza gruesa en árboles maduros. El fuego favorece la liberación y la dispersión de las semillas (Becerra, 1995; Zendejas y Villarreal, 1971); así mismo, la exclusión del fuego o el exceso de éste, puede ser perjudicial para esta especie, ya que las condiciones que favorecen a la especie son de una densidad intermedia de la masa. En el estado de Puebla, *P. montezumae* fue desplazado por cambios sucesionales hacia *Abies religiosa* y *P. ayacahuite* var. *veitchii* debido a la ausencia de fuego y el pastoreo (Rzedowski *et al.*, 1977). Incendios frecuentes hicieron que masas de esta especie fueran susceptibles a insectos en el estado de México, donde Espinosa y Muñoz (1988) encontraron una relación directa entre el área afectada por el fuego en un año y el área de bosque de *P. montezumae* y *P. leiophylla* afectada por el descortezador *Dendroctonus*

mexicanus durante el año siguiente. Esta especie también tiene la capacidad de rebrotar a partir del cuello de la raíz cuando la rama principal es dañada, capacidad que se reduce con la edad; del 90% de plántulas en estado cespitoso, se ve reducido a 65% a los tres años después de la elongación del epicótilo. Las plántulas de *P. montezumae* permanecen en estado cespitoso de 2 a 12 años en el centro de México; la emergencia de tallo toma lugar cuando el nodo cotiledonar alcanza 2 cm de diámetro (Becerra, 1995).

Lo anterior deja claro cómo el fuego puede tener simultáneamente impactos negativos y positivos. Debido a eso, es necesario un entendimiento claro del rol de la ecología del fuego en nuestros bosques, lo que permitirá obtener los mejores beneficios del factor fuego y a su vez reducir sus efectos dañinos tanto al ecosistema como a la población (Rodríguez y Fulé, 2003). La importancia que representa el fuego en la preservación y/o degradación del ecosistema forestal hace que surga la necesidad de estudiarlo. Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio se esbozan a continuación.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- ❖ Estudiar el efecto de intensidad y época de ocurrencia del fuego en la vegetación del sotobosque en el ecosistema de *Pinus hartwegii* Lindl. a dos y tres años de aplicación de quemas prescritas.

2.2. Objetivos particulares

- ❖ Comparar el efecto del fuego en la composición, riqueza de especies, cobertura vegetal y diversidad de especies en áreas quemadas en dos diferentes épocas e intensidades con relación a áreas no quemadas.
- ❖ Comparar los efectos del fuego sobre la vegetación a dos y tres años, con relación a aquellos que se presentaron en el primer año.
- ❖ Identificar especies indicadoras de zonas quemadas.

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El sitio de estudio se localiza dentro del parque nacional Cumbres del Ajusco, el cual políticamente pertenece a la delegación de Tlalpan D. F. (Figura 1), forma parte de la Sierra del Chichinautzin y sus coordenadas geográficas son 19°13' de latitud Norte y 99°15' longitud Oeste, con un rango altitudinal de 3600 a 3800 m.s.n.m. (INEGI, 2001; Vargas, 2005).

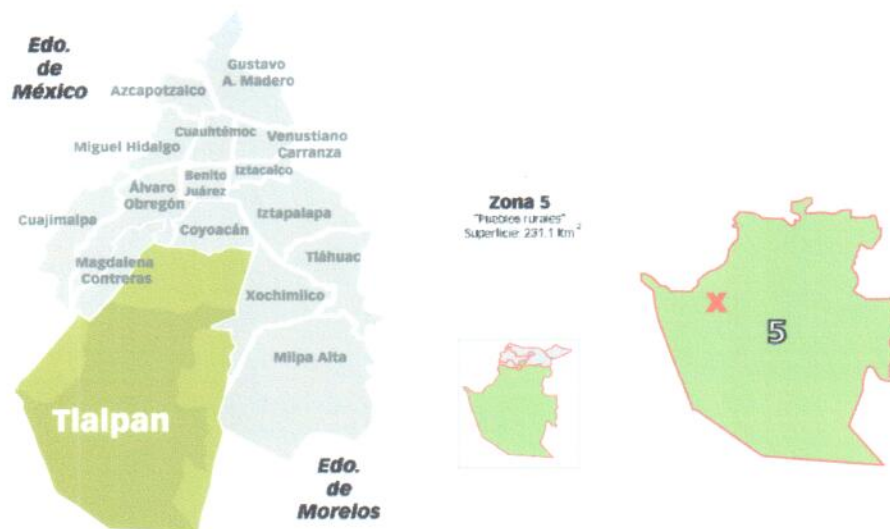


Figura 1.- Ubicación de la zona de estudio (zona 5 “Pueblos rurales” dentro de la delegación Tlalpan, D. F.).

Fuente: Gobierno del Distrito Federal, 2005.

3.1.2. Fisiografía

La zona pertenece a la provincia fisiográfica del Eje neovolcánico, a la subprovincia 57 de Lagos y volcanes de Anáhuac; posee un sistema de topoformas de Sierra volcánica de laderas escarpadas (INEGI, 2001).

3.1.3. Geología

La zona corresponde a formaciones de roca ígnea extrusiva andesítica, del periodo terciario perteneciente a la era Cenozoica (INEGI, 2001; Kobelkowsky, 2003).

3.1.4. Clima

El clima presente es del tipo C(E)(w₂) -Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad-. Su temperatura media anual llega a 12°C en las partes más bajas de la zona y a 5°C en las cimas de las sierras; la precipitación total anual va de 1 000 a 1 500 mm (INEGI, 2001; INEGI, 2006).

3.1.5. Hidrología

La zona se encuentra en la Subcuenca Lago de Texcoco-Zumpango de la Cuenca del Río Moctezuma, que pertenece a la Región hidrológica 26 –Río Panuco- (INEGI, 2001).

3.1.6. Suelos

Los suelos son andosoles, regosoles y podzoles que van de color café y textura liviana derivados de andesitas a suelos de color negro muy oscuro originados a partir de cenizas volcánicas. La profundidad de los suelos es muy variable; los hay desde someros en donde la roca madre puede aflorar, hasta muy profundos y ricos en materia orgánica (Benítez, 1986; Aguirre y Rey, 1980).

3.1.7. Vegetación

El bosque y el pastizal es la vegetación correspondiente a la zona (INEGI, 2001). Los bosques de pino en general, tienen dos estratos: uno superior constituido por árboles y el inferior por pastos (generalmente en forma de macollos), arbustos y hierbas. En la zona se encuentra principalmente la especie de *Pinus hartwegii* Lindl., algunas otras encontradas son *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus rudis* Lindl. y *Pinus teocote* Schl. & Cham. Frecuentemente acompañan a los pinos algunos encinos (varias especies de *Quercus*), los oyameles (*Abies religiosa* H.B.K.), el aile (*Alnus firmifolia* Ferm.) y el tepozán (*Buddleia cordata* H.B.K.) (Benítez, 1986).

El estrato inferior está formado principalmente por pastos del tipo de los zacatones (*Muhlenbergia macroura* (H.B.K.) Hitchc. y *Festuca tolucensis* H.B.K.). Entre los arbustos, destacan la escobilla (*Baccharis conferta* H.B.K.), la jarilla verde (*Senecio salignus* DC.), la jarilla blanca (*Senecio cinerarioides* H.B.K.), la hierba del ángel (*Eupatorium pazcuarensis* H.B.K.), el cardo santo (*Cirsium ehrenbergii* Sch. Bip.) y la hierba del sapo (*Eryngium columnare* Hemsl.); dentro de los componentes no leñosos, están los jarritos (*Penstemon roseus* (Sweet) G. Don. y *P. gentianoides* Don.) (Benítez, 1986).

3.2. Establecimiento del experimento

La presente investigación se realizó sobre áreas quemadas de manera prescrita en el Cerro de Santo Tomás, comunidad de Santo Tomás Ajusco, aledaño al paraje Valle de Tezontle; Sierra del Ajusco, D. F.; las cuales recibieron un tratamiento con fuego de

quemas prescritas e incendios confinados (contando con los permisos y el apoyo correspondientes, y el apoyo de dos brigadas de prevención y combate de incendios forestales de CONAFOR) en dos diferentes fechas: 21 de marzo y 29 de mayo de 2002 sobre cuatro parcelas de aproximadamente 1 ha cada una; las condiciones de tiempo atmosférico y comportamiento de fuego para cada aplicación de quemas se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Características de tiempo atmosférico y comportamiento del fuego durante la aplicación de las quemas.

Tratamiento	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (km/h)	Dirección dominante del viento	Largo de llama (m)	Velocidad de propagación (m/min)
MrB	70-49	2-8	Este - Norte	0.5-1.5	<1-2
MrA	49-30	4-10	Norte	1-3	1-5
MyB	25-20	2.5-4	Norte	0.4-0.8	<1-4
MyA	18-12	3-8	Norte	1-8	30-68

MrB= Quema prescrita en el mes de marzo a baja intensidad; MrA= Quema prescrita en el mes de marzo a alta intensidad; MyB= Quema prescrita a baja intensidad en el mes de mayo; MyA= Quema prescrita a alta intensidad en el mes de mayo.

Fuente: Rodríguez *et al.* (Aceptado).

Dos parcelas fueron tratadas con quema prescrita a baja intensidad, la cual se llevó a cabo por la mañana en contra de viento y pendiente para cada fecha; y las otras dos parcelas fueron tratadas con quema prescrita a alta intensidad, aplicando el fuego por la tarde a favor de viento y pendiente, también para cada una de las fechas mencionadas. Así mismo, se contó con un área testigo a la que no se aplicó tratamiento con fuego (Figura 2).

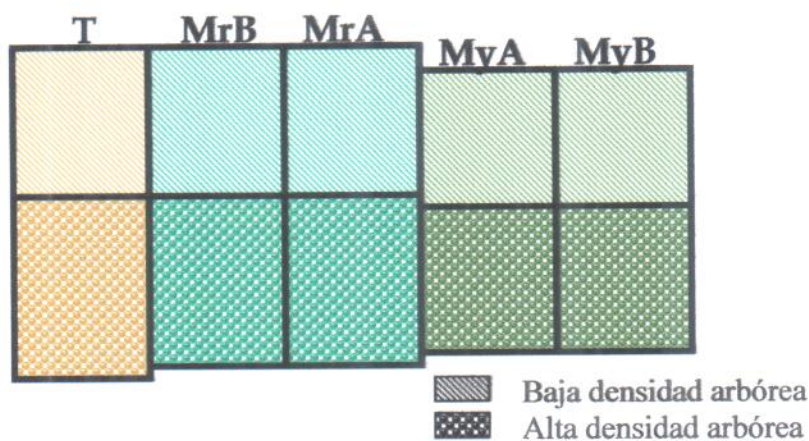


Figura 2.- Disposición de las parcelas a las diferentes aplicaciones de fuego.

T= Testigo (sin aplicación de fuego); MrB= Quema prescrita en el mes de marzo a baja intensidad; MrA= Quema prescrita en el mes de marzo a alta intensidad; MyB= Quema prescrita a baja intensidad en el mes de mayo; MyA= Quema prescrita a alta intensidad en el mes de mayo.

Se establecieron 6 sitios de muestreo (por estrato) sobre cada una de las cinco parcelas. También se consideró la densidad del arbolado; la mitad inferior de cada parcela está cubierta por arbolado juvenil de hasta 8 m de altura muy denso (900-2500 árboles por ha), la mitad superior corresponde a grandes claros con baja densidad (300-700 árboles por ha).

3.3. Obtención de datos

Se realizó un levantamiento de datos durante el periodo de lluvias en el segundo y tercer año de aplicado el tratamiento con fuego (entre los meses de septiembre a octubre de 2004 y 2005) haciendo uso del método de muestreo de cuadros empotrados

establecido por Oosting (1956; citado por Zavala 1984), que consiste en trazar un cuadro de 4x4m (16m²) para arbustos y otro en su interior de 1x1m (1m²) para plantas herbáceas, los cuales coinciden en uno de sus vértices. Se establecieron aleatoriamente 90 sitios de muestreo (3 estratos x 2 densidades arbóreas x 3 repeticiones x 5 tratamientos). Para cada estrato se obtuvieron los datos siguientes:

- especies presentes
- número de individuos por especie (excepto en herbáceas rasantes)
- altura dominante
- diámetro de copa o cobertura en porcentaje en el caso de herbáceas

Así mismo, se colectó y prensó el material botánico necesario para su identificación correspondiente, cabe señalar que la colecta de los ejemplares se realizó en el área contigua a las unidades experimentales para no alterar a las mismas. La identificación taxonómica de los ejemplares, se llevó a cabo en el herbario Ing. Jorge Espinosa Salas del Departamento de Preparatoria Agrícola de la UACH.

3.4. Análisis

Las unidades de muestreo se establecieron aleatoriamente en cada tratamiento con fuego (cinco diferentes parcelas) y condiciones de cobertura de dosel arbóreo (cerrado ó denso y abierto) (Cuadro 2), para un total de ocho tratamientos y dos testigos.

Cuadro 2.- Tratamientos aplicados.

Época de quema	Intensidad de fuego	Densidad arbórea
Marzo	Alta	Cerrado ó Denso
		Abierto
	Baja	Cerrado ó Denso
		Abierto
Mayo	Alta	Cerrado ó Denso
		Abierto
	Baja	Cerrado ó Denso
		Abierto
Testigo no quemado	--	Cerrado ó Denso
		Abierto

Se elaboró una base de datos para el ordenamiento de los datos obtenidos en campo, considerando tres estratos: dos para el estrato herbáceo; herbáceas rasantes (plantas que se encuentran al ras del suelo) y herbáceas altas (herbáceas erguidas); y el estrato arbustivo. De esta manera se procedió al análisis de vegetación a través de la determinación de algunos parámetros ecológicos como: número de especies (riqueza de especies), cobertura (%), índice de diversidad de Shannnon-Wiener, índice de diversidad de Simpson, índice de diversidad de Margalef y valor de importancia de especies. Su cálculo se describe a continuación:

El *Índice de Shannon-Wiener* (H), de empleo muy generalizado, deriva de la teoría de información; y esta basado en los dos componetes de la diversidad específica, la riqueza, variedad ó densidad de especies, que es simplente el número total de especies y la uniformidad ó equidad en la distribución de individuos de tales especies. Es uno de

los mejores para hacer comparaciones cuando no se tiene interés en separar los componentes de la diversidad, porque es razonablemente independiente del tamaño de la muestra (Odum, 1972; Odum, 1986) . La fórmula para calcularlo es la siguiente:

$$H = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Donde:

H = Diversidad

S = Número de especies

p_i = Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N_i)

Este índice toma en cuenta los dos componentes de la diversidad: número de especies y equitatividad o uniformidad de la distribución del número de individuos de cada especie; de acuerdo con esto, un mayor número de especies incrementa la diversidad y una mayor uniformidad también lo hará (Franco, 1995). El valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener se encuentra en un intervalo de 0 a $\log_2 S$, éste último expresa la diversidad máxima de especies, donde S es el número de especies (Krebs, 1978).

El *Índice de diversidad de Simpson (D)*, se basa en el hecho de, en una comunidad biológica muy diversa, la probabilidad de que dos organismos tomados al azar sean de la misma especie. Si una especie particular i es representada en la comunidad por p_i (proporción de individuos), la probabilidad de escoger dos de esa especie es $[(p_i)(p_i)]$ ó p_i^2 . Si sumamos estas probabilidades para el total de las i

especies en la comunidad, obtenemos la diversidad de Simpson (Krebs, 1978); siendo así la fórmula utilizada en el cálculo de este índice:

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S p_i^2$$

Donde:

D = Índice de diversidad de Simpson

S = Número de especies

p_i = Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N_t)

Los valores de este índice se encuentran en un intervalo de 0 a 1 (Franco, 1995).

El *Índice de diversidad de Margalef* (D_{Mg}), es un índice de diversidad sencillo que se basa en la combinación de S (número de especies) y N (número total de individuos sumando todos los de las S especies); este índice expresa el número de especies en función del logaritmo de la extensión de la muestra y refleja bien los atributos de diversidad, tanto en número total de especies como en relaciones entre sus numerosidades respectivas (Margalef, 1980; Magurran, 1989). Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\log N}$$

Donde:

D_{Mg} = Índice de diversidad de Margalef

S = Número de especies

N = Número total de individuos sumando todos los de las S especies

Valor de importancia (V. I.):

Este índice señala el nivel de ocupación de cada especie, con respecto a las demás, en la zona estudiada (Krebs, 1985). Se calcula para herbáceas altas y arbustos con el siguiente modelo:

$$V.I. = \text{densidad relativa} + \text{do min ancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

En el caso de herbáceas rasantes se empleó, una modificación del modelo anterior:

$$V.I. = \text{do min ancia relativa} + \text{frecuencia relativa}$$

Se tomaron en cuenta únicamente dos factores, debido a que, en este estrato, suman miles por metro cuadrado.

$$\text{Densidad relativa} = \left[\frac{\text{No. de individuos de la especie}}{\text{No. total de individuos de todas las especies}} \right] \times 100 \quad (0 - 100)$$

$$\text{Densidad} = \left[\frac{\text{No. de individuos de la especie}}{\text{superficie muestreada}} \right]$$

$$\text{Do min ancia relativa} = \left[\frac{\text{Do min ancia de la especie}}{\text{Suma de las do min ancias de todas las especies}} \right] \times 100 \quad (0 - 100)$$

$$\text{Do min ancia} = \left[\frac{\text{Cobertura de la especie}}{\text{Superficie muestreada}} \right]$$

$$\text{Ejemplo de cálculo: } \text{Dominancia de la especie A} = \left[\frac{225\%}{6m^2} \right] = 37.5$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \left[\frac{\text{Frecuencia de la especie}}{\text{Suma de las frecuencias de todas las especies}} \right] \times 100 \quad (0 - 100)$$

$$\text{Frecuencia} = \left[\frac{\text{No. de sitios en que ocurre cada especie}}{\text{Total de sitios muestreados}} \right]$$

$$\% \text{ de V.I} = \left[\frac{(\text{Valor de Im por tan cia de la especie})100}{300} \right] \quad (\text{Para herbáceas altas y arbustos})$$

$$\% \text{ de V.I} = \left[\frac{(\text{Valor de Im por tan cia de la especie})100}{200} \right] \quad (\text{Para herbáceas rasantes})$$

Posterior a estos cálculos, se aplicó un análisis univariado y uno multivariado, haciendo uso de la herramienta de análisis estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 8, realizando pruebas de hipótesis para conocer si hay igualdad de efectos por intensidad del fuego sobre la diversidad, riqueza de especies y cobertura de la vegetación del sotobosque, con la aplicación del siguiente modelo anidado:

$$y_{ij} = \mu + D_i + I_{j(i)} + E_{ij}$$

$$\mathbf{y}_{ij} = \boldsymbol{\mu} + \mathbf{D}_i + \mathbf{I}_{j(i)} + \mathbf{E}_{ij}$$

Donde:

i es el nivel de densidad y j el de la intensidad del fuego y μ , $\mathbf{D}_i$, e $\mathbf{I}_{j(i)}$ (vectores de orden tres para diversidad y de orden dos para riqueza y cobertura), son los vectores que contienen los respectivos parámetros para cada uno de los tres índices en el análisis de diversidad y los que contienen los respectivos parámetros de número de especies y cobertura para el análisis de riqueza y cobertura, y $\mathbf{E}_{ij}$ es el vector de errores.

El modelo anterior, se corrió para cada uno de los tres estratos (herbáceas rasantes, herbáceas altas y arbustos) por separado, considerando la época de aplicación del fuego (mayo ó marzo) igualmente de forma individual, y comparando las intensidades alta, baja y sin quema (testigo), para cada época.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis evaluando pares de tratamientos para conocer el efecto del fuego a diferentes épocas, intensidades y densidades, para lo cual se empleó la prueba de hipótesis multivariada sobre muestras múltiples $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$ dado que $\Sigma_1 = \Sigma_2 = \dots = \Sigma_k$, para probar si los vectores de medias poblacionales μ_j , $j=1, \dots, k$; en las condiciones (k) son similares (Zamudio y Alvarado, 2002), haciendo uso de un nivel de significancia de $\alpha=0.10$. Para los datos utilizados en el análisis de diversidad con dicha prueba, se cuenta con tres variables (índices de diversidad, $p=3$); y para el análisis de riqueza y cobertura, se cuenta con dos variables (número de especies y cobertura, $p=2$) tomadas de $k=2$ condiciones: cada uno de los tratamientos con fuego que combinan época de aplicación del fuego (mayo o marzo), intensidad (alta o baja) y densidad de dosel arbóreo (cerrado o abierto), comparado con el tratamiento no quemado (testigo) que combina la misma densidad que toma el tratamiento con fuego. De la misma forma, otra comparación ($k=2$ condiciones) fue entre: los tratamientos con fuego que combinan la época de mayo, intensidad alta y densidad (cerrado o abierto), comparado con los tratamientos con fuego que combinan la época de marzo, intensidad baja, con la misma densidad que toma el tratamiento de mayo. La tercera y última comparación de pares de tratamientos ($k=2$ condiciones) fue entre cada uno de los tratamientos al segundo año (2004), comparado con cada uno de los mismos tratamientos al tercer año (2005).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Antecedentes

En México, la investigación sobre incendios forestales, se han enfocado a estudiar el efecto del fuego en ecosistemas forestales, actividades de prevención y combate, actividades operativas, índices de riesgo y en alguna medida la ecología del fuego y el uso de éste como herramienta silvícola (Olvera, 1958; Navarro, 1995; Rojo, 1998; citados por Mimbrera y Medina, 2001).

El estudio de regeneración de ecosistemas después de un incendio se había realizado, hasta hace algunos años, en el ámbito de supervivencia de plántulas o regeneración establecida (García, 1985), y no para conocer los cambios estructurales y diversidad a causa de los incendios. Sin embargo, la investigación sobre el tema está aumentando, particularmente en ecología del fuego, gracias al interés de investigadores nacionales e internacionales. Por referir un caso, la Universidad Autónoma Chapingo, CONACYT, CONAFOR, el Gobierno de la Ciudad de México y la Comunidad Santo Tomás Ajusco, llevan a cabo un proyecto sobre ecología del fuego y manejo integral del fuego en pinares de altura (*Pinus hartwegii*), denominado el Proyecto Ajusco. Asimismo, la Universidad de Guadalajara, la Universidad de Washington y el INIFAP llevan a cabo otro proyecto también con aproximación ecológica en la Reserva de Manantlán, Jalisco, que incluye la elaboración de guías estereoscópicas de combustibles forestales (Martínez y Rodríguez, 2000).

Navarro (1995), realizó un estudio con el fin de conocer la estructura y composición florística de la vegetación en áreas afectadas por el huracán Gilberto y los

incendios forestales en Quintana Roo. Evaluó los procesos de regeneración natural del bosque tropical a cinco años de ocurrencia de dichos eventos. De este estudio se obtuvo que el huracán afecta las características y estructura de la vegetación, mientras que el fuego combinado con el huracán lo afecta más severamente.

En el Distrito Federal, se han realizado estudios sobre el efecto de fuego en regeneración, supervivencia y susceptibilidad a plagas en pinos; sobre composición, riqueza y diversidad florística; efectos en calidad del aire por humos; entre otros, a través del proyecto Ajusco de la UACH antes mencionado.

Uno de estos estudios relacionado con el presente trabajo, se realizó en la zona conocida como Sierra del Ajusco, delegación Tlalpan, D. F., que presenta vegetación de bosque de *Pinus hartwegii*, en donde se llevó a cabo un estudio sinecológico del sotobosque de *Pinus hartwegii*, realizado por Martínez (2003), a un año de la aplicación de fuego a distintas intensidades y en diferentes épocas con respecto a áreas no quemadas, el cual manifestó la disponibilidad que tuvo la vegetación al espacio de crecimiento para la existencia de otras especies; también se detectaron especies indicadoras de incendios.

4.1.1. Sinecología

La sinecología se ocupa del estudio de grupos de organismos que están asociados unos con otros formando una unidad (Odum, 1972).

Según Müller-Dombois y Ellenberg (1974), los principales objetivos de la sinecología están enfocados al estudio del ambiente de las comunidades, así como la interacción sociológica de las especies que la constituyen.

4.1.2. *Pinus hartwegii* Lind.

4.1.2.1. *Distribución:* En México, *Pinus hartwegii* ha sido reportado creciendo en Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Tlaxcala, México, Morelos, Colima, Michoacán, Jalisco, Oaxaca y Chiapas, en el Distrito Federal, se localiza en las delegaciones de Tlalpan y Magdalena Contreras (Figura 3). También ha sido reportado en Guatemala, Honduras y El Salvador (Rzedowski, 1979; Perry, 1991).



Figura 3. Distribución de *Pinus hartwegii* Lindl.

Fuente: Perry, 1991.

4.1.2.2. *Hábitat:* *P. hartwegii* crece en altitudes muy elevadas, se le puede encontrar desde los 2700 m.s.n.m. y continuamente forma masas puras a 3000-4200 m.s.n.m. Sobre las altas montañas cubiertas de nieve en México, esta especie arbórea es la que alcanza mayores altitudes, integrando los bosques que forman el último nivel arbóreo de la vegetación (Rzedowski, 1979; Perry, 1991).

4.1.2.3. *Especies vegetales asociadas:* En el estrato arbóreo generalmente se encuentra en masas puras, pero en ocasiones y en las partes bajas *P. hartwegii*, se mezcla con *Pinus montezumae*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, *Abies religiosa* y *Alnus*

firmifolia, estando presentes árboles como *Salix oxylepis*, *Arbutus glandulosa* y *Buddleia parvifolia*; entre los componentes del sotobosque en el estrato arbustivo se encuentran *Lupinus elegans*, *Penstemon gentianoides*, *Senecio cinerarioides*, *Senecio angulifolius*, *Eupatorium glabratum* y *Baccharis conferta*; y en el estrato herbáceo son frecuentes, *Muhlenbergia quadridentata*, *M. macroura*, *Festuca tolucensis*, *F. hephaestophila*, *Stipa ichu* y *Alchemilla procumbens*, esta última siendo una especie característica de bosques perturbados, entre otras (Zavala, 1984; Solís, 1994) .

4.1.3. *P. hartwegii* y el fuego

Se ha observado que *Pinus hartwegii* puede resistir el efecto de incendios. Estudios realizados por Aguirre (1981; citado por Solís, 1994), concluyen que incendios severos y no controlados afectan las propiedades físicas de los suelos y su capacidad productiva, pero quemas controladas y periódicas no lo hacen; además pueden tener un efecto positivo sobre la capacidad de repoblación y sobre las tasas de crecimiento de individuos jóvenes de esta especie (Sarukán y Franco, 1981; citados por Solís, 1994).

4.1.3.1. Adaptaciones: Esta especie presenta seis adaptaciones al fuego, por lo cual se considera una de las especies más adaptadas a este factor ecológico (Rodríguez y Fulé, 2003), dichas adaptaciones son las siguientes:

Corteza gruesa aislante: Posee una protección al cambium vascular contra temperaturas letales durante los incendios (Rodríguez, 1996). En *Pinus hartwegii*, árboles de 15cm de diámetro y 0.38cm de grosor de corteza, se presentan un 100% de supervivencia a incendios de intensidad moderada (González, 2001).

Cespitosidad: Esta adaptación implica crecimiento juvenil lento en la parte aérea, que da una apariencia de zacate al arbolito; el volumen de las acículas que rodean a la

yema apical, implica relativamente baja proporción de oxígeno, lo que dificulta la combustión y se desvía el fuego de la yema; en cambio existe un crecimiento significativo de la raíz, la cual puede proveer reservas para el desarrollo de rebrotes (Rodríguez, 1996 y Rodríguez *et al*, 2004).

Rebotes basales: Se presentan especialmente en juveniles después de un incendio, el rebrote se origina a partir del cuello de la raíz, aunque cabe señalar que esta capacidad no se presenta en todas las poblaciones y se abate con la edad (Rodríguez, 1996 y Rodríguez *et al*, 2004).

Buena regeneración en sitios quemados: El fuego elimina la barrera física que los zacatonales representan para que la semilla tenga contacto con el suelo mineral y reduce temporalmente la competencia; de igual manera, el suelo es enriquecido por el lecho de cenizas que permite contar con más nutrientes para las plántulas (Rodríguez *et al*, 2004).

Chamuscado de copa: El fuego en el chamuscado de copa, representa un elemento de poda natural (Rodríguez *et al*, 2004); *Pinus hartwegii* tiene la capacidad de recuperar su copa emitiendo rebrotes, aunque estos son más abundantes con chamuscados de copa menores a 30% (González, 2001).

Recuperación del follaje: *P. hartwegii* puede tolerar pérdidas de todo su follaje, siempre y cuando no se mate a la yema terminal o las localizadas en la parte más alta (Rodríguez *et al*, 2004).

Cabe mencionar, que independientemente de las adaptaciones de *Pinus hartwegii*, el exceso en la frecuencia e intensidad de fuego puede rebasar la tolerancia de la especie y originar mortalidad; así también la supresión del fuego representa acumulación de combustible que podría ocasionar un efecto devastador en un incendio de mayor intensidad (Rodríguez, 2001).

4.2.2. Riqueza y cobertura de especies

Al igual que para el caso de diversidad (ver Cuadro 4), en el mes de marzo hay poca evidencia significativa de diferencias en las intensidades, mientras que en mayo es más notable y con mayor frecuencia significativa. Lo que significa que las quemas de mayo tienen un mayor efecto sobre la riqueza y cobertura que las quemas de marzo para los tres estratos evaluados. Así mismo, puede notarse que el número de especies (riqueza) es más afectado por las quemas de mayo que por las de marzo en ambos años, el cual es un efecto positivo, es decir que el fuego de mayo, en general, favorece la riqueza de especies. Cabe indicar que para el caso del estrato rasante, el que no se muestren diferencias al segundo año y al tercero sí, hace notable la posible influencia de la radiación de especies desde las parcelas quemadas hacia la no quemada y a la reducción de dichas especies hacia el tercer año; esto es notorio debido a que, al primer año de evaluación en la zona de estudio Martínez (2003) reporta un total de 13 especies en el área testigo, comparado con 19 especies al segundo año y una reducción a 14 especies al tercer año. Con base en lo señalado, es interesante destacar la influencia de áreas quemadas (en vegetación dependiente del fuego) como foco de dispersión de especies hacia los bordes de las zonas adyacentes.

De igual forma, para el caso del estrato herbáceas altas, la cobertura no manifiesta diferencias al segundo año, las cuales son tangibles al tercer año; esto podría atribuirse al tiempo que ha transcurrido desde las quemas en los tratamientos con fuego, que indicaría un aumento en la cobertura en estas áreas, o bien podría exteriorizar la presencia de pastoreo en la zona.

Cuadro 4.- Niveles de significancia muestral de pruebas univariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Riqueza y cobertura segundo y tercer año).

Riqueza y cobertura de especies 2004				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Variable	Nivel de significancia	Variable	Nivel de significancia
Hr	R	0.1520	R	0.0928
	COB	0.0068	COB	0.0019
Ha	R	0.0348	R	0.7804
	COB	0.4730	COB	0.8601
Ar	R	0.0119	R	0.1958
	COB	0.3829	COB	0.3449
Riqueza y cobertura de especies 2005				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Variable	Nivel de significancia	Variable	Nivel de significancia
Hr	R	0.0122	R	0.3784
	COB	0.0956	COB	0.0604
Ha	R	0.0842	R	0.0982
	COB	0.0217	COB	0.0364
Ar	R	0.0470	R	0.3086
	COB	0.6067	COB	0.5742

Hr: Herbáceas rasantes, Ha: Herbáceas altas, Ar: Arbustos; R: Riqueza (número de especies), COB: Cobertura.

4.3. Pruebas de hipótesis multivariadas comparando intensidad de fuego

4.3.1. Diversidad

A diferencia de las pruebas univariadas, los niveles de significancia muestral de las pruebas de hipótesis multivariadas sobre la igualdad efecto por intensidad de fuego, en todos los índices de diversidad, resultan ser pequeños en ambos meses, es decir, que tanto en mayo como en marzo hay evidencia significativa de diferencias en las intensidades del fuego. Lo que significa que considerando los tres índices en conjunto (variables), tanto las quemas de mayo como las de marzo tienen un efecto sobre la diversidad de especies para los tres estratos evaluados.

Lo anterior indica que el efecto del fuego se ve ensombrecido cuando nuestra medición se basa en un solo indicador y aparece cuando son tres los indicadores que se usan para ello. Las razones pueden ser varias, pero si el experimento fue bien conducido, entonces indicaría que las diferencias que no capta alguno de los índices, debido a su construcción, las capta algún otro, porque la construcción de este último tiene lo pertinente para hacerlas visibles, de modo que, al medir con tres estimadores que captan diferente información respecto a un mismo atributo, hace que las pruebas multivariadas muestren las significancias que se ocultan en las univariadas.

Como puede observarse en el Cuadro 5, lo antes mencionado es más evidente en 2004, ya que en 2005 los estratos herbáceas rasantes y herbáceas altas ya no manifiestan evidencia significativa de diferencias en intensidades, es decir que para el tercer año las quemas de marzo no causan un efecto sobre la diversidad en dichos estratos, lo cual podría indicar que la diversidad en estos dos estratos comienza a homogeneizarse entre tratamientos para el tercer año del fuego.

Cuadro 5.- Niveles de significancia muestral de pruebas multivariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Índices de diversidad segundo y tercer año).

Índices de diversidad 2004				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Prueba	Nivel de significancia	Prueba	Nivel de significancia
Hr	Wilks' Lambda	0.0365	Wilks' Lambda	0.0053
	Pillai's Trace	0.0355	Pillai's Trace	0.0119
	Hotelling-Lawley	0.0596	Hotelling-Lawley	0.0078
	Roy's Root	0.0042	Roy's Root	0.0002
Ha	Wilks' Lambda	0.1175	Wilks' Lambda	0.2047
	Pillai's Trace	0.0926	Pillai's Trace	0.2245
	Hotelling-Lawley	0.1668	Hotelling-Lawley	0.2096
	Roy's Root	0.0190	Roy's Root	0.0164
Ar	Wilks' Lambda	0.0245	Wilks' Lambda	0.0126
	Pillai's Trace	0.0382	Pillai's Trace	0.0305
	Hotelling-Lawley	0.0304	Hotelling-Lawley	0.0165
	Roy's Root	0.0012	Roy's Root	0.0007
Índices de diversidad 2005				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Prueba	Nivel de significancia	Prueba	Nivel de significancia
Hr	Wilks' Lambda	0.0011	Wilks' Lambda	0.3950
	Pillai's Trace	0.0134	Pillai's Trace	0.3636
	Hotelling-Lawley	0.0008	Hotelling-Lawley	0.4220
	Roy's Root	<.0001	Roy's Root	0.0787
Ha	Wilks' Lambda	0.1468	Wilks' Lambda	0.4393
	Pillai's Trace	0.1034	Pillai's Trace	0.4138
	Hotelling-Lawley	0.2158	Hotelling-Lawley	0.4555
	Roy's Root	0.0377	Roy's Root	0.0812
Ar	Wilks' Lambda	0.0596	Wilks' Lambda	0.4028
	Pillai's Trace	0.0871	Pillai's Trace	0.3736
	Hotelling-Lawley	0.0627	Hotelling-Lawley	0.4161
	Roy's Root	0.0028	Roy's Root	0.0518

Hr: Herbáceas rasantes, Ha: Herbáceas altas, Ar: Arbustos.

Comparando distancias normalizadas de los efectos de las intensidades del fuego, se trató de encontrar el índice que provocaba más rechazos en la prueba de hipótesis de igualdad de efectos de intensidades, para recomendar su uso en futuras investigaciones. Sin embargo, los resultados mostraron inconsistencias, llegando a la conclusión de que los tres índices tenían una conducta semejante en los rechazos.

Así, no fue posible determinar cuál índice es el que exhibe mayor contribución para mostrar significancia en las intensidades de fuego, probablemente debido a que existe una intervención de factores ecológicos, como el pastoreo (existente en la zona de estudio) y la radiación de especies de parcelas quemadas a no quemadas, que aunados a las diferentes intensidades de fuego causan dificultad para determinar estadísticamente dicha contribución.

Cabe añadir, que el efecto del fuego es pasajero y que debido a esto, los pastos tienden a dominar con el paso del tiempo desplazando a otras especies, esto con base en los elevados porcentajes de valor de importancia que muestran algunas gramíneas, especialmente *Festuca tolucensis*, los cuales exponen un promedio aproximado de 31% para las áreas quemadas en 2004 y 37% en 2005 (obtenidos a partir de la presente investigación), que comparado con 28% obtenido por Martínez en el primer año (2003), puede notarse el incremento de éstos a través del tiempo. Minogue *et al.* (1991) y Morris *et al.* (1993), mencionan que muchos pastos poseen características morfológicas y fisiológicas, tales como un sistema de raíces fibrosas y fotosíntesis C₄, las cuales los hacen competidores difíciles. Algunos dominan a las plántulas de pino, reduciendo la disponibilidad de luz y agotando la humedad de la zona de raíces de éstas (Cleary *et al.*, 1982).

4.3.2. Riqueza y cobertura

En general, puede notarse que las quemas de mayo tienen un efecto mayor sobre la riqueza y cobertura que las quemas de marzo (Cuadro 6), ya que en marzo no hay evidencia significativa de diferencias en las intensidades mientras que en mayo sí, exceptuando a herbáceas rasantes para 2004 y herbáceas altas en 2005, las cuales muestran diferencias significativas para el mes de marzo.

Así mismo, es posible notar que las diferencias para la época de mayo siguen una conducta similar del segundo al tercer año en los tres estratos; sin embargo, para el mes de marzo únicamente los arbustos siguen este comportamiento, ya que el estrato herbáceo rasante no manifiesta un efecto del fuego al tercer año, lo cual pudiese mostrar una tendencia a la homogeneidad en riqueza y cobertura para éste estrato; en contraste, las herbáceas altas sí exponen un efecto de intensidad del fuego al tercer año, que no es evidente al segundo, lo cual puede reflejar la influencia del pastoreo sobre las parcelas estudiadas.

Cuadro 6.- Niveles de significancia muestral de pruebas multivariadas de hipótesis sobre intensidad del fuego (Riqueza y cobertura segundo y tercer año).

Riqueza y cobertura de especies 2004				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Prueba	Nivel de significancia	Prueba	Nivel de significancia
Hr	Wilks' Lambda	0.0116	Wilks' Lambda	0.0035
	Pillai's Trace	0.0102	Pillai's Trace	0.0155
	Hotelling-Lawley	0.0207	Hotelling-Lawley	0.0026
	Roy's Root	0.0066	Roy's Root	0.0003
Ha	Wilks' Lambda	0.1023	Wilks' Lambda	0.9693
	Pillai's Trace	0.0980	Pillai's Trace	0.9631
	Hotelling-Lawley	0.1192	Hotelling-Lawley	0.9678
	Roy's Root	0.0347	Roy's Root	0.7445
Ar	Wilks' Lambda	0.0336	Wilks' Lambda	0.4347
	Pillai's Trace	0.0412	Pillai's Trace	0.4121
	Hotelling-Lawley	0.0389	Hotelling-Lawley	0.4432
	Roy's Root	0.0084	Roy's Root	0.1691
Riqueza y cobertura de especies 2005				
	Época			
Estrato	Mayo		Marzo	
	Prueba	Nivel de significancia	Prueba	Nivel de significancia
Hr	Wilks' Lambda	0.0055	Wilks' Lambda	0.3128
	Pillai's Trace	0.0041	Pillai's Trace	0.3770
	Hotelling-Lawley	0.0129	Hotelling-Lawley	0.2673
	Roy's Root	0.0052	Roy's Root	0.0550
Ha	Wilks' Lambda	0.0155	Wilks' Lambda	0.0276
	Pillai's Trace	0.0096	Pillai's Trace	0.0201
	Hotelling-Lawley	0.0330	Hotelling-Lawley	0.0478
	Roy's Root	0.0208	Roy's Root	0.0215
Ar	Wilks' Lambda	0.1095	Wilks' Lambda	0.3974
	Pillai's Trace	0.1235	Pillai's Trace	0.4403
	Hotelling-Lawley	0.1119	Hotelling-Lawley	0.3580
	Roy's Root	0.0255	Roy's Root	0.0869

Hr: Herbáceas rasantes, Ha: Herbáceas altas, Ar: Arbustos.

De igual forma que para diversidad, comparando distancias normalizadas de los efectos de las intensidades del fuego, se trató de encontrar la variable (número de especies ó cobertura) que provocaba más rechazos en la prueba de hipótesis de igualdad de efectos de intensidades; llegando a la conclusión de que el número de especies (riqueza) y la cobertura, tenían una conducta similar en los rechazos; por lo cual, no fue posible determinar cuál de dichas variables es la que exhibe mayor contribución para mostrar significancia, debido probablemente a la intervención de los factores ecológicos y antrópicos antes mencionados.

De lo anterior, puede decirse que en general, las quemas de mayo son las que muestran mayor efecto sobre las variables evaluadas de la vegetación del sotobosque, que las quemas de marzo, esto principalmente para el año 2004, y con una tendencia hacia la homogeneidad al año 2005; y que generalmente el efecto del fuego es hacia el aumento en diversidad y riqueza de especies. Esto nos permite apreciar algunos de los efectos benéficos que se pueden obtener del factor fuego, entre los cuales también se encuentra la provocación de brotes tiernos del zacate, con los que el pastor alimenta al ganado durante la época de sequía, siendo el pastoreo un factor que se suma a los efectos ocasionados por el fuego en el presente estudio y la recuperación del pasto a través del tiempo. Aunque es necesario resaltar que el fuego aplicado en la época de mayo a una intensidad alta, puede ocasionar mortandad en el arbolado, lo cual es perjudicial para el ecosistema; debido a eso, es de suma importancia contar con todas las condiciones necesarias para la realización adecuada de una quema prescrita.

4.4. Comparación entre pares de tratamientos (segundo y tercer año después de las quemas)

4.4.1. *Diversidad*

A continuación, se describen los resultados de diversidad obtenidos a dos años de las quemas por estrato (herbáceas rasantes, herbáceas altas y arbustivas), primeramente se muestran las comparaciones entre los tratamientos con fuego y el control y posteriormente entre los tratamientos de mayo con quema a alta intensidad del fuego y de marzo baja intensidad, con ambas densidades de dosel arbóreo; estos resultados son seguidos por los resultados de diversidad a tres años de las quemas en el mismo orden descrito y al final de este apartado se muestran las comparaciones de diversidad entre años.

4.4.1.1. *Diversidad dos años después de la aplicación de fuego (2004)*

Para los tres índices de diversidad evaluados, los resultados según el análisis multivariado son los siguientes:

4.4.1.1.1. *Herbáceas rasantes (tratamientos y control)*

Comparando todos los tratamientos con aplicación de fuego y el control (sin aplicación de fuego), se tiene que los tratamientos que presentan diferencias significativas estadísticamente son los que corresponden al fuego aplicado en el mes de marzo a alta y baja intensidad con densidad de dosel arbóreo abierto; manifestándose la mayor diversidad en éstos, al menos para dos índices –Shannon-Wiener y Margalef-, con respecto a la parcela no quemada (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2$ ¹	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.40 \\ 1.94 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.94 \\ 0.73 \\ 2.20 \end{bmatrix}$	4.68	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 2.02 \\ 0.72 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.56 \\ 1.33 \end{bmatrix}$	0.32	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 2.02 \\ 0.75 \\ 2.53 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.94 \\ 0.73 \\ 2.20 \end{bmatrix}$	0.96	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.90 \\ 0.38 \\ 0.95 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.56 \\ 1.33 \end{bmatrix}$	0.41	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.02 \\ 0.41 \\ 1.12 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.94 \\ 0.73 \\ 2.20 \end{bmatrix}$	1.15	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.74 \\ 0.60 \\ 2.19 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.56 \\ 1.33 \end{bmatrix}$	12.49	**
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.51 \\ 0.50 \\ 2.01 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.94 \\ 0.73 \\ 2.20 \end{bmatrix}$	2.05	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.46 \\ 2.15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.56 \\ 1.33 \end{bmatrix}$	38.5	**

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

MyAc: Mayo, alta intensidad, alta densidad; MyAa: Mayo, alta intensidad, baja densidad; MyBc: Mayo, baja intensidad, alta densidad; MyBa: Mayo, baja intensidad, baja densidad; MrAc: Marzo, alta intensidad, alta densidad; MrAa: Marzo, alta intensidad, baja densidad; MrBc: Marzo, baja intensidad, alta densidad; MrBa: Marzo, baja intensidad, baja densidad; Cc: Testigo, densidad alta; Cc: Testigo, densidad baja.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Martínez (2003), para herbáceas en general, quien menciona un aumento en la diversidad de especies del estrato herbáceo tres meses después de la aplicación de fuego en los tratamientos del mes de marzo en condiciones de dosel abierto. Así mismo Lunt (1994) y Morgan (1996; citados por Lunt y Morgan, 2001) mencionan que en Australia, estudiando la promoción floral, muchas especies herbáceas se desarrollan prolíficamente en primavera después de una quema, siempre y cuando la humedad adecuada de suelo este disponible, como es el caso de la zona de estudio.

De igual forma, Collins y Gibson (1990) mencionan que en pastizales quemados en primavera, muchas especies inician su crecimiento y la equitatividad decrece a través del tiempo, debido a que la cobertura de especies C_3 es continuamente reducida y dominada por especies de pastos C_4 , favorecidos por el fuego.

4.4.1.1.2. *Herbáceas altas (tratamientos y control)*

Para este estrato la diversidad no presenta diferencias significativas entre cada una de las áreas quemadas y la no quemada, esto difiere de la diversidad evaluada al primer año de aplicación de las quemas, donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los tratamientos de mayo baja intensidad densidad alta y marzo intensidades alta y baja densidad de dosel arbóreo con respecto al testigo, evaluado con el índice de diversidad de Simpson (Martínez 2003); lo cual indica que a dos años de la aplicación de fuego el estrato herbáceo alto se empató en diversidad al control (Cuadro 8), sin descartar la influencia de la radiación de especies desde las áreas quemadas hacia la parcela no quemada, ya que al primer año se encontró un número

promedio de 2 especies en el área testigo comparado con 3.5 especies encontradas al segundo año.

Cuadro 8. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.78 \\ 0.67 \\ 2.94 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.51 \\ 1.53 \end{bmatrix}$	0.39	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.79 \\ 0.31 \\ 0.93 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.92 \\ 0.71 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	3.48	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.30 \\ 0.46 \\ 2.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.51 \\ 1.53 \end{bmatrix}$	1.79	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.79 \\ 0.68 \\ 2.61 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.92 \\ 0.71 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	0.60	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.40 \\ 1.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.51 \\ 1.53 \end{bmatrix}$	1.19	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.26 \\ 0.46 \\ 1.94 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.92 \\ 0.71 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	2.78	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.17 \\ 0.44 \\ 1.52 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.51 \\ 1.53 \end{bmatrix}$	4.00	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.33 \\ 0.56 \\ 1.49 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.92 \\ 0.71 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	2.33	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.1.3. Arbustos (tratamientos y control)

Para el caso del estrato arbustivo, el fuego empleado en ambos meses (mayo y marzo), a ambas intensidades (alta y baja) y con una densidad de dosel abierta, favorece la diversidad después de dos años de su aplicación con respecto al control; lo cual puede observarse en los vectores de medias correspondientes a estos tratamientos (Cuadro 9), en al menos dos índices: el de Shannon-Wiener y el de Margalef.

Cuadro 9. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego x_1	Vector de medias para el control x_2	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.60 \\ 2.21 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.01 \\ 0.44 \\ 1.76 \end{bmatrix}$	2.74	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.17 \\ 0.42 \\ 1.80 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.45 \\ 0.84 \end{bmatrix}$	16.04	**
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.83 \\ 0.67 \\ 2.42 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.01 \\ 0.44 \\ 1.76 \end{bmatrix}$	1.94	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.52 \\ 0.61 \\ 2.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.45 \\ 0.84 \end{bmatrix}$	17.29	**
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.88 \\ 0.69 \\ 2.25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.01 \\ 0.44 \\ 1.76 \end{bmatrix}$	3.18	-

Continúa. . .

Cuadro 9. Continuación.

MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.37 \\ 0.53 \\ 1.81 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.45 \\ 0.84 \end{bmatrix}$	10.03	**
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.73 \\ 0.66 \\ 2.40 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.01 \\ 0.44 \\ 1.76 \end{bmatrix}$	1.87	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.97 \\ 0.37 \\ 1.50 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.45 \\ 0.84 \end{bmatrix}$	18.69	**

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.1.4. *Herbáceas rasantes (MyA y MrB)*

Comparando ahora los pares de tratamientos extremos en cuanto a época de aplicación e intensidad de fuego (Mayo alta intensidad y Marzo baja intensidad), las diferencias estadísticamente significativas en diversidad de especies, se presentan en aquellos que se encuentran en una condición de dosel abierto (Cuadro 10); siendo muy evidente la mayor diversidad en el tratamiento de mayo alta abierto que para marzo baja, en los tres índices de diversidad evaluados.

Cuadro 10. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.40 \\ 1.95 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.51 \\ 0.50 \\ 2.01 \end{bmatrix}$	1.81	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 2.02 \\ 0.72 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.46 \\ 2.15 \end{bmatrix}$	130.7	**

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.1.5. *Herbáceas altas (MyA y MrB)*

Para el presente estrato, no se manifestaron diferencias significativas de diversidad de especies entre estos tratamientos extremos (Cuadro 11), lo cual muestra que a dos años del tratamiento con fuego, la diversidad de especies aparentemente se estabiliza en este estrato y de igual manera sucede en el arbustivo, como puede observarse en el Cuadro 12.

Cuadro 11. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 1.78 \\ 0.67 \\ 2.94 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.17 \\ 0.44 \\ 1.52 \end{bmatrix}$	0.39	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 0.79 \\ 0.31 \\ 0.93 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.33 \\ 0.56 \\ 1.49 \end{bmatrix}$	4.28	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.1.6. Arbustos (MyA y MrB)

En este caso, tampoco se apreciaron diferencias.

Cuadro 12. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.60 \\ 2.21 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.73 \\ 0.66 \\ 2.40 \end{bmatrix}$	0.99	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 1.17 \\ 0.42 \\ 1.80 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.97 \\ 0.37 \\ 1.50 \end{bmatrix}$	2.38	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2. *Diversidad tres años después de la aplicación de fuego (2005)*

4.4.1.2.1. *Herbáceas rasantes (tratamientos y control)*

Para el tercer año, los tratamientos que presentan diferencias son los correspondientes al mes de mayo alta intensidad densidad alta, así como el de baja intensidad densidad de árboles baja, exhibiéndose una mayor diversidad en estos tratamientos en relación al control (Cuadro 13); el resto de los tratamientos resultaron sin diferencias estadísticamente significativas, esto en contraste con el segundo año donde las diferencias fueron encontradas en los tratamientos de marzo con densidad de dosel abierto, lo cual puede deberse a que a tres años del tratamiento con fuego las especies probablemente comienzan a radiarse a las parcelas con mayor incidencia de luz; cabe mencionar que la diversidad incrementa también en áreas de alta cobertura de dosel arbóreo en el tratamiento de mayo alta intensidad, esto probablemente debido a que la mayoría de los árboles en este tratamiento presentan muy poca cobertura de dosel, pues la afectación que sufrieron con el incendio confinado aumentó la radiación solar directa, y de esta forma la diversidad de especies en el estrato herbáceo se incrementa.

Cuadro 13. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.61 \\ 0.61 \\ 1.82 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.14 \\ 0.42 \\ 1.74 \end{bmatrix}$	11.00	**
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.89 \\ 0.33 \\ 1.08 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.06 \\ 0.44 \\ 1.13 \end{bmatrix}$	1.43	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.34 \\ 0.51 \\ 1.31 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.14 \\ 0.42 \\ 1.74 \end{bmatrix}$	1.49	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 2.54 \\ 0.81 \\ 3.18 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.06 \\ 0.44 \\ 1.13 \end{bmatrix}$	23.34	**
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.49 \\ 1.71 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.14 \\ 0.42 \\ 1.74 \end{bmatrix}$	0.40	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.63 \\ 0.60 \\ 1.79 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.06 \\ 0.44 \\ 1.13 \end{bmatrix}$	1.76	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.51 \\ 2.12 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.14 \\ 0.42 \\ 1.74 \end{bmatrix}$	0.59	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.45 \\ 2.14 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.06 \\ 0.44 \\ 1.13 \end{bmatrix}$	1.26	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2.2. *Herbáceas altas (tratamientos y control)*

Al igual que en el segundo año, la diversidad de especies en este estrato no presenta diferencias con respecto al área no quemada, mostrando así una tendencia hacia la homogeneidad en la diversidad de especies de este estrato (Cuadro 14).

Cuadro 14. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego x_1	Vector de medias para el control x_2	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 0.74 \\ 0.33 \\ 0.72 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.44 \\ 0.20 \\ 0.53 \end{bmatrix}$	1.29	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.84 \\ 0.39 \\ 1.21 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.28 \\ 0.55 \end{bmatrix}$	0.64	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 0.96 \\ 0.43 \\ 0.87 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.44 \\ 0.20 \\ 0.53 \end{bmatrix}$	0.74	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.05 \\ 0.41 \\ 1.45 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.28 \\ 0.55 \end{bmatrix}$	6.56	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 0.64 \\ 0.28 \\ 0.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.44 \\ 0.20 \\ 0.53 \end{bmatrix}$	5.65	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 0.75 \\ 0.34 \\ 0.72 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.28 \\ 0.55 \end{bmatrix}$	1.46	-

Continúa. . .

Cuadro 14. Continuación.

MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 0.84 \\ 0.38 \\ 1.01 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.44 \\ 0.20 \\ 0.53 \end{bmatrix}$	0.49	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.13 \\ 0.50 \\ 1.19 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.58 \\ 0.28 \\ 0.55 \end{bmatrix}$	0.66	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2.3. Arbustos (tratamientos y control)

El único tratamiento que despliega diferencias para el presente estrato es el correspondiente a mayo alta intensidad y cobertura de dosel abierto, el cual muestra mayor diversidad en relación al control, debido probablemente a la mayor incidencia de luz y espacio de crecimiento que existe en este tratamiento; cabe indicar que este tratamiento también mostró diferencias significativas en el primer y segundo año. Es importante subrayar que el fuego a una intensidad alta puede favorecer la diversidad, pero éste con la intensidad referida, a su vez es perjudicial para el arbolado (Cuadro 15).

Cuadro 15. Diversidad comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego x_1^1	Vector de medias para el control x_2^1	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 0.61 \\ 2.35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.09 \\ 0.40 \\ 2.09 \end{bmatrix}$	0.52	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.54 \\ 2.49 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.46 \\ 0.96 \end{bmatrix}$	13.23	**
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.81 \\ 0.61 \\ 2.83 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.09 \\ 0.40 \\ 2.09 \end{bmatrix}$	0.84	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.79 \\ 0.66 \\ 2.37 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.46 \\ 0.96 \end{bmatrix}$	4.13	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.33 \\ 0.45 \\ 2.56 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.09 \\ 0.40 \\ 2.09 \end{bmatrix}$	1.82	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.46 \\ 0.72 \\ 2.24 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.46 \\ 0.96 \end{bmatrix}$	0.59	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.62 \\ 2.42 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.09 \\ 0.40 \\ 2.09 \end{bmatrix}$	0.52	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.42 \\ 1.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.46 \\ 0.96 \end{bmatrix}$	3.28	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $x = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2.4. *Herbáceas rasantes (MyA y MrB)*

Para la comparación entre este par de tratamientos con densidad alta y baja de dosel, puede observarse que la diversidad de especies no manifiesta diferencias para los tres estratos evaluados (Cuadros 16, 17 y 18), expresando una diversidad constante del sotobosque a tres años de aplicación de fuego entre estos pares de tratamientos.

Cuadro 16. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA x_1^1	Vector de medias para los tratamientos MrB x_2^1	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 1.61 \\ 0.61 \\ 1.82 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.51 \\ 2.12 \end{bmatrix}$	2.39	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 0.89 \\ 0.33 \\ 1.08 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.45 \\ 2.14 \end{bmatrix}$	0.52	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2.5. *Herbáceas altas (MyA y MrB)*

Cuadro 17. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 0.74 \\ 0.33 \\ 0.72 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.84 \\ 0.38 \\ 1.01 \end{bmatrix}$	1.63	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 0.82 \\ 0.39 \\ 1.21 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.13 \\ 0.50 \\ 1.19 \end{bmatrix}$	0.95	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.2.6. *Arbustos (MyA y MrB)*

Cuadro 18. Diversidad comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 0.61 \\ 2.35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.62 \\ 2.42 \end{bmatrix}$	0.23	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.54 \\ 2.49 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.42 \\ 1.51 \end{bmatrix}$	2.71	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.3. Diversidad comparada entre años (2004 y 2005)

4.4.1.3.1. Herbáceas rasantes

Comparando el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, se tienen diferencias significativas únicamente en los tratamientos en mayo baja intensidad para ambas coberturas de dosel y para el tratamiento sin quema con dosel cerrado (Cuadro 19). En los tratamientos de mayo a baja intensidad se observó que, en condición cerrada, la diversidad tendió a reducirse; pero en condición abierta, aún continuó aumentando hacia el tercer año. Así mismo, el control en condición cerrada muestra cambios en disminución de diversidad, lo cual probablemente se relacione con la radiación de especies de los tratamientos con quema hacia el control el segundo año, y con la reducción de tales especies en este último y parcelas quemadas hacia el tercer año. Estos cambios fueron lo únicos cambios registrados para el estrato rasante.

Cuadro 19. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas rasantes.

Tratamiento	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 1.24 \\ 0.40 \\ 1.95 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.61 \\ 0.61 \\ 1.82 \end{bmatrix}$	4.66	-
MyAa	$\begin{bmatrix} 2.02 \\ 0.72 \\ 2.44 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.89 \\ 0.33 \\ 1.08 \end{bmatrix}$	2.02	-

Continúa. . .

Cuadro 19. Continuación.

MyBc	$\begin{bmatrix} 2.12 \\ 0.75 \\ 2.53 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.34 \\ 0.51 \\ 1.31 \end{bmatrix}$	16.56	**
MyBa	$\begin{bmatrix} 0.90 \\ 0.38 \\ 0.95 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.54 \\ 0.81 \\ 3.18 \end{bmatrix}$	17.10	**
MrAc	$\begin{bmatrix} 1.02 \\ 0.41 \\ 1.12 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.49 \\ 1.71 \end{bmatrix}$	0.37	-
MrAa	$\begin{bmatrix} 1.74 \\ 0.60 \\ 2.19 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.63 \\ 0.60 \\ 1.79 \end{bmatrix}$	3.77	-
MrBc	$\begin{bmatrix} 1.51 \\ 0.50 \\ 2.01 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.51 \\ 2.12 \end{bmatrix}$	0.025	-
MrBa	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.46 \\ 2.15 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.45 \\ 2.14 \end{bmatrix}$	0.41	-
Cc	$\begin{bmatrix} 1.94 \\ 0.73 \\ 2.20 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.41 \\ 0.42 \\ 1.74 \end{bmatrix}$	77.23	**
Ca	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.56 \\ 1.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.06 \\ 0.44 \\ 1.13 \end{bmatrix}$	1.48	-

¹ Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.1.3.2. *Herbáceas altas*

Las diferencias observadas entre años para las herbáceas altas se presentan en el tratamiento de mayo alta intensidad en condición abierta, con un aumento en la diversidad de especies, debido principalmente a que el número de especies existentes en el segundo año se vieron reducidas, pero distribuidas de una manera mas homogénea al tercer año; en el tratamiento de marzo alta intensidad y condición abierta, se percibe una

disminución en diversidad, al igual que en el control con densidad de dosel abierto, causada por una reducción de especies del segundo al tercer año, la cuales mostraron proporciones relativamente homogéneas al segundo año y muy disímiles al tercero. Lo anterior es debido a que la diversidad esta compuesta por dos elementos básicos que son el número de especies y la uniformidad en la distribución de éstas (abundancia) (Odum, 1986), la variación entre estos dos componentes puede incrementar o reducir la diversidad; un ejemplo de esto puede mostrarse con el tratamiento de mayo alta intensidad en condición abierta, el cual presenta un total de 3 especies distribuidas en proporciones de 0.952, 0.034, 0.014 al segundo año, y un total de 2 especies distribuidas en 0.25, 0.75 al tercer año, las especies se reducen pero la proporción de éstas es más uniforme al tercer año, lo cual causa un incremento en diversidad (Cuadro 20); en este caso, el fuego está favoreciendo la uniformidad en la distribución de especies del segundo al tercer año.

Cuadro 20. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas altas.

Tratamiento	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 9.16$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 1.78 \\ 0.67 \\ 2.94 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.74 \\ 0.33 \\ 0.72 \end{bmatrix}$	4.82	-
MyAa	$\begin{bmatrix} 0.79 \\ 0.31 \\ 0.93 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0.84 \\ 0.39 \\ 1.21 \end{bmatrix}$	12.26	**

Continúa. . .

Cuadro 21. Diversidad comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato arbustivo.

Tratamientos	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$ ¹	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$ ¹	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c = 9.16$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.60 \\ 2.21 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 0.61 \\ 2.35 \end{bmatrix}$	0.036	-
MyAa	$\begin{bmatrix} 1.17 \\ 0.42 \\ 1.80 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.57 \\ 0.54 \\ 2.49 \end{bmatrix}$	3.38	-
MyBc	$\begin{bmatrix} 1.83 \\ 0.67 \\ 2.42 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.81 \\ 0.61 \\ 2.83 \end{bmatrix}$	1,115.99	**
MyBa	$\begin{bmatrix} 1.52 \\ 0.61 \\ 2.51 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.79 \\ 0.66 \\ 2.37 \end{bmatrix}$	0.15	-
MrAc	$\begin{bmatrix} 1.88 \\ 0.69 \\ 2.25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.31 \\ 0.45 \\ 2.56 \end{bmatrix}$	1.94	-
MrAa	$\begin{bmatrix} 1.37 \\ 0.53 \\ 1.81 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.46 \\ 0.72 \\ 2.24 \end{bmatrix}$	0.53	-
MrBc	$\begin{bmatrix} 1.73 \\ 0.66 \\ 2.40 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.64 \\ 0.62 \\ 2.42 \end{bmatrix}$	2.41	-
MrBa	$\begin{bmatrix} 0.97 \\ 0.37 \\ 1.50 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.42 \\ 1.51 \end{bmatrix}$	0.02	-
Cc	$\begin{bmatrix} 1.01 \\ 0.44 \\ 1.76 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.09 \\ 0.40 \\ 2.09 \end{bmatrix}$	3.79	-
Ca	$\begin{bmatrix} 0.93 \\ 0.45 \\ 0.84 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.07 \\ 0.46 \\ 0.96 \end{bmatrix}$	4.27	-

¹Orden de las variables índice de diversidad en los vectores de medias $\bar{x} =$

$\begin{bmatrix} \text{Índice de Shannon - Wiener} \\ \text{Índice de Simpson} \\ \text{Índice de Margalef} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

Como puede observarse líneas arriba, el fuego tiende a aumentar la diversidad de especies en los tres estratos especialmente al segundo año, pero es necesario considerar las características bajo las cuales éste es aplicado, ya que como menciona Brown (2000), la regulación del fuego incluye época y frecuencia, lo cual es crucial para el manejo de conservación de la diversidad.

El fuego aplicado de una forma muy frecuente puede reducir la diversidad, como lo sugiere Whelan (1997) para especies leñosas, la cuales vieron menguados considerablemente su porcentaje de cobertura, diversidad y riqueza de especies con quemas anuales durante 23 años, en comparación con un área no quemada en pinares altos del norte de Florida. Así mismo, incluso con intervalos fijos de aplicación de fuego más largos, por ejemplo cada 4 años, cabría esperar menor diversidad que una aplicación promedio de 4 años pero con variación (2 años, 6 años, etc.), de manera que se permita la manifestación de la máxima diversidad de especies en el ecosistema.

Los regímenes de fuego tienen la mayor influencia sobre la diversidad en las poblaciones de plantas del sotobosque, debido a que estas son más afectadas por el fuego que el dosel arbóreo Brown (2000), aunque éste a su vez puede ser afectado severamente por un incendio intenso. Así mismo, la biodiversidad puede ser incrementada por el fuego en muchos ecosistemas (dependientes del fuego), y se puede ver reducida por la eliminación de este factor (Keane, 2000; citado por Brown, 2000).

Otra observación importante es la evidencia de mayores valores de diversidad de especies en los tratamientos con fuego, esto se debe a que la afectación del dosel arbóreo por el fuego aumenta la radiación solar directa eliminando competencia para las especies del sotobosque y permitiendo así la existencia de una mayor disponibilidad de nutrientes favorecida por la cama de cenizas, las cuales son condiciones favorables del suelo para

la germinación de especies en el banco de semillas (Abrahamson y Hartnett, 1991; Whelan, 1997).

Los efectos en la diversidad de especies son menos variables que los efectos en la riqueza. Por ejemplo, Humphrey (1984) encontró que la diversidad aumentó después de un incendio en pastizales con arbustos y luego decreció en el segundo y tercer año; la declinación de diversidad en praderas no quemadas se atribuye al desarrollo de una gruesa capa de detritos y material muerto en pie, los cuales inhiben la germinación y el crecimiento de muchas especies.

4.4.2. Riqueza de especies y cobertura

De igual forma para las variables de riqueza y cobertura de especies, los resultados obtenidos se expresan a dos años de las quemas por estrato (herbáceas rasantes, herbáceas altas y arbustivas), iniciando con las comparaciones entre los tratamientos con fuego y el control y continuando con las comparaciones entre los tratamientos de mayo con quema a intensidad alta y de marzo baja intensidad del fuego a ambas densidades de dosel arbóreo; estos resultados son seguidos por los resultados de riqueza y cobertura de especies a tres años de las quemas en el mismo orden descrito. Posteriormente se muestran las comparaciones de riqueza y cobertura de especies entre años.

4.4.2.1. Riqueza de especies y cobertura dos años después de la aplicación de fuego (2004)

4.4.2.1.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control)

Para este estrato, la riqueza de especies y cobertura, presentan diferencias significativas en los tratamientos mayo alta intensidad con densidad de dosel cerrado y los tratamientos de marzo con intensidades alta y baja, y densidad de dosel abierto, teniendo el mayor numero de especies y la mayor cobertura en los tratamientos con fuego que en el testigo; esto concuerda con Martínez (2003), quien obtuvo resultados similares en cuanto a cobertura e incremento en número de especies en los tratamientos con fuego con relación al control a un año de la aplicación de las quemas.

Cuadro 22. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 81.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	7.06	**
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.66 \\ 16.67 \end{bmatrix}$	1.19	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 28.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	0.55	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 2.23 \\ 25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.66 \\ 16.67 \end{bmatrix}$	0.60	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 36.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	1.81	-

Continúa. . .

Cuadro 22. Continuación.

MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 46.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.66 \\ 16.67 \end{bmatrix}$	10.24	**
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 56.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	3.49	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 5 \\ 71.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.66 \\ 16.67 \end{bmatrix}$	128.93	**

¹Orden de las variables riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

Similarmente, Barclay *et al.* (2004) observaron que la cobertura, la riqueza y diversidad de especies herbáceas fueron más altas en áreas tratadas con fuego a moderada y alta intensidad que en áreas no quemadas en bosques de *Pinus ponderosa* en Nuevo Mexico. Así mismo, Kazanis y Arianoutsou (1997) encontraron que un ecosistema de *Pinus halepensis* recubrió bastante rápido después de un incendio, siendo las especies herbáceas la flora dominante, las cuales alcanzaron un pico durante el segundo año después del fuego; la familia más rica en términos de número de especies que hallaron fue Leguminosae, igualmente al segundo año después del fuego. En el caso de la presente investigación, esta puede relacionarse con la liberación de espacio de crecimiento posfuego.

4.4.2.1.2. *Herbáceas altas (tratamientos y control)*

La riqueza de especies y cobertura de herbáceas altas, no muestra diferencias entre los tratamientos con fuego y el control, a excepción del tratamiento mayo intensidad de fuego baja con densidad de dosel abierto, el cual muestra un decremento tanto en riqueza de especies como en cobertura con respecto al control. Para el caso del presente estrato es importante observar que puede haber una radiación de especies de las

parcelas tratadas con fuego a la parcela testigo; en cuanto a cobertura, estos resultados concuerdan con Martínez (2003), quien encontró que la cobertura de herbáceas presentó valores altos en los controles a un año de quemado por la probable influencia del pastoreo (presente en la zona); en contraste, el número de especies al primer año indica un incremento en los tratamientos con fuego independientemente de su época y densidad del arbolado.

Cuadro 23. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1$ ¹	Vector de medias para el control $\bar{x}_2$ ¹	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 25 \end{bmatrix}$	2.96	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 38.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 53.33 \end{bmatrix}$	5.02	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 25 \end{bmatrix}$	1.71	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 4 \\ 26.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 53.33 \end{bmatrix}$	8.31	**
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 16.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 25 \end{bmatrix}$	0.94	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 41.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 53.33 \end{bmatrix}$	0.67	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 3 \\ 23.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 25 \end{bmatrix}$	0.02	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 3 \\ 46.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 53.33 \end{bmatrix}$	0.61	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.1.3. Arbustos (tratamientos y control)

El estrato arbustivo a dos años de quemado, es el que muestra más diferencias entre las parcelas quemadas y el testigo, exceptuando únicamente a los tratamientos de mayo y marzo con baja intensidad y cobertura de dosel abierto. Observando los vectores de medias en los contrastes que muestran diferencias (Cuadro 24), se puede notar que la riqueza de especies y la cobertura es favorecida por el fuego a dos años de su aplicación, aunque la cobertura presenta valores mayores en condición de quema a alta intensidad.

A un año de la aplicación del fuego los resultados de Martínez (2003) muestran un comportamiento variable en el número de especies arbustivas, ya que en los primeros tres meses de su evaluación no se encontraron arbustos en algunas de las parcelas, en los tratamientos con fuego; en contraste con la cobertura, la cual tendió a ser mayor en las áreas quemadas, particularmente a elevada intensidad lo cual sigue siendo palpable a dos años.

Cuadro 24. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato arbustivo (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t=5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 14.65 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 5.39 \end{bmatrix}$	6.75	**
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4 \\ 43.06 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 5.33 \end{bmatrix}$	10.78	**
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 4.05 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 5.39 \end{bmatrix}$	8.49	**

Continúa. . .

Cuadro 24. Continuación.

MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 8.57 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 5.33 \end{bmatrix}$	1.49	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 21.01 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 5.39 \end{bmatrix}$	13.5	**
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 25.60 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 5.33 \end{bmatrix}$	9.41	**
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 13.98 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 5.39 \end{bmatrix}$	8.12	**
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 12.40 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 5.33 \end{bmatrix}$	0.49	-

¹ Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

Estudiando los efectos del fuego sobre el sotobosque de *Pinus resinosa* y *Pinus strobus* en Michigan, Neumann y Dickmann (2001) encontraron coberturas dos veces mayores de vegetación herbácea y leñosa en áreas quemadas que en áreas no quemadas en la primera época de crecimiento que siguió al fuego; de igual forma, la riqueza de especies aumentó en un 20-25% en las primeras. Estos autores concluyen que el uso de fuegos superficiales de baja intensidad es factible para la restauración de estos ecosistemas.

4.4.2.1.4. *Herbáceas rasantes (MyA y MrB)*

Para los contrastes entre los tratamientos con fuego de mayo y marzo a alta y baja intensidad no resultan diferencias estadísticamente significativas entre ellos (Cuadros 25, 26 y 27).

Cuadro 25. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato herbáceas rasantes (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 81.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 56.6 \end{bmatrix}$	2.05	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 \\ 71.6 \end{bmatrix}$	3.69	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.1.5. Herbáceas altas (MyA y MrB)

Cuadro 26. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato herbáceas altas (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	2.77	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 38.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 46.6 \end{bmatrix}$	0.06	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.1.6. Arbustos (MyA y MrB)

Cuadro 27. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad, para el estrato arbustivo (segundo año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 14.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 13.9 \end{bmatrix}$	0.006	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 4 \\ 43.1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 12.4 \end{bmatrix}$	0.30	-

¹ Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.2. Riqueza de especies y cobertura tres años después de la aplicación de fuego (2005)

4.4.2.2.1. Herbáceas rasantes (tratamientos y control)

A tres años de las quemas, las diferencias se localizan en los tratamientos mayo y marzo intensidad baja y densidad de dosel abierto, con respecto a la parcela no quemada, teniendo los mayores valores de cobertura y número de especies en las parcelas quemadas (Cuadro 28).

Cuadro 28. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego x_1^1	Vector de medias para el control x_2^1	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 78.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 48.33 \end{bmatrix}$	0.46	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 3 \\ 73.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 12.67 \end{bmatrix}$	3.41	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 61 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 48.33 \end{bmatrix}$	0.52	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 6.33 \\ 48.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 12.67 \end{bmatrix}$	12.69	**
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 4 \\ 61 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 48.33 \end{bmatrix}$	0.13	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 76 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 12.67 \end{bmatrix}$	2.52	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 61.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.33 \\ 48.33 \end{bmatrix}$	0.62	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 5.33 \\ 93.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 12.67 \end{bmatrix}$	35.63	**

¹ Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $x = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

Metlenand y Fiedler (2005), mencionan una decremento inicial en riqueza y cobertura de especies en el sotobosque de *Pinus ponderosa* y *Pseudotsuga menziesii* después de una quema de primavera, pero un aumento de estas variables tres años después de dicha quema, con respecto a un área no quemada; así mismo, las especies herbáceas fueron las principales formas de vida responsables en el incremento en riqueza de especies y cobertura después del tratamiento con fuego en primavera, combinado con una corta silvícola previa a la quema.

4.4.2.2.2. *Herbáceas altas (tratamientos y control)*

Las diferencias para este estrato se muestran en los tratamientos mayo y marzo a alta intensidad de fuego y densidad de dosel abierto; en este caso la cobertura es menor en los tratamientos con fuego que en el control, pero la riqueza de especies se muestra mayor en éstos que en el control; los valores de cobertura altos que se exhiben en los controles se deben principalmente a la abundante presencia de zacates amacollados en la parcela testigo y al probable pastoreo en áreas quemadas.

Cuadro 29. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego y el control para el estrato herbáceas altas (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 2 \\ 21.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 20 \end{bmatrix}$	0.47	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 2 \\ 18.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 78.33 \end{bmatrix}$	9.43	**
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 60 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 20 \end{bmatrix}$	4.67	-
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 3 \\ 45.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 78.33 \end{bmatrix}$	2.69	-
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 2 \\ 51.67 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 20 \end{bmatrix}$	1.63	-
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 2 \\ 40 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 78.33 \end{bmatrix}$	7.98	**
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 2.33 \\ 29 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 20 \end{bmatrix}$	0.89	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 50 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.67 \\ 78.33 \end{bmatrix}$	3.53	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.2.3. Arbustos (tratamientos y control)

A tres años de las quemas, el estrato arbustivo exhibe diferencias significativas para los tratamientos de mayo baja intensidad y densidad de dosel cerrado y abierto, y marzo alta intensidad densidad de dosel cerrado ante el testigo, mostrando una cobertura y riqueza de especies mayor para los tratamientos con fuego. El resto de los tratamientos ya no muestran diferencias en cobertura y número de especies.

Cuadro 30. Riqueza de especies y cobertura comparada entre cada tratamiento con fuego contra el control para el estrato arbustivo (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para el tratamiento con fuego $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para el control $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - Cc	$\begin{bmatrix} 5 \\ 23.34 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 6.51 \end{bmatrix}$	1.67	-
MyAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4.67 \\ 16.56 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 9.76 \end{bmatrix}$	1.80	-
MyBc - Cc	$\begin{bmatrix} 6 \\ 10.91 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 6.51 \end{bmatrix}$	5.97	**
MyBa - Ca	$\begin{bmatrix} 5 \\ 16.24 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 9.76 \end{bmatrix}$	15.33	**
MrAc - Cc	$\begin{bmatrix} 5 \\ 14.96 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 6.51 \end{bmatrix}$	6.00	**
MrAa - Ca	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 15.87 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 9.76 \end{bmatrix}$	1.98	-
MrBc - Cc	$\begin{bmatrix} 4.33 \\ 8.47 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 6.51 \end{bmatrix}$	0.33	-
MrBa - Ca	$\begin{bmatrix} 3.67 \\ 8.73 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.67 \\ 9.76 \end{bmatrix}$	2.52	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

Cuadro 31. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas rasantes (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA x_1^1	Vector de medias para los tratamientos MrB x_2^1	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 78.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 61.6 \end{bmatrix}$	0.14	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 3 \\ 73.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5.3 \\ 93.3 \end{bmatrix}$	0.81	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $x = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.2.5. Herbáceas altas (MyA y MrB)

Cuadro 32. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta contra marzo a baja intensidad para el estrato herbáceas altas (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA x_1^1	Vector de medias para los tratamientos MrB x_2^1	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 2 \\ 21.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 29 \end{bmatrix}$	0.69	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 2 \\ 18.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 50 \end{bmatrix}$	1.04	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $x = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.2.6. Arbustos (MyA y MrB)

Cuadro 33. Riqueza de especies y cobertura comparada entre los tratamientos con aplicación de fuego en mayo a intensidad alta y marzo a baja intensidad para el estrato arbustivo (tercer año).

Pares de tratamientos	Vector de medias para los tratamientos MyA $\bar{x}_1^1$	Vector de medias para los tratamientos MrB $\bar{x}_2^1$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc - MrBc	$\begin{bmatrix} 5 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 8.4 \end{bmatrix}$	0.60	-
MyAa - MrBa	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 16.5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 8.7 \end{bmatrix}$	0.44	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.3. Riqueza de especies y cobertura comparada entre años (2004 y 2005)

4.4.2.3.1. Herbáceas rasantes

El estrato herbáceo rasante, mostró diferencias significativas para los tratamientos de mayo intensidad baja densidades cerrada y abierta, marzo baja intensidad baja densidad y control alta densidad entre el segundo y tercer año de evaluación después del fuego, mostrando principalmente un incremento en la cobertura del segundo al tercer año y un ligero aumento en el número de especies para los tratamientos con dosel abierto, así como un incremento en cobertura pero una leve reducción en el número de especies en el caso de dosel cerrado (Cuadro 34).

Cuadro 34. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas rasantes.

Tratamientos	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$	Valor del Estatístico de Prueba, con $F_c = 5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 81.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 78.3 \end{bmatrix}$	0.04	-
MyAa	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 73.3 \end{bmatrix}$	2.47	-
MyBc	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 28.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.3 \\ 61 \end{bmatrix}$	6.73	**
MyBa	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 35 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6.3 \\ 48.6 \end{bmatrix}$	28.32	**
MrAc	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 36.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4 \\ 61 \end{bmatrix}$	0.75	-
MrAa	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 46.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 76 \end{bmatrix}$	0.85	-
MrBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 56.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 61.6 \end{bmatrix}$	0.15	-
MrBa	$\begin{bmatrix} 5 \\ 71.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5.3 \\ 93.3 \end{bmatrix}$	7.03	**
Cc	$\begin{bmatrix} 4 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.3 \\ 48.3 \end{bmatrix}$	8.94	**
Ca	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 16.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 12.6 \end{bmatrix}$	0.60	-

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.3.2. *Herbáceas altas*

Las diferencias significativas para este estrato se presentan en los tratamientos mayo intensidad alta y densidad de dosel alta, mayo intensidad baja densidad de dosel alta y control con baja densidad de dosel arbóreo; ocurriendo un comportamiento variable de cobertura y un decremento en número de especies del segundo al tercer año de evaluación (Cuadro 35).

Cuadro 35. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato herbáceas altas.

Tratamientos	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_t = 5.46$	Significancia $\alpha = 0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 21.6 \end{bmatrix}$	6.23	**
MyAa	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 38.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 18.3 \end{bmatrix}$	1.50	-
MyBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 60 \end{bmatrix}$	8.02	**
MyBa	$\begin{bmatrix} 4 \\ 26.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 45.6 \end{bmatrix}$	2.09	-
MrAc	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 16.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 51.6 \end{bmatrix}$	3..18	-
MrAa	$\begin{bmatrix} 3.3 \\ 41.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 40 \end{bmatrix}$	0.65	-
MrBc	$\begin{bmatrix} 3 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 29 \end{bmatrix}$	0.43	-
MrBa	$\begin{bmatrix} 3 \\ 46.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 50 \end{bmatrix}$	0.13	-
Cc	$\begin{bmatrix} 3 \\ 25 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.6 \\ 20 \end{bmatrix}$	1.58	-
Ca	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 53.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1.6 \\ 78.3 \end{bmatrix}$	19.42	**

¹Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

4.4.2.3.3. Arbustos

Para el estrato arbustivo todos los tratamientos resultaron sin diferencias estadísticamente significativas entre el segundo y tercer año (Cuadro 36).

Cuadro 36. Riqueza de especies y cobertura comparada para cada tratamiento entre el segundo y tercer año de la aplicación de fuego, estrato arbustivo.

Tratamientos	Vector de medias por cada tratamiento 2º año (2004) $\bar{x}_1$ ¹	Vector de medias por cada tratamiento 3er año (2005) $\bar{x}_2$ ¹	Valor del Estadístico de Prueba, con $F_c=5.46$	Significancia $\alpha=0.10$
MyAc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 14.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 \\ 23.3 \end{bmatrix}$	0.43	-
MyAa	$\begin{bmatrix} 4 \\ 43.06 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 16.5 \end{bmatrix}$	0.85	-
MyBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 4.05 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 6 \\ 10.9 \end{bmatrix}$	1.75	-
MyBa	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 8.5 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 \\ 16.2 \end{bmatrix}$	0.60	-
MrAc	$\begin{bmatrix} 4.6 \\ 21.01 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 5 \\ 14.9 \end{bmatrix}$	0.56	-
MrAa	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 25.6 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 15.8 \end{bmatrix}$	0.19	-
MrBc	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 13.9 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 4.3 \\ 8.4 \end{bmatrix}$	0.17	-
MrBa	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 12.4 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 8.7 \end{bmatrix}$	0.21	-
Cc	$\begin{bmatrix} 2.3 \\ 5.3 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3.6 \\ 6.5 \end{bmatrix}$	3.95	-
Ca	$\begin{bmatrix} 2 \\ 5.33 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2.6 \\ 9.7 \end{bmatrix}$	1.54	-

¹ Orden de las variables Riqueza de especies y cobertura en los vectores de medias $\bar{x} = \begin{bmatrix} \text{No. de especies} \\ \text{Cobertura \%} \end{bmatrix}$

** Tratamientos que presentan diferencias significativas

La cobertura y número de especies muestran comportamientos variables entre el segundo y tercer año después de las quemas; aunque la riqueza de especies tiende al incremento en el estrato arbustivo y a disminuir en el herbáceo, a excepción de algunos tratamientos que muestran incremento en riqueza con densidades de dosel abierto, lo cual es debido a la mayor disponibilidad de espacio y luz; en contraste con los resultados obtenidos el primer año después de las quemas, Martínez (2003) menciona que el

número de especies y cobertura fueron mayores en condición de dosel abierto que cerrado para todos los tratamientos con fuego incluyendo sus testigos, los resultados del segundo y tercer año no corresponden con esta tendencia. Esta discrepancia se debe principalmente al factor del tiempo que ha transcurrido desde las quemas en los tratamientos con fuego; así mismo puede añadirse la presencia de pastoreo en la zona.

Lo anterior concuerda con estudios hechos por Volg y Schorr (1972), Bell y Koch (1980), Trabaud y Lepart (1980) y Hobbs y Atkins (1990); citados por Whelan (1997) en el chaparral californiano y bosques australianos, los cuales muestran un incremento en riqueza de especies hasta alcanzar un pico y después declinar acorde con periodos de tiempo relativamente largos (máximo entre dos y tres años y declinación a partir del tercero y quinto año). Esto puede respaldar la tendencia a la homogeneidad entre tratamientos con fuego y el control, lo cual es más evidente a tres años de las quemas.

Es indudable que la diversidad, riqueza y cobertura de especies del sotobosque en este estudio se ve afectada de manera positiva por el fuego en este tipo de ecosistema; así mismo, es importante señalar, que el incremento en riqueza de especies después de un incendio en muchos ecosistemas es contribuida casi exclusivamente por especies que recolonizan a través de semilla *in situ*, y un incremento rápido en la riqueza de especies después del fuego puede reflejar el hecho de que algunas especies en la comunidad antes de la ocurrencia del fuego estaban representadas como semillas u órganos en dormancia; aunque cabe notar que una intensidad alta del fuego puede menguar el banco de semillas reduciendo la capacidad de germinación de éste y mermar la riqueza de especies, al menos temporalmente (Whelan, 1997).

Por otra parte, la zona de estudio muestra presencia de pastoreo, lo cual se suma al efecto del fuego sobre la vegetación; algunos estudios sobre esto mantienen la teoría de que disturbios tales como el fuego y el pastoreo o la combinación de ambos, pueden mantener una alta diversidad y riqueza de especies (Collins y Barber, 1985; Collins, 1987). Sin embargo, este incremento no es universal para cualquier medio (Whelan, 1997), y surge la interrogante de la intensidad del pastoreo, por tanto es necesario investigarlo.

En lo que respecta a la época de aplicación de las quemas, este estudio no muestra diferencias importantes entre el fuego aplicado en mayo y el aplicado en marzo sobre la vegetación del sotobosque a tres años de las quemas; no obstante, es claramente visible la diferencia que existe sobre el arbolado, el cual es severamente dañado en la época más seca (mayo). Esto concuerda con lo encontrado por Rodríguez *et al.* (Aceptado) en la misma zona de estudio, quienes mencionan que a un año de las quemas, el fuego prescrito de mayo alta intensidad del fuego y alta densidad del arbolado manifestó la mayor probabilidad de muerte de arbolado joven, y que el fuego de marzo a baja intensidad y baja densidad del arbolado mostró la menor probabilidad de mortalidad.

Robbins y Myers (1992) mencionan diferencias en la recolonización del sotobosque de dos parcelas quemadas al sur de Florida, una en época seca y otra en la húmeda, mostrando mayor incremento en biomasa siguiendo la quema en la época húmeda. De igual forma, Clark (1988) comparó especies de sotobosque en Australia sobre parcelas con quemas en primavera y verano, encontrando que las parcelas de primavera mostraban un desarrollo más rápido y una mayor diversidad de especies durante los primeros seis años después del fuego. Russell-Smith *et al.* (1998); citado por

Williams *et al.* (2001), exponen una reducción en diversidad de especies en matorrales australianos bajo un régimen de quemas repetidas y extensas aplicadas en la época seca.

Cabe destacar que en el área de estudio, se registran precipitaciones tanto en el mes de marzo como en el mes de mayo, si bien la época de lluvias se establece hacia julio.

4.5. Valor de Importancia (V. I.)

4.5.1. Quema prescrita en mayo intensidad alta, segundo año (2004)

El estrato herbáceo rasante para este tratamiento muestra el mayor valor de importancia para la especie *Alchemilla procumbens* Rose., la cual despliega un valor de 40.49%, seguida por las especies *Arenaria reptan*; líquenes, musgos y *Oxalis jacquiniana*, las cuales tienen valores que van de 9.19-13.54%, el resto de las especies exponen valores bajos entre 2.29-4.59% (Cuadro 37).

Cuadro 37. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	40.499
musgos	13.787
<i>Arenaria reptan</i>	13.543
líquenes	11.489
<i>Oxalis jacquiniana</i>	9.191
<i>Pernettya ciliata</i>	4.595
<i>Geranium seemannii</i>	2.297
hongos	2.297
<i>Peperomia campylotropa</i>	2.297

En cuanto al segundo estrato, los valores de importancia mayores se presentan en las especies *Verbena recta* y *Eupatorium oligocephalum*, siendo estos 32.92 y 24.15% respectivamente; las especies *Festuca tolucensis* y *Calamagrostis tolucensis* siguen en valor de importancia con 17.23 y 8.50% (Cuadro 38).

Cuadro 38. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Verbena recta</i>	32.921
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	24.156
<i>Festuca tolucensis</i>	17.239
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	8.502
<i>Potentilla ramunculoides</i>	4.004
<i>Avena fatua</i>	3.616
<i>Sisymbrium irio</i>	3.229
<i>Trisetum virletii</i>	3.229
<i>Cerastium brachypodium</i>	3.100

En el estrato arbustivo, las especies que aportan mayor valor en este tratamiento son *Senecio callosus*, *Penstemon gentianoides* y *Senecio cinerarioides*, siguiéndoles con un menor valor *Lupinus montanus* (11.57%) (Cuadro 39).

Cuadro 39. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo alta intensidad, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	34.670
<i>Penstemon gentianoides</i>	22.037
<i>Senecio cinerarioides</i>	20.770
<i>Lupinus montanus</i>	11.577
<i>Eryngium monocephalum</i>	5.288
<i>Ribes ciliatum</i>	3.795
<i>Senecio reticulatus</i>	1.859

Este tratamiento manifiesta un total de 26 especies para los tres estratos estudiados dos años después del fuego, dentro de los sitios de muestreo, contra 19 que se obtuvieron el primer año después de la quema (Martínez, 2003).

4.5.2. Quema prescrita en mayo intensidad baja, segundo año (2004)

Para el caso del tratamiento en mayo con baja intensidad de fuego, la especie rasante que aporta el mayor valor es nuevamente *Alchemilla procumbens* con un valor de 43.37%, en seguida están musgos y *Pernettya ciliata* con 19.25 y 12.9% respectivamente (Cuadro 40).

Cuadro 40. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	43.378
musgos	19.256
<i>Pernettya ciliata</i>	12.905
<i>Eringeron galeottii</i>	9.054
liqueses	3.851
<i>Arenaria reptan</i>	3.851
<i>Oxalis jacquiniana</i>	3.851
<i>Malaxis ehrenbergii</i>	3.851

Las herbáceas altas apuntan mayor valor de importancia para *Eupatorium oligocephalum* con un 25%, la cual es seguida por *Gnaphalium inornatum*, *Stipa ichu*, *Festuca tolucensis* y *Stevia connata* con valores entre 9.40-17.5%, el resto de las especies muestra valores de 5.23-8.89% (Cuadro 41).

Cuadro 41. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	25.002
<i>Gnaphalium inornatum</i>	17.502
<i>Stipa ichu</i>	12.649
<i>Festuca tolucensis</i>	10.351
<i>Stevia connata</i>	9.406
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	8.894
<i>Stenanthium frigidum</i>	5.477
<i>Cerastium brachypodium</i>	5.477
<i>Selloa plantaginea</i>	5.239

Para el estrato arbustivo, *Senecio callosus* y *Eryngium monocephalum* son la especies que aportan los mayores valores 33.45 y 23.41% respectivamente, siguiendo *Penstemon gentianoides* con un 19%.

Cuadro 42. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	33.456
<i>Eryngium monocephalum</i>	23.413
<i>Penstemon gentianoides</i>	19.007
<i>Senecio cinerarioides</i>	9.672
<i>Cirsium ehrebergii</i>	8.471
<i>Lupinus montanus</i>	5.978

En este tratamiento se observan 23 especies diferentes para los tres estratos evaluados dos años después de la quema, dentro de los sitios evaluados. Al primer año de quemado se observaron 20 especies diferentes (Martínez, 2003).

4.5.3. Quema prescrita en marzo intensidad alta, segundo año (2004)

Para la quema en marzo alta intensidad, se tiene el valor mayor en la especie *Alchemilla procumbens* con un 46.63%, y *Oxalis jacquiniana* y *Arenaria reptans* con valores de 19.63 y 13.09% correspondientemente, el resto de las especies raras presentes distribuyen sus valores entre 3.27-7.54% (Cuadro 43).

Cuadro 43. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	47.959
<i>Oxalis jacquiniana</i>	20.408
<i>Arenaria reptan</i>	13.605
musgos	7.823
líquenes	3.401
<i>Eringeron galeottii</i>	3.401
<i>Drymaria lycopodioides</i>	3.401

En cuanto al estrato herbáceo alto *Festuca tolucensis* con 47.22% y *Eupatorium oligocephalum* con 29.95% son las especies con los mayores valores de importancia; esto a diferencia de los valores encontrados para las quemas de mayo, donde *Eupatorium oligocephalum* presentó valores más altos (Cuadro 44).

Cuadro 44. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	47.228
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	29.958
<i>Trisetum virletii</i>	8.056
<i>Stipa ichu</i>	4.269
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	3.799
<i>Stenanthium frigidum</i>	3.343
<i>Gnaphalium inornatum</i>	3.343

Las especies arbustivas que contribuyen con un mayor valor de importancia en este tratamiento son *Penstemon gentianoides* y *Senecio callosus* con un 32.5 y 31.65%.

Cuadro 45. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Penstemon gentianoides</i>	32.501
<i>Senecio callosus</i>	31.652
<i>Lupinus montanus</i>	15.788
<i>Eryngium monocephalum</i>	12.117
<i>Senecio cinerarioides</i>	7.940

En los estratos evaluados, el incendio confinado en marzo muestra 20 especies diferentes, en concordancia con las encontradas por Martínez (2003) al primer año (20 especies).

4.5.4. Quema prescrita en marzo intensidad baja, segundo año (2004)

El estrato herbáceo rasante el la quema a baja intensidad de marzo, muestra el mayor valor de importancia en la especie *Alchemilla procumbens* con un 43.32%, *Oxalis jacquiniana* y *Arenaria reptan* le prosiguen con valores de 13.07 y 10.89% (Cuadro 46).

Cuadro 46. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	43.325
<i>Oxalis jacquiniana</i>	13.078
<i>Arenaria reptan</i>	10.898
musgos	10.898
liques	6.539
<i>Pernettya ciliata</i>	6.539
<i>Erigeron galeottii</i>	4.359
<i>Peperomia campylotropa</i>	2.179
hongos	2.179

En cuanto al estrato herbáceo alto, los valores más altos corresponden a *Festuca tolucensis* con 47.23% y *Eupatorium oligocephalum* con 35.57%, de igual manera en este tratamiento se invierten los valores de importancia entre *Festuca tolucensis* y *Eupatorium oligocephalum* que se presentaron en las quemas de mayo (Cuadro 47).

Cuadro 47. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	47.230
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	35.570
<i>Stenanthium frigidum</i>	8.946
<i>Gnaphalium inornatum</i>	8.252

Senecio callosus, *Lupinus montanus* y *Penstemon gentianoides* son las que contribuyen con un mayor valor de importancia para este estrato en la quema a baja intensidad en marzo con valores entre 14.85-36.86%.

Cuadro 48. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	36.863
<i>Lupinus montanus</i>	21.986
<i>Penstemon gentianoides</i>	14.854
<i>Eryngium monocephalum</i>	9.606
<i>Senecio reticulatus</i>	5.571
<i>Senecio cinerarioides</i>	3.213
<i>Ribes ciliatum</i>	2.055
<i>Acaena elongata</i>	2.015
<i>Senecio barba-johannis</i>	1.995
<i>Baccharis conferta</i>	1.837

El presente tratamiento manifiesta un total de 24 especies en los estratos evaluados, en contraste con 20 observadas por Martínez (2003).

4.5.5. Testigo sin quema, segundo año (2004)

Para la parcela testigo que no recibió tratamiento con fuego, se tiene un valor de importancia mayor entre las especies *Alchemilla procumbens*, *Arenaria reptans*, *Oxalis jacquiniana* y musgo con valores entre 16.61-20.31%, siendo éste último el correspondiente a *Alchemilla procumbens* (Cuadro 49); cabe señalar que aunque *Alchemilla procumbens* corresponde al valor más alto, éste es significativamente menor

que el valor encontrado en las parcelas quemadas (en parcelas quemada el valor se ve duplicado).

Cuadro 49. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	20.315
<i>Arenaria reptan</i>	18.028
<i>Oxalis jacquiniana</i>	16.612
musgos	16.612
liques	6.644
<i>Malaxis ehrenbergii</i>	6.644
<i>Pernettya ciliata</i>	6.644
<i>Eringeron galeottii</i>	5.174
<i>Peperomia campylotropa</i>	3.322

Las herbáceas altas en este tratamiento muestran una notoria distinción en el valor de *Festuca tolucensis* (44.07%) siendo ésta la que aporta el mayor valor de este estrato, seguida por *Eupatorium oligocephalum* con un 33.87% (Cuadro 50).

Cuadro 50. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	44.079
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	33.878
<i>Selloa plantaginea</i>	7.911
<i>Gnaphalium inornatum</i>	6.461
<i>Verbena recta</i>	4.076
<i>Potentilla ranunculoides</i>	3.593

Para los arbustos se tiene que *Senecio callosus* es la especie con el mayor valor de importancia, con un 47.51%, secundada por *Eryngium monocephalum* con un 29.58%.

Cuadro 51. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	47.512
<i>Eryngium monocephalum</i>	29.581
<i>Penstemon gentianoides</i>	18.819
<i>Cirsium ehrembergii</i>	4.086

El testigo muestra un total de 19 especies diferentes en sus tres estratos contra el promedio de especies obtenido en las áreas testigo el primer año de quemado, 13.5 especies (Martínez, 2003).

Como se pudo observar, dos años después de la aplicación de las quemas *Alchemilla procumbens* es la especie que aporta mayor valor de importancia en las áreas tratadas con fuego, mostrando valores entre 40.49-46.63% en el estrato herbáceo rasante; esta especie también se encontró en la parcela testigo sin fuego aunque puede advertirse una diferencia del valor de importancia el cual es de 20.31%, poco menos de la mitad del valor promedio obtenido en las áreas quemadas (43.56%). Estos resultados concuerdan con los encontrados al primer año de las quemas por Martínez (2003), quien menciona un elevado valor de importancia de *Alchemilla procumbens* en áreas quemadas entre 16.5-58.5% y menor en áreas testigo (7.3-27.6%).

Así mismo, en el estrato herbáceo alto se muestran valores altos para las especies *Verbena recta*, *Eupatorium oligocephalum* y *Festuca tolucensis* en las parcelas con quema en mayo, presentándose valores mayores para *Eupatorium oligocephalum* que para *Festuca tolucensis*; y valores más altos para *Festuca tolucensis* que para *Eupatorium oligocephalum* en las parcelas con quema en marzo y testigo sin quema, este último con un valor muy elevado para *Festuca tolucensis* (44.07%); lo anterior coincide en parte con lo encontrado con Martínez (2003) un año después de las quemas, quien indica que *Festuca tolucensis* presenta valores altos de importancia en todas las áreas especialmente en el área testigo, donde ésta aporta el mayor valor de importancia, y que *Eupatorium oligocephalum* muestra valores de importancia considerables aunque no máximos.

En el estrato arbustivo pudo notarse un valor de importancia alto para *Senecio callosus* (31.65-47.51%) y *Penstemon gentianoides* (14.85-32.50%) principalmente, seguidos por *Eryngium monocephalum* (5.28-29.58%) y *Lupinus montanus* (5.97-21.98%) aportando un menor valor; lo cual coincide con Martínez (2003), quien menciona valores mayores para *Senecio callosus* y *Penstemon gentianoides* y valores menores para *Lupinus montanus* y *Senecio cinerarioides*.

El total de especies observadas el segundo año para los tres estratos evaluados fue de 38 especies; similar al reportado por Martínez (2003).

4.5.6. Quema prescrita en mayo intensidad alta, tercer año (2005)

Después de tres años de la quema a alta intensidad en el mes de mayo, el estrato herbáceo rasante manifiesta el mayor valor de importancia nuevamente para *Alchemilla*

Cuadro 54. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad alta, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	29.461
<i>Senecio cinerarioides</i>	26.007
<i>Penstemon gentianoides</i>	18.388
<i>Eryngium monocephalum</i>	10.813
<i>Lupinus montanus</i>	4.402
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	3.730
<i>Cirsium ehrebergii</i>	3.507
<i>Ribes ciliatum</i>	2.130
<i>Baccharis conferta</i>	1.557

El total de especies en el tratamiento con fuego en mayo alta intensidad es de 20 especies, en contraste con las 26 observadas en el segundo año y 19 en el primero.

4.5.7. Quema prescrita en mayo intensidad baja tercer año (2005)

Para el tratamiento de quema en mayo a baja intensidad se puede observar que *Alchemilla procumbens* con un 18.01%, no muestra la relevancia que se venía advirtiendo, esta vez musgo muestra el valor más alto aportando un 24.92%, y siendo *Alchemilla procumbens*, *Pernettya ciliata*, *Eriogonum galeottii* y *Oxalis jacquiniana* los que presentan los valores siguientes valores importantes entre 13.71-18.01% (Cuadro 55).

Cuadro 55. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
musgos	24.923
<i>Alchemilla procumbens</i>	18.017
<i>Pernettya ciliata</i>	15.369
<i>Eringeron galeottii</i>	14.254
<i>Oxalis jacquiniana</i>	13.717
<i>Malaxis ehrenbergii</i>	5.773
<i>Arenaria reptan</i>	5.296
hongos	2.648

Las herbáceas altas en este tratamiento presentan el valor más alto para *Eupatorium oligocephalum* con un 38.15%, enseguida para *Stipa ichu* con un 28.96, y con menos contribución a *Stevia connata* y *Festuca tolucensis* con valores entre 9.65-10.89%, el resto de las especies entre 3.28-5.87%.

Cuadro 56. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	38.159
<i>Stipa ichu</i>	28.963
<i>Festuca tolucensis</i>	10.895
<i>Stevia connata</i>	9.654
<i>Avena fatua</i>	5.875
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	3.282
<i>Potentilla ranunculoides</i>	3.170

Senecio callosus y *Penstemon gentianoides* son la especies que están aportando mayor valor a este estrato con un 27.01% y 22.87% respectivamente, siguiendo en importancia se encuentra *Gnaphalium oxyphyllum* con 18.52% del valor de importancia.

Cuadro 57. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en mayo intensidad baja, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	27.010
<i>Penstemon gentianoides</i>	22.780
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	18.525
<i>Lupinus montanus</i>	9.877
<i>Eryngium monocephalum</i>	7.854
<i>Cirsium ehrebergii</i>	7.092
<i>Senecio cinerarioides</i>	3.922
<i>Buddleia cordata</i>	2.936

El total de especies rasantes, herbáceas altas y arbustivas para este tratamiento son 23, comparadas con 23 que igualmente se presentaron al segundo año y 20 al primero.

4.5.8. Quema prescrita en marzo intensidad alta, tercer año (2005)

En este tratamiento *Alchemilla procumbens* vuelve a retomar su importancia contribuyendo con un 44.04% de valor de importancia, *Oxalis jacquiniana*, musgos y *Pernettya ciliata* exhiben valores entre 12.19 y 16.26% (Cuadro 58).

Cuadro 58. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	44.040
<i>Oxalis jacquiniana</i>	16.260
musgos	13.260
<i>Pernettya ciliata</i>	12.199
<i>Arenaria reptan</i>	5.695
hongos	5.695
<i>Peperomia campylotropa</i>	2.847

Festuca tolucensis y *Eupatorium oligocephalum* con valores de 41.09 y 41% respectivamente, fueron las herbáceas altas con aporte más alto de importancia, *Cerastium brachypodium* les sigue con un aporte del 10.04%.

Cuadro 59. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	41.099
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	41.009
<i>Cerastium brachypodium</i>	10.043
<i>Stipa ichu</i>	7.848

En este estrato, *Senecio callosus* presenta el mayor valor de importancia (35.84%), *Penstemon gentianoides* y *Lupinus montanus* manifiestan también valores de importancia relevantes con el 27.51 y 12.61% correspondientemente (Cuadro 60).

Cuadro 60. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad alta, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	35.849
<i>Penstemon gentianoides</i>	27.512
<i>Lupinus montanus</i>	12.618
<i>Senecio cinerarioides</i>	8.867
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	7.208
<i>Ribes ciliatum</i>	4.901
<i>Cirsium ehrebergii</i>	1.642
<i>Eryngium monocephalum</i>	1.399

El total de especies para los tres estratos en la quema de marzo a alta intensidad es 20 al tercer año de evaluación, lo cual coincide con el segundo y primer año (20 especies respectivamente).

4.5.9. Quema prescrita en marzo intensidad baja, tercer año (2005)

El estrato rasante herbáceo para este tratamiento indica el valor de importancia más alto para *Alchemilla procumbens* (43.25%) y *Oxalis jacquiniana* con un 10.15% siguiendo en importancia, las diez especies restantes muestran valores entre 2.40-7.75% (Cuadro 61).

Cuadro 61. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	43.528
musgos	13.105
<i>Oxalis jacquiniana</i>	10.154
<i>Pernettya ciliata</i>	9.605
<i>Erigeron galeottii</i>	8.648
<i>Stellaria cuspidata</i>	5.352
<i>Arenaria reptan</i>	4.802
<i>Peperomia campylotropa</i>	2.401
hongos	2.401

El estrato herbáceo alto manifiesta el mayor valor esta vez para *Festuca tolucensis* que aporta un 49.46% (casi el 50%), seguida por *Eupatorium oligocephalum* con un 37.42% del valor de importancia total.

Cuadro 62. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	49.463
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	37.420
<i>Potentilla ramunculoides</i>	6.673
<i>Stenanthium frigidum</i>	6.442

Senecio callosus es la especie que exhibe el mayor valor de importancia, con más del 50 %, *Penstemon gentianoides*, *Lupinus montanus* y *Gnaphalium oxyphyllum* manifiestan valores menores entre 9.70 y 12.05%, el resto de las especies se localizan entre 1.55 y 8.58% de valor de importancia para la quema de marzo a baja intensidad.

Cuadro 63. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el tratamiento con quema prescrita en marzo intensidad baja, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	52.183
<i>Penstemon gentianoides</i>	12.059
<i>Lupinus montanus</i>	9.805
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	9.700
<i>Eryngium monocephalum</i>	8.581
<i>Senecio reticulatus</i>	6.119
<i>Senecio cinerarioides</i>	1.550

Las especies rasantes, herbáceas altas y arbustos suman un total de 21 comparadas con 24 especies al segundo año y con 20 al primero para la parcela tratada con fuego abaja intensidad en el mes de marzo.

De los resultados anteriores desprende que el máximo número de especies en las áreas quemadas estudiadas, se alcanza entre el segundo y tercer año.

4.5.10. Testigo sin quema, tercer año (2005)

Para la parcela testigo sin tratamiento con fuego, las especies rasantes manifiestan el valor más alto para *Alchemilla procumbens* con un 41.74%, musgos con un valor de 31.07% y *Oxalis jacquiniana* del 13.58% (Cuadro 64). Esta resulta ser la excepción en cuanto a la abundancia de *Alchemilla procumbens* la cual mostró valores inferiores para el control al primer y segundo año, lo cual podría indicar que al tercer año de evaluación, las especies abundantes presentes en las parcelas quemadas comienzan a dispersarse a las no quemadas.

Cuadro 64. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo rasante.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Alchemilla procumbens</i>	41.748
musgos	35.603
<i>Oxalis jacquiniana</i>	13.588
<i>Peperomia campylotropa</i>	9.058

En cuanto al estrato herbáceo alto, *Festuca tolucensis* muestra valores de importancia muy altos aportando un 61.71%, seguido por *Eupatorium oligocephalum* que muestra un valor de 25.49% (Cuadro 65).

Cuadro 65. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato herbáceo alto.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	61.719
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	25.494
<i>Stevia connata</i>	7.796
<i>Potentilla ranunculoides</i>	4.989

El estrato arbustivo muestra para el testigo a *Senecio callosus* con el valor más alto (56.19% -más de la mitad del total-) y *Eryngium monocephalum* y *Penstemon gentianoides* con valores de 25.85 y 9.28% (Cuadro 66).

Cuadro 66. Porcentaje de valor de importancia de las especies para el testigo sin quema, estrato arbustivo.

Especies	% de Valor de Importancia
<i>Senecio callosus</i>	56.195
<i>Eryngium monocephalum</i>	25.859
<i>Penstemon gentianoides</i>	9.284
<i>Gnaphalium oxyphyllum</i>	6.663
<i>Ribes ciliatum</i>	1.997

El total de especies para la parcela testigo es de 14 en contraste con 19 especies presentes al segundo año y 13.5 el primero.

De esta forma, se puede observar que en el estrato herbáceo rasante *Alchemilla procumbens* muestra valores altos tanto en áreas quemadas, a excepción del tratamiento con quema prescrita en mayo, como en la no quemada; aunque cabe notar que las

parcelas quemadas, sin incluir la excepción, muestran valores mayores que la parcela testigo.

En general, en las áreas tratadas con fuego, *Alchemilla procumbens* muestra valores de importancia elevados en el segundo y tercer año de evaluación, los cuales fueron cercanos al 50%, comparada con el resto de las especies, que se ubicaron alrededor de 20%. Rzedowski (2001), registra a *Alchemilla procumbens* como una especie frecuente en lugares con disturbio; así mismo, Martínez (2003) demuestra estadísticamente que *Alchemilla procumbens* resulta ser una especie que aparece preferentemente en áreas quemadas, por tal motivo puede considerarse una especie indicadora de incendios.

En lo que respecta al estrato herbáceo alto, *Festuca tolucensis* y *Eupatorium oligocephalum* son las especies que muestran los valores más altos en todos los tratamientos con fuego, con cifras entre 10.89 y 49.46% para *Festuca tolucensis* y 37.27-47.42% para *Eupatorium oligocephalum*; que al compararlos con la parcela testigo *Festuca tolucensis* con 61.71% exhibe un valor de importancia mucho mayor a 25.49% para *Eupatorium oligocephalum*.

Es evidente así que valores altos de *Eupatorium oligocephalum* sobre parcelas tratadas con fuego en ambos años pueden apuntar a dicha especie como indicadora de sitios quemados, lo cual coincide con Lewis y Harshbarger (1976), quienes encontraron que las compuestas, entre ellas el género *Eupatorium* fueron frecuentes en bosques quemados de *Pinus taeda* L. De manera similar, Rodríguez (1996) señala la abundancia de dicho género en matorrales de *Quercus frutex* incendiados en el Valle de México. Así mismo, los valores de importancia altos de *Festuca tolucensis* en especial para el tercer año después del fuego, puede indicar el comienzo del retorno de las gramíneas a las

zonas quemadas; lo cual coincide con García (2004) quien menciona un predominio de gramíneas 30 meses de sucesión post-fuego en un pastizal de alta montaña.

El número reducido de especies y el elevado valor de importancia manifestado por el predominio de pastos en las parcelas testigo, es ocasionado en parte porque aunque se encuentre presente un banco de semillas de distintas especies en el sitio, éste no puede prosperar debido a la densa cobertura del pasto que impide las condiciones adecuadas de luz y espacio para la germinación de éste.

El estrato arbustivo se vio representado principalmente por *Senecio callosus* y *Penstemon gentianoides* con valores de importancia entre 12.05-56.19% al tercer año de las quemadas, encontrándose presentes tanto en áreas quemadas como no quemadas; en menor medida pero con valores considerables se tiene *Lupinus montanus*, *Eryngium monocephalum* y *Senecio cinerarioides*.

Los géneros *Lupinus* y *Penstemon* han sido reportados como invasoras de terrenos perturbados (Rzedowski, 2001). Martínez (2003) demostró, a través de un análisis no paramétrico, que *Lupinus aschenbornis*, *Penstemon gentianoides*, *Senecio callosus* y *Senecio cinerarioides* son especies que aparecen preferentemente en áreas quemadas, por lo que pueden considerarse como indicadoras. Rzedowski (1981; citado por García, 2004) menciona que dependiendo del grado de perturbación por fuego en pinares es frecuente encontrar abundante presencia de *Penstemon gentianoides* y *Lupinus montanus*; de igual forma García (2004) menciona que estas dos especies pueden ser utilizadas como fito-indicadoras del paisaje, debido a que sus tendencias en cuanto a cobertura total media están correlacionadas con la edad post-fuego.

Senecio cinerarioides es referido por Rodríguez *et al.* (2002) como dominante algunos años después de incendios intensos en bosques de *Pinus hartwegii* y de *Abies*

religiosa, lo que se confirma por su elevado valor de importancia (segundo lugar) en el tratamiento de mayo alta intensidad al tercer año.

El total de especies observadas en los sitios para el tercer año de evaluación, considerando rasantes, herbáceas altas y arbustos fue de 30 especies diferentes.

4.6. Listado Florístico

El total de especies colectadas registrado para el segundo año (2004) fue de 41 especies, de las cuales 14 pertenecen al estrato herbáceo rasante, 15 al herbáceo alto y 12 al estrato arbustivo. Así mismo, para el tercer año (2005) el total de especies fue de 34, de las cuales 13 corresponden al estrato herbáceo rasante, 10 pertenecen al estrato herbáceo alto y 11 al arbustivo.

Las familias con mayor número de especies en áreas quemadas fueron: Compositae con 14 especies, Gramínea con 6 especies, Caryophyllaceae con 4 especies y Rosaceae con 3 especies.

Cuadro 67. Listado florístico de especies colectadas en el segundo y tercer año después de las quemadas.

Especies segundo año (2004)	Especies tercer año (2005)	Familia	Habito
<i>Acaena elongata</i> L.	-	Rosaceae	Arbusto
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose.	<i>Alchemilla procumbens</i> Rose.	Rosaceae	Herbácea rasante
<i>Arenaria reptan</i> Hemsl.	<i>Arenaria reptan</i> Hemsl.	Caryophyllaceae	Herbácea rasante

Continúa. . .

Cuadro 67. Continuación.

<i>Avena fatua</i> L.	<i>Avena fatua</i> L.	Gramineae	Herbácea alta
<i>Baccharis conferta</i> H. B. K.	<i>Baccharis conferta</i> H. B. K.	Compositae	Arbusto
-	<i>Buddleia cordata</i> H. B. K.	Longaniaceae	Arbusto
<i>Calamagrostis tolucensis</i> Trin. & Steud.	-	Gramineae	Herbácea alta
<i>Cerastium brachypodium</i> (Engl.) Rob.	<i>Cerastium brachypodium</i> (Engl.) Rob.	Caryophyllaceae	Herbácea alta
<i>Cirsium ehrembergii</i> Sch. & Bip.	<i>Cirsium ehrembergii</i> Sch. & Bip.	Compositae	Arbusto
-	<i>Conyza schiedeana</i> (Less) Cronq.**	Compositae	Herbácea alta
<i>Drymaria lycopodioides</i> Cham. & Schult.	-	Caryophyllaceae	Herbácea rasante
<i>Erigeron galeottii</i> (A. Gray) Greene.	<i>Erigeron galeottii</i> (A. Gray) Greene.	Compositae	Herbácea rasante
<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	Umbelliferae	Arbusto
<i>Eupatorium oligocephalum</i> DC.	<i>Eupatorium oligocephalum</i> DC.	Compositae	Herbácea alta
<i>Festuca tolucensis</i> H. B. K.	<i>Festuca tolucensis</i> H. B. K.	Gramineae	Herbácea alta
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	-	Geraniaceae	Herbácea rasante
-	<i>Gnaphalium oxyphyllum</i> DC.	Compositae	Arbusto
<i>Gnaphalium inornatum</i> DC.	-	Compositae	Herbácea alta
<i>Gnaphalium sphacilathum</i> H. B. K.**	<i>Gnaphalium sphacilathum</i> H. B. K.**	Compositae	Herbácea rasante
Hongos	Hongos		Herbácea rasante

Continúa. . .

Cuadro 67. Continuación.

Liquenes	-		Herbácea rasante
<i>Lupinus montanus</i> H. B. K.	<i>Lupinus montanus</i> H. B. K.	Leguminosae	Arbusto
<i>Malaxis ehrenbergii</i> (Rchb.f) Kuntze.	<i>Malaxis ehrenbergii</i> (Rchb.f) Kuntze.	Orchidaceae	Herbácea rasante
<i>Muhlenbergia</i> <i>quadridentata</i> (Kunth) Trin.	<i>Muhlenbergia</i> <i>quadridentata</i> (Kunth) Trin.	Gramineae	Herbácea alta
Musgos	Musgos		Herbácea rasante
<i>Oxalis jacquiniana</i> H. B. K.	<i>Oxalis jacquiniana</i> H. B. K.	Oxalidaceae	Herbácea rasante
<i>Penstemon gentianoides</i> Don.	<i>Penstemon gentianoides</i> Don.	Scrophylariaceae	Arbusto
<i>Peperomia campylotropa</i> Hill.	<i>Peperomia campylotropa</i> Hill.	Piperaceae	Herbácea rasante
<i>Pernettya ciliata</i> Small.	<i>Pernettya ciliata</i> Small.	Ericaceae	Herbácea rasante
<i>Potentilla ramunculoides</i> H. & B.	<i>Potentilla ramunculoides</i> H. & B.	Rosaceae	Herbácea alta
<i>Ribes ciliatum</i> H. & B.	<i>Ribes ciliatum</i> H. & B.	Saxifragaceae	Arbusto
<i>Selloa plantaginea</i> H. B. K.	-	Compositae	Herbácea alta
<i>Senecio angulifolius</i> DC.**	-	Compositae	Arbusto
<i>Senecio barba-johannis</i> DC.	-	Compositae	Arbusto
<i>Senecio callosus</i> Sch. & Bip.	<i>Senecio callosus</i> Sch. & Bip.	Compositae	Arbusto
<i>Senecio cinerarioides</i> H. B. K.	<i>Senecio cinerarioides</i> H. B. K.	Compositae	Arbusto
<i>Senecio reticulatus</i> DC.	<i>Senecio reticulatus</i> DC.	Compositae	Arbusto

Continúa. . .

5. CONCLUSIONES

En general, los tratamientos con fuego favorecieron la diversidad, riqueza y cobertura de especies en los tres estratos evaluados dos años después de la aplicación de las quemas, especialmente en los tratamientos con densidad baja de dosel arbóreo, esto debido a la liberación de espacio de crecimiento y mayor incidencia de luz, lo cual coincide con los resultados obtenidos al primer año de las quemas; estas tendencias varían en cierta medida hacia el tercer año, donde la diversidad y la riqueza tienden a homogeneizarse entre los tratamientos con fuego y el control; la cobertura presentó un comportamiento muy variable al tercer año, aunque en el caso del estrato herbáceo alto, muestra valores mayores en el control que en los tratamientos con fuego, lo cual es debido a la evidente presencia de zacates amacollados en el testigo.

La época de aplicación de las quemas (meses de mayo y marzo), no mostró diferencias significativas estadísticamente en cuanto a las variables estudiadas, pero existen estudios anteriores, en el mismo sitio, donde se muestra una marcada evidencia de mayor afectación al arbolado en la quema de mayo alta intensidad densidad de dosel cerrado.

Las especies *Alchemilla procumbens* en el estrato rasante, *Festuca tolucensis* y *Eupatorium oligocephalum* en el herbáceo alto, y *Senecio callosus* y *Penstemon gentianoides* en el arbustivo, son las especies que mostraron valores de importancia más altos en los dos años evaluados. Así mismo, *Alchemilla procumbens*, *Eupatorium oligocephalum*, *Senecio callosus*, *Penstemon gentianoides*, *Lupinus montanus* y *Senecio cinerarioides* fueron las especies identificadas como indicadoras de incendios.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso de quemas prescritas de baja intensidad para favorecer la riqueza y diversidad de especies en este tipo de ecosistemas, atendiendo a todas las consideraciones necesarias de época, intensidad, frecuencia, cantidad de carga de material combustible, aspectos topográficos y de tiempo atmosférico para su aplicación. De igual forma se recomienda continuar la investigación en este rubro, para conocer los efectos del fuego en años posteriores y obtener así un mejor discernimiento de la ecología de este factor sobre el ecosistema, que permita obtener los mejores beneficios y reducir riesgos.

7. LITERATURA CITADA

- ABRAHAMSON AND HARTNETT. 1991. Flatwoods and Dry Prairies. In: Ecosystems of Florida. (eds. R. L. Myers and J. J. Ewel, 1992) pp. 105-146 (University of Central Florida Press; Orlando, USA)
- ACEVEDO R. R. 1998. Estudio sinecológico del bosque de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *oaxacana*. Debreczy and Ráez, en la zona de Santa Catarina Ixtepejí, Oaxaca, Méx. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. p. 3-5; 28-42.
- AGUIRRE B. C. y REY C. J. A. 1980. Escorrentía y pérdida de suelo en asociaciones vegetales sujetas a quemas controladas. Revista Chapingo 23-24: 18-24.
- ANÓNIMO. 2003. Las dos caras del fuego. Despertad. Watch tower bible and tract society of Pennsylvania. http://www.watchtower.org/languages/espanol/library/g/2002/9/22/article_01.htm - 19k -
- BARCLAY, A. D.; BETANCOURT, J. L. AND ALLEN, C. D. 2004. Effects on seeding ryegrass (*Lolium multiflorum*) on vegetation recovery following fire in a ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) forest. International Journal of Wildland Fire. 13(2) 183-194.
- BECERRA L. F. 1995. Establishment of *Pinus montezumae* Lamb. In the presence of fire, grass and grazing in the highland of central in Mexico. Thesis D. for., School of Forestry and Environmental Studies, Yale University. 124p.
- BENITEZ B., G. 1986. Árboles y flores del Ajusco. INE. México, D. F. p. 17-23, 176-179.

- BROWN, J. K. 2000. Ecological Principles, Shifting Fire Regimes and Management Considerations. In: Wildland Fire in Ecosystems. Effects of fire on Flora. (eds. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-VOL. 2., 2000) pp. 186-189.
- CASTRO S., U. B. 2003. Supervivencia de *Pinus hartwegii* Lind. en áreas incendiadas en el Ajusco, D. F. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. 54 p.
- CHAMBERS, J. L.; P. DOUGHERTY and T. C. HENNESSEY. 1985. Fire: Its effects on growth and physiological processes in conifer forests. In Hennessey, T. C.; P. M. Dougherty; S. V. Kossuth and J. D. Johnson (Eds.). Stress physiology and forest productivity. Martinus Nijhoff Pub. Boston. Pp. 177-189.
- CLARK, S. S. 1988. Effects of hazard-reduction burning on populations of understory plant species on Hawkesbury sandstone. Australian Journal of Ecology. 13: 473-784.
- CLEARY, B. D., R. D. GREAVES and R. K. HERMANN. 1982. Regenerating Oregon's forests. Corvallis. OR: Oregon State University Extensión Service. 282p.
- COLLINS, S. L. 1987. Interaction of disturbances in tallgrass prairie: A field experiment. Ecology. 68: 1243-1250.
- COLLINS, S. L. AND BARBER, S. C. 1985. Effects of disturbance on diversity in mixed-grass prairie. Vegetation. 64: 87-94
- COLLINS, S. L. AND GIBSON D. J. 1990. Effects of Fire on Community Structure in Tallgrass Prairie and Mixed-grass Prairie. In: Fire in North American Tallgrass

- Prairies. (eds. S. L. Collins and L. L. Wallace. 1990) pp. 81-98. (University of Oklahoma Press: Norman and London, USA)
- CONAFOR. 2006. Hacia un manejo forestal sustentable, avances del sector forestal mexicano en 2005. Revista electrónica de la Comisión Nacional Forestal. No. 31.
- CONAFOR. 2006. Incendios Forestales Generalidades. http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/incendios/index.html#tendencias
- ESPINOSA C., G. M. Y MUÑOZ M., A. 1988. Sistema de clasificación de riesgo para *Dendroctonus mexicanus* en los bosques de UIEF San Rafael, Edo. de México. Tesis Profesional. DICIFO, UACH. Chapingo, Edo. de México. 66p.
- FRANCO L. J. 1995. Manual de ecología. 2ª ed. 3ª reimp. Trillas. México, D. F. p. 95, 107, 129-130.
- GARCÍA L. E. F. 1985. Efecto del fuego en la regeneración natural de *Pinus hartwegii* Lind. en Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. 53 p.
- GARCÍA R., A. 2004. Dinámica del paisaje post-fuego en el pastizal tropical de alta montaña. Volcán Iztaccíhuatl, México. Interciencia. 29/11: 604-611. ISSN: 0378-1844.
- GIBSON, D. J. AND HULBERT, L. C. 1987. Effects of fire topography and year-to-year climatic variation on species composition in tallgrass prairie. Vegetation 72:175-85.
- GOBIERNO DEL D. F. 2005. Delegación Tlalpan, D. F.; ubicación geográfica. Mapas. <http://www.tlalpan.gob.mx/conoce/geografia/mapas.html>

<http://www.google.com.mx/search?hl=es&q=incendios+en+el+periodo+2000-2005&meta=>

- GONZÁLEZ R., A. 2001. Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus harwegii* Linl. Tesis de Maestría en Ciencias. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De México. 98p.
- HUMPHERY, L. D. 1984. Patterns and mechanisms of plant successions after fire on *Artemisia*-grass sites in southwestern Idaho. *Vegetation* 57: 91-101.
- INEGI. 2001. Cuaderno estadístico delegacional. Tlalpan, D. F. INEGI. México, D. F. p. 1-21.
- INEGI. 2006. Tipos de Climas en el D. F. http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/df/climas_map.cfm
- KAZANIS, D. AND ARIANOUTSOU, M. 1997. Vegetation Composition in a Post-Fire Successional Gradient of *Pinus halepensis* Forest in Attica, Greece. *International Journal of Wildland Fire*. 7(4) 307-315.
- KOBELKOWSKY S., R. 2003. Cumbres del Ajusco, Zempoala y Tepozteco. <http://www.conanp.gob.mx/anp/chichinautzin/chichinautzin.php>
- KREBS Ch, J. 1985. Ecología. Estudio de la distribución y la abundancia. Harla. México. 743 p.
- KREBS Ch, J. 1978. Ecology. The Analysis Experimental of Distribution and Aundance. Second Edition. Harper International Editions. New York, USA. 678 p.

- LEWIS, C. E. AND HARSHBANGER, T. J. 1976. Shrub and herbaceous vegetation after 20 years of prescribed burning in the South Carolina coastal plain. *Journal of Range Management*. 29(1) 13-18.
- LUNT, I. D. AND MORGAN, J. W. 2001. The role of fire regimes in temperate lowland grasslands of southeastern Australia. In: *Flammable Australia. The Fire Regimes and Biodiversity of a Continent*. (eds. R. A. Bradstock, J. E. Williams and M. A. Gill. 2002) pp. 177-196. (Cambridge University Press, United Kingdom).
- MAGURRAN, A. E. 1989. Diversidad ecológica y su medición. Ed. Vedrá. Barcelona, España. p. 13, 39-40, 45.
- MARGALEF, R. 1980. Ecología. Ed. Omega. Barcelona, España. p. 360, 367.
- MARTÍNEZ D., R. y RODRIGUEZ T., D. A. 2000. Los incendios forestales en México y América Central. II Simposio Internacional sobre Economía del Fuego, Planeación y Políticas: Una Visión Global. Córdoba, España. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-xxx. 2000. <http://www.eu-medin.org/cordoba/fireec04/papers/92sp.pdf>.
- MARTÍNEZ H., H. C. 2003. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lind. En áreas quemadas. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. 190 p.
- METLENAND, K. L. AND FIEDLER, C. E. 2005. Restoration treatment effects on the understory of ponderosa pine/Douglas-fir forests in western Montana, USA. *Forest Ecology and Management*. 222: 335-369

- MINOGUE, P. J., R. L. CANTRELL and H. C. GRISWOLD. 1991. Vegetation management after plantation establishment. In: M. L. Doryea and P. M. Dougherty. Eds. Forest regeneration manual. Dordrecht: Kluwer. Pp. 535-558.
- MIMBRERA H. M. y MEDINA R. H. H. 2001. Efecto del fuego en la vegetación del parque nacional el Chico, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. 61 p.
- MORRIS, L. A., S. A. MOSS and W. S. GARBETT. 1993. Competitive interference between selected herbaceous and woody plants and *Pinus taeda* L. during two growing seasons following planting. Forest Science 3(1): 166-187.
- MUELLER-DOMBOIS, D. S. and H. ELLENBERG. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. Wiley and sons. New York. 547 p.
- NAVARRO M., M. A. 1995. Dinámica sucesional en un bosque tropical afectado por disturbios en la zona norte de Quintana Roo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. De México. 147p.
- NEUMANN, D. D. AND DICKMANN, D. I. 2001. Surface burning in a mature stand of *Pinus resinosa* and *Pinus strobus* in Michigan: effects on understory vegetation. International Journal of Wildland Fire. 10(1) 91-101.
- ODUM, E. P. 1972. Ecología. 3ª ed. Interamericana. México, D. F. p. 159, 166-167.
- ODUM, E. P. 1986. Fundamentos de Ecología. Interamericana. México, D. F. p. 297-298.

- PERRY, JR. J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, Oregon, USA. p. 26-28.
- ROBBINS, L. E. AND MYERS, R. L. 1992. Seasonal Effects of Prescribed Burning in Florida: A Review. Tall Timbers Research, Inc., Miscellaneous Publication No. 8. Florida, USA. pp. 39.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Ediciones Mundi-Prensa. UACH. México, D. F. 630p.
- RODRIGUEZ T., D. A.; CASTRO S., U. B. and ZEPEDA B., M. (Aceptado) First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed fire at different intensities and different seasons. International Journal of Wildland Fire.
- RODRÍGUEZ T., D. A. and FULÉ P. Z. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. International Journal of Wildland Fire 12(1): 23- 37.
- RODRÍGUEZ T., D. A.; MARTÍNEZ H, H. C. y ORTEGA B., V. 2004. Ecología Del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*. En: Incendios forestales en México. Métodos de evaluación. (eds. L. Villers R. y J. López B., 2004) pp. 109-117. (UNAM. México, D. F.)
- RODRÍGUEZ T., D. A.; RODRIGUEZ A. M.; FERNÁNDEZ S. F. y PYNE S. J. 2002. Educación e Incendios Forestales. 2º Ed. Ediciones Mundi-Prensa. México, D. F. p. 45 - 57.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 2001. La ecología del fuego en el pinar de *Pinus hartwegii*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 7(2): 145-151.
- RODRÍGUEZ T., D. A. 1991. Eficiencia económica en el manejo de fuego en los bosques del Distrito Federal. Tesis de maestría. Programa forestal, Colegio de Postgraduados. Montecillos, Méx. 87 p.

- RZEDOWSKI, J.; VELA G., L.; MADRIGAL S., X. 1977. Algunas consideraciones acerca de los bosques de coníferas en México. *Ciencia Forestal*. 2(5), 25-35.
- RZEDOWSKI, J. y CALDERÓN, G. 1979. Flora fanerogámica del Valle de México. Vol. 1. CECSA. México, D. F. p. 66.
- RZEDOWSKI, J. 1981. Guías botánicas de excursiones en México IV. Sociedad botánica de México. Publicación conmemorativa 1981. 61pp.
- RZEDOWSKI, G. C. de, J. RZEDOWSKI. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2ª ed., INE y CONABIO. Patzcuaro, Mich. 1406pp.
- SÁNCHEZ O. 1980. La flora del valle de México. Herrero S. A. México.
- SEMARNAP. 1999. Atlas Forestal de México. SEMARNAP y UACH. México D. F. p. 53, 59, 63 y 67.
- SEMARNAT. 2001. Resultados de Incendios Forestales. Folleto. SEMARNAT-SGPA-DGF-DSFS. México. D. F.
- SOLÍS P., M. A. 1994. Monografía de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de licenciatura. UACH. DICIFO. Chapingo, Edo. de México. p. 3-4, 24, 122.
- THE NATURE CONSERVANCY. 2004. El fuego, los ecosistemas y la gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. Folleto. TNC, WWF, IUCN. p. 1-2, 4-5.
- THE NATURE CONSERVANCY. 2005. Conservación que produce resultados. Una introducción al trabajo de The Nature Conservancy con el fuego en el mundo. Folleto. TNC. p. 3-9.
- VARGAS M., F. 2005. Parques nacionales de México. <http://www.planeta.com/ecotravel/mexico/parques/df.html>

- WADE D. D., BROCK B. L., BROSE P. H., GRACE J. B., HOTCH G. A. y PATTERSON W. A. 2000. Fire in Estern Ecosystems. In: Brown, J. K. and Kapler Smith, J. (eds.). Wildland fire in Ecosystems. Effects of fire on flora. USDA, FS. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol. 2 pp. 53-96.
- WHELAN, R. J. 1997. The Ecology of Fire. Cambridge University Press. United Kingdom. 343p.
- WILLIAMS, R. J.; GRIFFITHS, A. D. AND ALLAN, G. E. 2001. Fire regimes and biodiversity in the savannas of northern Australia. In: Flammable Australia. The Fire Regimes and Biodiversity of a Continent. (eds. R. A. Bradstock, J. E. Williams and M. A. Gill. 2002) pp. 281-304. (Cambridge University Press, United Kingdom).
- ZAMUDIO S, F. J. y ALVARADO S, A. A. 2000. Notas de métodos multivariados. Universidad Autónoma Chapingo. DICIFO. Chapingo, Edo. de Méx. p. 65 y 67.
- ZAVALA CH., F. 1984. Sinecología de la vegetación de la Estación de Enseñanza e Investigación Forestal Zoquiapan, Estado de México y Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán México. 164 p.
- ZENDEJAS E.; VILLAREAL C. JAR. 1971. Efectos de las altas temperaturas originadas en los conos y semillas de *Pinus montezumae* y *Pinus oocarpa*. Revista México y sus Bosques. 10(3), 25-27.

8. ANEXOS

8.1. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis univariadas y multivariadas sobre intensidades. Análisis de Índices de diversidad.

```
data ani;
input D In ISW IS ID;
cards;
1      1      0.882727168 0.282609      1.516895481
1      1      1.673953476 0.56238      2.298371497
1      1      1.168188437 0.366243      2.022527308
2      1      1.676970351 0.643917      1.723778623
2      1      1.584819512 0.667333      1.700548307
2      1      2.808718861 0.856857      3.885839113
1      2      2.253102605 0.777555      2.70796997
1      2      1.793622076 0.666333      2.030977478
1      2      2.321928095 0.8          2.861353116
2      2      1.5          0.625          1.537243574
2      2      0.39151927 0.142142      0.551598341
2      2      0.811278124 0.375          0.768621787
1      3      1.584819512 0.667333      1.700548307
1      3      2.321928095 0.8          2.861353116
1      3      1.918961059 0.722444      2.030977478
2      3      0.91796214 0.444222      0.850274154
2      3      1          0.5          1
2      3      2          0.75          2.146014837
proc glm;class D In;
model ISW IS ID=D In(D);
Random D In(D)/test;
MANOVA H=In(D);
run;
data hr1;set ani;if _N_>6 then delete;
data hr2;set ani;if _N_<7 then delete;if _N_>12 then delete;
data hr3;set ani;if _N_<13 then delete;
proc iml;
use ani;
read all var {ISW IS ID}into X;
use hr1;
read all var {ISW IS ID}into X1;
use hr2;
read all var {ISW IS ID}into X2;
use hr3;
read all var {ISW IS ID}into X3;
```

```

N=nrow(X);
Unit1=J(6,1,1);
H=I(N)-(1/N)#J(N);
A=(1/N)#X`*H*X; *matriz de varianzas y covarianzas;
Ainv=inv(A);
AEV=eigval(Ainv);
V=diag(AEV);
U=eigvec(Ainv);
VR=sqrt(V);
Ar=U*VR*t(U);
XM1=(1/N)*t(Unit1)*X1;
XM2=(1/N)*t(Unit1)*X2;
XM3=(1/N)*t(Unit1)*X3;
rm=(t(XM1)-t(XM2));
Y=Ar*rm;
print Y;
run;

```

8.2. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis univariadas y multivariadas sobre intensidades. Análisis de riqueza y cobertura de especies.

```

data ani;
input D In NS CO;
cards;
1      1      4      95
1      1      5      55
1      1      5      95
2      1      4      55
2      1      3      15
2      1      7      35
1      2      5      30
1      2      4      30
1      2      5      25
2      2      3      20
2      2      2      65
2      2      2      20
1      3      3      15
1      3      5      25
1      3      4      30
2      3      2      15
2      3      2      10
2      3      4      25
proc glm;class D In;
model NS CO=D In(D);

```

```

Random D In(D)/test;
MANOVA H=In(D);
run;
data hr1;set ani;if _N_>6 then delete;
data hr2;set ani;if _N_<7 then delete;if _N_>12 then delete;
data hr3;set ani;if _N_<13 then delete;
proc iml;
use ani;
read all var {NS CO}into X;
use hr1;
read all var {NS CO}into X1;
use hr2;
read all var {NS CO}into X2;
use hr3;
read all var {NS CO}into X3;
N=nrow(X);
Unit1=J(6,1,1);
H=I(N)-(1/N)#J(N);
A=(1/N)#X`*H*X; /*matriz de varianzas y covarianzas;
Ainv=inv(A);
AEV=eigval(Ainv);
V=diag(AEV);
U=eigvec(Ainv);
VR=sqrt(V);
Ar=U*VR*t(U);
XM1=(1/N)*t(Unit1)*X1;
XM2=(1/N)*t(Unit1)*X2;
XM3=(1/N)*t(Unit1)*X3;
rm=(t(XM1)-t(XM2));
Y=Ar*rm;
print Y;
run;

```

8.3. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis multivariadas en la comparación entre pares de tratamientos. Análisis de diversidad.

```

DATA MyACHR;
INPUT x1my x2my x3my x4mr x5mr x6mr;
/*x1my: Indice de diversidad de Shannon-Wiener p/mayo alta*/
/*x2my: Indice de diversidad de Simpson p/mayo alta*/
/*x3my: Indice de diversidad de las especies p/mayo alta*/
/*x4mr: Indice de diversidad de Shannon-Wiener p/control*/
/*x5mr: Indice de diversidad de Simpson p/control*/
/*x6mr: Indice de diversidad de las especies p/control*/

```

```

CARDS;
1.893310224 0.755153      2.252457281 3.647475157 1.325657      4.325089206
1.27616063  0.56063      1.745676518 2.460323736 0.903543      3.695474128
2.035032777 0.868506      2.870729872 1.525346074 0.631564      1.971861724
;
PROC IML;
USE MyACHR;
START PRUEBA;
READ ALL VAR {x1my x2my x3my} INTO X1;
READ ALL VAR {x4c x5c x6c} INTO X2;
q=NCOL(X1);
N1=NROW(X1);
N2=NROW(X2);
N=N1+N2;
M1=J(N1,1,1);
M2=J(N2,1,1);
M=J(N,1,1);
H1=I(N1)-(1/N1)*M1`*M1`;
H2=I(N2)-(1/N2)*M2`*M2`;
H=I(N)-(1/N)*M`*M`;
MED1=(1/N1)*X1`*M1;
MED2=(1/N2)*X2`*M2;
X=X1//X2;
MED=(1/N)*X`*M;
PRINT MED1 MED2 MED;
S1=(1/N1)*X1`*H1*X1;
S2=(1/N2)*X2`*H2*X2;
W=N1*S1+N2*S2;
SC=(1/N)*W;
S=(1/N)*X`*H*X;
T=N*S;
PRINT S1 S2 SC S;
K=(N1*(MED1-MED)*(MED1-MED))+(N2*(MED2-MED)*(MED2-MED));
INVW=INV(W);
W1K=INVW*K;
P=I(q)+W1K;
PRINT W K T;
LAMBDA=INV(DET(P));
PRINT LAMBDA;
FINISH;
RUN PRUEBA;
QUIT;

```

8.4. Programa en SAS para las pruebas de hipótesis multivariadas en la comparación entre pares de tratamientos. Análisis de riqueza y cobertura de especies.

```

DATA MyAcCc;
INPUT x1myAc x2myAc x3Cc x4Cc;
/*x1myA: Riqueza de especies p/mayo alta*/
/*x2myA: Cobertura p/mayo alta*/
/*x3myA: Riqueza de especies p/control*/
/*x4myB: Cobertura p/control*/
CARDS;
7      45      5      75
6      65      4      105
8      100     3      93
;
PROC IML;
USE MyAcCc;
START PRUEBA;
READ ALL VAR {x1myAc x2myAc} INTO X1;
READ ALL VAR {x3Cc x4Cc} INTO X2;
q=NCOL(X1);
N1=NROW(X1);
N2=NROW(X2);
N=N1+N2;
M1=J(N1,1,1);
M2=J(N2,1,1);
M=J(N,1,1);
H1=I(N1)-(1/N1)*M1`*M1`;
H2=I(N2)-(1/N2)*M2`*M2`;
H=I(N)-(1/N)*M`*M`;
MED1=(1/N1)*X1`*M1;
MED2=(1/N2)*X2`*M2;
X=X1//X2;
MED=(1/N)*X`*M;
PRINT MED1 MED2 MED;
S1=(1/N1)*X1`*H1*X1;
S2=(1/N2)*X2`*H2*X2;
W=N1*S1+N2*S2;
SC=(1/N)*W;
S=(1/N)*X`*H*X;
T=N*S;
PRINT S1 S2 SC S;
K=(N1*(MED1-MED)*(MED1-MED))+(N2*(MED2-MED)*(MED2-MED));
INVW=INV(W);

```

```
W1K=INVW*K;  
P=I(q)+W1K;  
PRINT W K T;  
LAMBDA=INV(DET(P));  
PRINT LAMBDA;  
FINISH;  
RUN PRUEBA;  
QUIT;
```