



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**Diversidad del sotobosque y radiación
solar en un bosque de *Pinus hartwegii*
Lindl. con quema prescrita**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Ciencias Forestales

Presenta:

Gloria Elena Islas Madrid



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



Diversidad del sotobosque y radiación solar en un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. con quema prescrita

Tesis realizada por **Gloria Elena Islas Madrid** 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. Pedro Arturo Martínez Hernández

ASESOR:



M.C. Javier Santillán Pérez

AGRADECIMIENTOS

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

Al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN) por el apoyo financiero para realizar esta investigación.

Al Ph.D. Dante Arturo Rodríguez Trejo por sus valiosas aportaciones y apoyo en la elaboración de esta investigación, por permitirme ser parte de este gran proyecto “fuego”, y enseñarme la importancia y valor de éste; y por brindarme la confianza para desarrollarme profesionalmente, mil gracias.

Al Ph.D. Pedro Arturo Martínez Hernández por sus consejos, observaciones y críticas en el presente, y por ser un gran modelo a seguir, hizo mi estancia en esta institución más alegre e interesante.

A la linda Sra. Queta por darme muy acertados consejos y dejarme ser parte de su vida, es una gran persona y una mujer admirable.

A la Sra. Mari y el Sr. Gerardo por su apoyo en el trabajo de campo, y por brindarme su amistad.

DEDICATORIA

Este trabajo no hubiera sido posible sin el apoyo incondicional de mi madre Gudelia Madrid Delgadillo y mi padre José Antonio Islas Abreu, a quienes les dedico este esfuerzo, los amo y siempre pueden contar conmigo, mil gracias por darme la vida, todo su cariño, y sobre todo por creer en mí, son mi fortaleza .

Cuca, Nadia y Mayra mis tres grandes amores, gracias por su comprensión, y por soportarme a pesar de las adversidades, son lo máximo.

Mi Fersito te adoro le diste un brillo invaluable a mi existencia, cambiaste todo en mi, esto también es gracias a ti, te quiero. A mi pequeño A. Sebastián, que me da felicidad día con día, desde su llegada a esta gran familia.

A mi tío Fer, por enseñarme a reírme de la vida, por mala que ésta se vea, y por siempre estar ahí, TE AMO.

A mis compañeros M.C., por brindarme su apoyo, su cariño y escucharme en los malos y buenos tiempos, en especial a Noel por ser un gran confidente, te quiero mucho.

Gracias Dios por permitirme crecer y ver que existen posibilidades infinitas en el mundo.

A ti nena por no dejarte vencer y superar las adversidades, y sobre todo por creer en ti.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora nació en el municipio de Chimalhuacán, Estado de México, el 10 de febrero de 1985. En el municipio de Texcoco llevo a cabo sus estudios de primaria en la escuela “2 de Marzo”, y sus estudios de secundaria en la Escuela Secundaria Técnica no. 116 “Nezahualpilli”.

En la Universidad Autónoma Chapingo cursó sus estudios de bachillerato en la “Preparatoria Agrícola”, así como los estudios de licenciatura en el Departamento de Suelos, egresando de la carrera “Ingeniero en Recursos Naturales Renovables” en el año 2006.

En agosto de 2006, ingresó al programa de postgrado de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo, concluyendo sus estudios de Maestría en Ciencias Forestales en Junio de 2009

RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, D. F., entre 2006 y 2008. Se estudió la diversidad y riqueza de especies después de aplicar quemas prescritas (del 14 al 20 de marzo de 2006). Se establecieron 24 sitios de muestreo en el área con quema prescrita y 12 para la no quemada (testigo). Los datos de campo se obtuvieron en octubre de 2007, en la época de lluvias. Se utilizó un análisis de varianza multivariado y se aplicó una prueba de χ^2 para determinar las especies típicas de áreas incendiadas. También se estudió la relación entre la diversidad, riqueza, densidad y dominancia de especies del sotobosque con diferentes niveles de radiación solar; se tomaron fotografías digitales hemisféricas y se procesaron con el programa Hemi View® para obtener radiación solar directa, difusa, total y porción de cielo visible. Regresiones lineales permitieron estimar respuesta ante la luz en especies de ambos tratamientos. El fuego favoreció la diversidad y riqueza de especies (33 especies en las áreas con quema, 19 en las testigo). Fueron registradas 11 especies típicas de áreas quemadas, mientras que especies como *Muhlenbergia quadridentata* (Kunth) Trin. y *Cirsium ehrenbergii* Sch. & Bip. mostraron relación directa entre densidad y niveles de radiación.

Palabras clave: Fuego, efectos del fuego, riqueza de especies, luz.

SUMMARY

This work was carried out in a *Pinus hartwegii* Lindl. forest at the Parque Nacional Cumbres del Ajusco, southern Mexico City, Mexico, between 2006 and 2008. Was studied the diversity and richness of species after prescribed burns (applied from March 14 to March 20, 2006). Were established 24 plots in the burned areas, and 12 in the unburned (control) areas. Fiel data were collected by October 2007, during the rainy season. Was used a multiple analysis of variance and a χ^2 test to determine species typical of burned areas. Also was studied the relationship between diversity, richness, and dominance of understory species with different solar radiation levels; were taken digital hemispherical photos and processed with the Hemi View® program, to obtain direct, diffuse and total radiation, and visible sky fraction. Linear regressions allowed analyze the response of species of both treatments to light. The fire favored diversity and species richness (33 species in burned areas, 19 in the control areas). Were recorded 11 species typical of burned areas, while species like *Muhlenbergia quadridentata* (Kunth) Trin. and *Cirsium ehrenbergii* Sch. & Bip. showed a direct relationship with solar radiation levels.

Key words: Fire, fire effects, species richness, light.

ÍNDICE

	Página
APROBACIÓN DE TESIS.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
DATOS BIBLIOGRÁFICOS.....	iv
RESUMEN.....	v
SUMMARY.....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
1. Introducción.....	1
1.1. Presentación.....	1
1.2. Objetivos.....	9
1.3. Hipótesis.....	10
2. Metodología.....	11
2.1. Características del área de estudio.....	11
2.2. Establecimiento del experimento.....	15
2.3. Obtención y análisis de datos.....	19
2.3.1. Diversidad y riqueza.....	19
2.3.2. Radiación solar.....	23
3. Resultados.....	26

3.1. Diversidad y riqueza de especies.....	26
3.1.1. Análisis estadístico de la diversidad y riqueza de especies.....	34
3.2. Niveles de radiación.....	41
4. Discusión.....	50
4.1. Diversidad y riqueza.....	50
4.2. Niveles de radiación.....	55
5. Conclusiones.....	57
6. Literatura citada.....	59
7. Anexos.....	64
7.1. Valores de indicadores de niveles de radiación arrojados por el sistema Hemi View.....	64
7.2. Catálogo fotográfico de especies.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1.- Ubicación geográfica y altitud del área de estudio.....	11
2.- Listado florístico.....	26 - 27
3.- Estrato herbáceo, áreas con quema.....	29
4.- Estrato arbustivo, áreas con quema.....	30
5.- Estrato herbáceo, áreas sin quema.....	31
6.- Estrato arbustivo, áreas sin quema.....	31
7.- Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato herbáceo del área con quema.....	32
8.- Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato arbustivo del área con quema.....	33
9.- Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato herbáceo del área sin quema.....	32
10.- Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato arbustivo del área sin quema.....	33
11.- Valores de significancia para especies herbáceas en el área de quema (prueba de χ^2).....	40
12.- Valores de significancia para especies arbustivas en el área de quema (prueba de χ^2).....	40
13. Área tratada con quema prescrita.....	65
14. Área testigo.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1.- Mapa del Distrito Federal en donde se resalta la delegación Tlalpan y se señala la ubicación área de estudio.....	12
2.- Vegetación presente en el área de estudio, en donde se nota un estrato arbóreo dominado por <i>P. hartwegii</i>	14
3.- Ubicación de las parcelas de los tratamientos aplicados en la presente investigación, quema prescrita y testigo, dentro del Parque Nacional Cumbres del Ajusco.....	15
4.- Quema prescrita del sotobosque de <i>Pinus hartwegii</i> , aplicada en marzo de 2006.....	16
5.- Parcela donde se aplicó quema prescrita en el sotobosque de <i>Pinus hartwegii</i> , en marzo de 2006.....	16
6.- Delimitación de una estación de observación para el estrato herbáceo, usando estacas en cada una de las esquinas del cuadrángulo de 1 x 1m.	17
7.- Ejemplo de cobertura abierta del dosel arbóreo, aproximadamente 80 % del campo visual sin interferencia del dosel arbóreo.....	17
8.- Ejemplo de cobertura semiabierta del dosel arbóreo, aproximadamente 50 % del campo visual sin interferencia del	

dosel arbóreo.....	18
9.- Ejemplo de cobertura cerrada del dosel arbóreo, aproximadamente 20 % del campo visual sin interferencia del dosel arbóreo.....	18
10.- Ejemplo de dos estaciones de observación, la de 1 x 1 m. corresponde al estrato herbáceo y la de 4 x 4 m al estrato arbustivo.....	19
11.- Sostén, sistema de nivelación, lente hemisférica y cámara.....	24
12.- Gráfica de la riqueza de especies del estrato herbáceo.....	27
13.- Gráfica de la riqueza de especies del estrato arbustivo.....	28
14.- Gráfica de comparación de medias para riqueza en las especies del estrato herbáceo.....	34
15.- Gráfica de comparación de medias para índice de diversidad de Shannon-Wiener en las especies del estrato herbáceo.....	35
16.- Gráfica de comparación de medias para índice de diversidad de Simpson en las especies del estrato herbáceo.....	35
17.- Gráfica de comparación de medias para riqueza en las especies del estrato arbustivo.....	36
18.- Gráfica de comparación de medias para índice de diversidad de Shannon-Wiener en las especies del estrato arbustivo.....	36
19.- Gráfica de comparación de medias para índice de diversidad de Simpson en las especies del estrato arbustivo.....	37

20. Gráfica de comparación de medias para densidad total (no./m ²) en las especies del estrato herbáceo.....	37
21. Gráfica de comparación de medias para cobertura total en las especies del estrato herbáceo.....	38
22. Gráfica de comparación de medias para densidad total (no./4 m ²) en las especies del estrato arbustivo.....	38
23. Gráfica de comparación de medias para cobertura total en las especies del estrato arbustivo.....	39
24. Gráfica de la especie herbácea <i>Muhlenbergia quadridentata</i> relacionando densidad con el nivel de radiación de cielo visible...	41
25. Gráfica de la especie herbácea <i>Muhlenbergia quadridentata</i> relacionando densidad con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.....	42
26. Gráfica de la especie herbácea <i>Muhlenbergia quadridentata</i> relacionando densidad con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.....	42
27. Gráfica de la especie herbácea <i>Muhlenbergia quadridentata</i> relacionando densidad con el nivel de radiación solar difusa por debajo del dosel.....	43
28. Gráfica de la especie herbácea <i>Penstemon gentianoides</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación de cielo visible.....	43

29. Gráfica de la especie herbácea <i>Penstemon gentianoides</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.....	44
30. Gráfica de la especie herbácea <i>Penstemon gentianoides</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.....	44
31. Gráfica de la especie herbácea <i>Penstemon gentianoides</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación solar difusa por debajo del dosel.....	45
32. Gráfica de la especie herbácea <i>Senecio reticulatus</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.....	45
33. Gráfica de la especie herbácea <i>Senecio reticulatus</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.....	46
34. Gráfica de la especie arbustiva <i>Cirsium ehrenbergii</i> relacionando densidad con el nivel de radiación de cielo visible.....	46
35. Gráfica de la especie arbustiva <i>Cirsium ehrenbergii</i> relacionando dominancia con el nivel de radiación de cielo visible.....	47
36. Gráfica de la especie arbustiva <i>Eryngium monocephalum</i>	

relacionando densidad con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.....	47
37. Gráfica de la especie arbustiva <i>Eryngium monocephalum</i> relacionando densidad con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.....	48
38. Gráfica de la especie arbustiva <i>Eryngium monocephalum</i> relacionando densidad con el nivel de radiación solar difusa por debajo del dosel.....	48
39. Gráfica de la relación de número de especies con el nivel de radiación solar total.....	49
40. Gráfica de la relación de número de especies con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.....	49

1. Introducción

En esta sección se exponen los antecedentes de la importancia del fuego en algunos ecosistemas como *Pinus hartwegii* Lindl, y las adaptaciones al mismo. Además de la relación entre los niveles de radiación solar y los efectos en los estratos herbáceo y arbustivo de *P. hartwegii*. Se mencionan los objetivos y la hipótesis que corresponden a esta investigación.

1.1. Presentación

Un elemento importante que ha modelado los ecosistemas, así como las diferentes formas de vida que en la actualidad conocemos, es sin duda el fuego. Este ha influido enormemente en la composición, estructura y funcionalidad de los diferentes ecosistemas que forman parte del planeta tierra, siendo incluso un elemento esencial en muchos de ellos para su continuidad y mantenimiento del equilibrio ecológico (TNC, 2007).

Existen algunos tipos de ecosistemas que debido a su composición se denominan dependientes del fuego, entre ellos se encuentran los siguientes pinares: *Pinus hartwegii* Lindl, *P. palustris* Mill. y *P. ponderosa* Laws., donde este elemento ha desempeñado un papel substancial para mantener la etapa sucesional correspondiente a cada uno de ellos. Sin embargo, no debemos dejar de lado que, debido a la alteración de su régimen de fuego, por ejemplo en intensidad o frecuencia de incendios forestales, el fuego también ha contribuido a la degradación y la pérdida de este tipo de bosques.

El *P. palustris* se distribuye en la parte sureste de los EE.UU. (Wade *et al.*, 2000). En este pinar los factores de clima, especies clave y topografía,

interactúan con otros factores para mantener un régimen crónico de incendios (Wade *et al.*, 2000). Los incendios recurrentes son esenciales para mantener las poblaciones de *P. palustris*, el cual persiste y mantiene su diversidad a pesar de disturbios constantes y suelos infértiles. El régimen de fuego presente en este caso, mantiene dos estratos, arbóreo abierto y un sotobosques dominado por pastos (Wade *et al.*, 2000). Diversos estudios en *P. palustris* demuestran que el establecimiento de este pinar es el resultado de la influencia del fuego (Glitzenstein y Streng, 2003).

Existen diversas características que hacen a *Pinus palustris* tolerante al fuego. Después de salir de su estado cespitoso, su yema terminal crece rápidamente. La corteza engrosa rápidamente durante los primeros años de crecimiento en altura y protege al tallo de incendios superficiales. Las yemas grandes tienen una relativa resistencia alta al calor y están protegidas por largas acículas. Sus plántulas 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, comúnmente las plántulas de esta especie son infectadas por *Sciria acicola* (Dearn Siggers), el cual es un hongo que debilita a las plantas y eventualmente las mata; por su parte el fuego controla esta enfermedad al consumir las acículas infectadas y estimular la plántula al crecimiento en altura (Wade *et al.*, 2000).

A su vez, *P. ponderosa* se distribuye en la Costa del Pacífico, a lo largo de las Montañas Rocosas, y en el norte de México en los estados de Baja California, Chihuahua y Sonora (Wade *et al.*, 2000). También es una especie que presenta adaptaciones al elemento fuego, entre ellas el grosor de corteza

que protege al cambium de las temperaturas letales producidas por él. Los rodales de esta especie presentan una densidad relativamente baja, por tanto abaten el peligro de incendio de copa y generan una menor cantidad de combustible leñoso. De igual forma presenta una regeneración en sus ramas y su follaje a lo largo de sus troncos, a partir de yemas laterales o adventicias (Wright y Bailey, 1982). Los incendios tienen poco efecto en el estrato herbáceo, ya que las especies con bulbos y tubérculos rara vez son dañadas por el fuego (Agee, 1993). El chamuscado de copas es uno de los principales motivos que causa mortalidad post-fuego en este pinar, por ello el tamaño de árbol determina su resistencia a los incendios (Agee, 1993). Se ha visto que el chamuscado de copa superior al 50 %, hace a los árboles muy susceptibles al ataque de *Ips*, *Dendroctonus ponderosae* y *D. brevicornis*. (Mitchell, 1990).

Existen varios estudios acerca de *P. ponderosa* en EE.UU. que consideran que en las regiones frías y húmedas, este pinar debe su permanencia a la presencia de fuego, y solamente en las regiones cálidas y secas parecen formar comunidades clímax (Dickman, 1978).

El *P. hartwegii* distribuido en Honduras, Guatemala y México, dentro de nuestro país se encuentra en los siguientes estados: Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz. Se presenta en áreas de climas fríos y altitudes por entre los 2,900 y 4,000 m s. n. m., está asociado a los bosques de Oyamel y según la pendiente donde crezca, está rodeado de zacatales o nieve (CONAFOR, 2008). Para el sur del Distrito Federal tiene una gran importancia, ya que provee cruciales

servicios ambientales a los habitantes de esta ciudad (Espinoza *et al.*, 2008); también se utiliza para actividades de reforestación. Además, tiene importancia de tipo económica, pues es una especie maderable que se emplea en la construcción, principalmente para la elaboración de postes de energía eléctrica, de igual forma se usa en la carpintería y realización de tableros y fibras (CONAFOR, 2008). Presenta un régimen de incendios frecuentes y superficiales, y manifiesta seis adaptaciones al fuego (Rodríguez y Fulé, 2003).

P. hartwegii, es uno de los pinos mexicanos más adaptados a los incendios superficiales, presenta un régimen de incendios frecuentes y superficiales (Rodríguez y Fulé, 2003). Posee una corteza gruesa aislante, la cual sirve como protección al cambium vascular contra temperaturas letales prevalecientes durante los incendios (Rodríguez, 1996). Asimismo, en la etapa de brinzal presenta un crecimiento juvenil lento en la parte aérea, denominado cespitosidad, que le da al árbol una apariencia de zacate; 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; la raíz cuenta con un crecimiento significativo, provee de reservas al árbol para desarrollar rebrotes. También muestra rebrotes basales, especialmente en juveniles, después de un incendio, el rebrote se origina a partir del cuello de la raíz, sin embargo, debemos señalar que esta capacidad no se presenta en todas las poblaciones y se abate con la edad (Rodríguez, 1996 y Rodríguez *et al.*, 2004).

La presencia de fuego en bosques de *P. hartwegii*, elimina la barrera física que los zacates significan para que las semillas de este pino tengan contacto

con el suelo mineral y reduce la competencia temporalmente; también el suelo se ve enriquecido al incorporarse las cenizas, lo cual permite a la plántula contar con mas nutrientes, todo esto traduciéndose, en una buena regeneración en sitios quemados. Otra adaptación que manifiesta de manera positiva este pinar, es el chamuscado de copa, ya que representa un elemento de poda natural para el arbolado. De igual forma, esta especie puede tolerar pérdidas de todo su follaje, sólo cuando no se mate la yema terminal o las localizadas en la parte más alta, mostrando una buena recuperación. Se estima para este ecosistema un régimen de incendios superficiales de baja intensidad y frecuentes (cada 3-15 años) (Rodríguez *et al.*, 2004).

Sin embargo, independientemente de las adaptaciones de esta especie al fuego, los cambios en su régimen de fuego, tales como el aumento en la frecuencia e intensidad puede rebasar la tolerancia de la especie, originando así su mortalidad; de igual forma, la supresión o exclusión del fuego representa una considerable acumulación de combustible que puede ocasionar efectos nocivos, incluso devastadores en un incendio de mayor intensidad (Rodríguez, 2001).

La respuesta que estos pinares han tenido ante la presencia de fuego, en cuanto a la diversidad de especies ha sido favorable, en *P. palustris*, la flora que domina el ecosistema presenta adaptaciones bien desarrolladas a incendios frecuentes (Wade *et al.*, 2000). Las plantas clave exhiben pronunciada tolerancia al fuego, son de vida larga y son eficientes para almacenar nutrientes y agua, lo cual refuerza su dominancia y restringe la velocidad y escala espacial de cambios en la vegetación (Wade *et al.*, 2000). Los efectos en la diversidad

de la especie son diferentes dependiendo del ecosistema, y las características del sitio que se originen debido al incendio y/o quema. En bosques de *P. palustris* del sureste de EE.UU., la cobertura de herbáceas dicotiledóneas y pastos aumentó en claros pequeños (0.1 ha) y en claros grandes (1.6 ha) (Rodríguez, 2001).

El fuego incrementa la floración de especies de sotobosque en *P. palustris*, en Florida, EE.UU., teniendo efectos más significativos en la estación de crecimiento. Los incendios, en este caso en particular, incrementaron el número de plantas en floración, disminuyendo el promedio de duración de la floración por especie de sotobosque, y en sincronía con el período de máxima floración de plantas herbáceas, particularmente la floración de otoño en las compuestas (Platt *et al.*, 1988; citado por Miller, 2000).

En el caso de *P. ponderosa* los incendios tienen poco efecto en el estrato herbáceo, ya que las especies con bulbos y tubérculos rara vez son dañadas por el fuego. Sin embargo, ciertas especies encontradas en el sotobosque de *P. ponderosa* que son afectadas por el fuego, tienen la capacidad de rebrotar a través de brotes inactivos. Diversos estudios realizados en este pinar, muestran un efecto significativo a la presencia de incendios en la estación de crecimiento en las especies de sotobosque en contraste a los incendios que se presentan en la estación de inactividad (Myers y Robins, 1992). Se ha demostrado la influencia de la estación en que ocurre el evento del fuego, pues influye en la floración de especies herbáceas, en cuanto a su número de flores, así como la proporción de plantas floreciendo (Myers y Robins, 1992).

En áreas donde se presentan incendios aumenta la diversidad de la comunidad vegetal, y además, se promueve la riqueza de especies de sotobosque de *P. ponderosa*, claro que ese efecto depende del régimen de fuego con que se maneje este pinar (Myers y Robins, 1992).

Igualmente, en *P. hartwegii* se ha visto un impacto positivo en cuanto a la diversidad y riqueza de especies, mostrando un aumento en ellas (Martínez, 2003).

El área de estudio donde se desarrolló la presente investigación, se encuentra influida por diferentes factores de perturbación, tales como el pastoreo y la alteración del régimen de fuego, por ello está adquiriendo una importancia considerable a nivel ecológico por los servicios ambientales que representa para las poblaciones aledañas a esta área.

La radiación solar tiene una gran influencia sobre la vegetación de sotobosque, algunos de los aspectos más importantes que se destacan son: la intensidad, duración y calidad de la luz, especialmente en la fotosíntesis, proceso principal en el crecimiento de las plantas, ligado íntimamente a la intensidad de la luz. La radiación solar, según su longitud de onda, se divide en 9% luz ultravioleta, 46% al infrarrojo y el 45% restante se encuentra en el espectro visible. La radiación infrarroja que alcanzan la superficie del suelo se transforma en calor, por lo que su efecto en el sotobosque es indirecto. La luz visible influye en el estado general de las plantas, y si es insuficiente, los tallos crecen excesivamente a expensas de las hojas y el sistema radical se desarrolla poco (Castillo y Castellví, 2001).

En relación con los niveles de radiación solar y la aplicación de quemas prescritas, existen pocos estudios al respecto. En ellos se menciona de manera indirecta los efectos que la luz tiene en las especies de sotobosque de diversos bosques, en su mayoría de zonas templadas (Pecot *et al.*, 2007).

Dichos efectos indican que existe relación entre la apertura de espacio (consecuencia de la presencia de fuego) y la diversidad de especies de sotobosque, debido a que por la menor competencia de luz, que permiten estos espacios, dan cabida a la aparición de especies que normalmente no aparecen, por requerir mayores niveles de radiación (Spencer y Baxter, 2006).

Por lo antes descrito, es notorio que el fuego es fundamental para la continuidad de ciertos tipos de ecosistema, por lo que en algunos países, principalmente en EE.UU. se utiliza como una herramienta de manejo de recursos naturales (TNC, 2007).

1.2. Objetivos

- Determinar la diversidad y riqueza de los estratos herbáceo y arbustivo del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lindl. al aplicar quema prescrita.
- Estudiar la relación entre la diversidad, riqueza, densidad y dominancia de las principales especies del sotobosque con la radiación solar presente en los distintos niveles de cobertura de copas.

1.3. Hipótesis

- ❖ La diversidad y riqueza de especies en los estratos herbáceo y arbustivo, aumentarán con la quema prescrita, además la presencia de especies tolerantes al fuego será mayor porque la apertura de las coberturas de copa permitirá una mayor radiación y con ello favorecerá el crecimiento de éstas.

2. Metodología

Para cumplir con los objetivos previamente planteados se llevó a cabo el siguiente procedimiento.

2.1. Características del área de estudio

El área de estudio de la presente investigación se ubicó en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, situado al sur del Distrito Federal, en el siguiente cuadro se muestran las coordenadas geográficas y la altitud del área de estudio. En el Cuadro 1 se aprecia la ubicación del área de estudio dentro de la Delegación Tlalpan, Distrito Federal.

Cuadro 1. Ubicación geográfica y altitud del área de estudio.

Coordenadas		Altitud (m s. n. m.)
Latitud norte	Longitud Oeste	
99°16'22"	19°12'39"	3488
99°16'20'	19°12'34"	3516
99°16'23"	19°12'28"	3475
99°16'21"	19°12'29"	3501

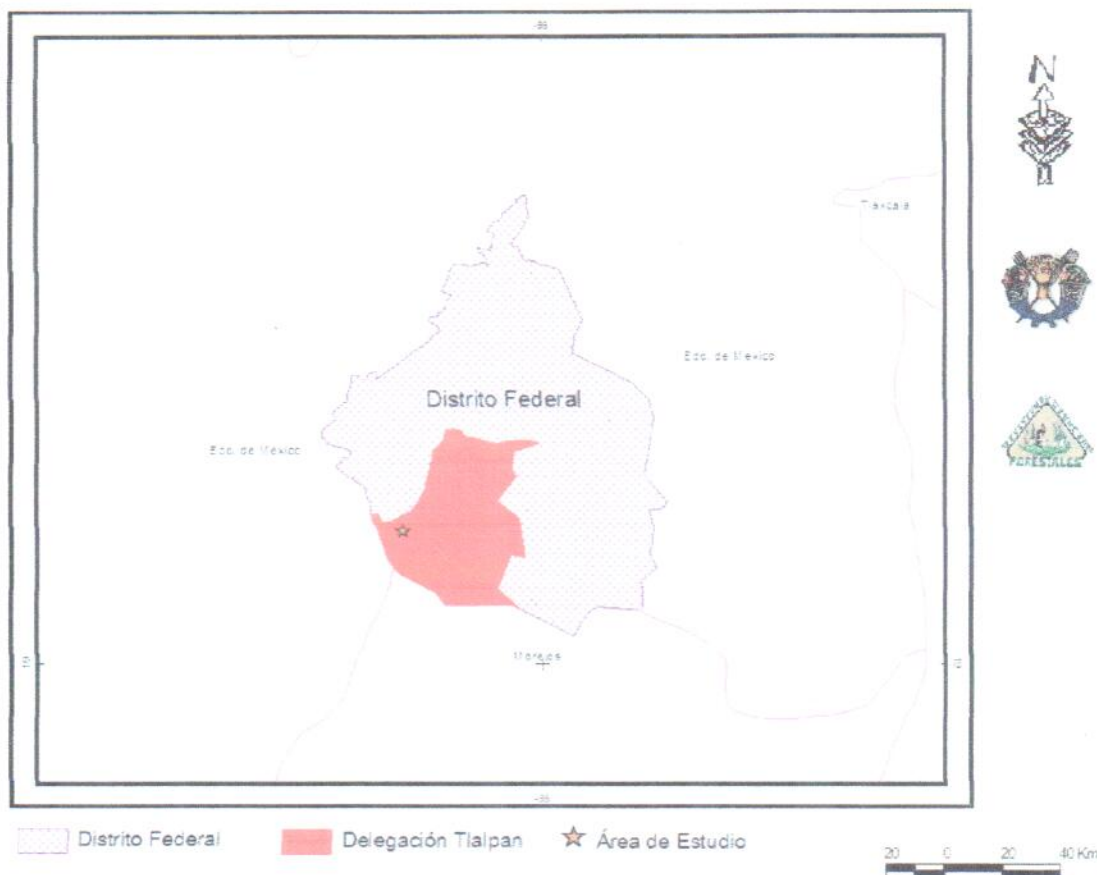


Figura 1. Mapa del Distrito Federal en donde se resalta la delegación Tlalpan y se señala la ubicación área de estudio.

El clima presente en el área de estudio es templado subhúmedo el más húmedo de los subhúmedos con lluvias en verano, que corresponde a la clave climática C(E) (w_2), , con temperatura media anual entre 5 y 12 °C, y con una precipitación media anual de 1,138.62 mm (García, 1973).

La provincia fisiográfica en que se ubica el área de estudio es la del Eje Neovolcánico, en la subprovincia núm. 57 de lagos y volcanes de Anáhuac (INEGI, 2001). Dicha provincia está conformada por grandes sierras volcánicas, coladas de lava, conos dispersos, amplios escudos-volcanes de basaltos, depósitos de arenas y cenizas dispersas entre extensas llanuras (INEGI, 2002).

Prevalecen las rocas ígneas extrusivas, del tipo andesita y pertenece a la era geológica del cenozoico (INEGI, 2008). El tipo de suelo predominante en el área es andosol, seguido del litosol, cuentan con una textura media (INEGI, 2008).

El área de estudio pertenece a la Cuenca Río Moctezuma, y a la Subcuenca Lago de Texcoco-Zumpango (INEGI, 2001). Existe la presencia de algunas corrientes de tipo intermitente, las cuales conducen agua durante la época de temporal.

La vegetación predominante es principalmente de bosque de pino – encino, asociado a pastizal inducido (INEGI, 2008). El componente arbóreo está dominado por *P. hartwegii*, que es un pino bastante tolerante a las bajas temperaturas; establece el límite altitudinal máximo de la vegetación arbórea (Figura 2). Las especies gramíneas que se presentan presentan en el área de estudio pertenecen a los géneros *Festuca*, *Calamagrostis* y *Muhlenbergia* (CONAFOR, 2008).



Figura 2. Vegetación presente en el área de estudio, en donde se nota un estrato arbóreo dominado por *P. hartwegii*.

Es importante tener en cuenta que el área donde se desarrolló esta investigación, se encuentra influida por diferentes factores de perturbación, tales como el pastoreo y la alteración del régimen de fuego.

2.2. Establecimiento del experimento

El experimento en su fase de campo comprendió la aplicación de dos tratamientos: con y sin quema prescrita, al tratamiento sin quema se le referirá en adelante como testigo.

Para la aplicación en campo de estos tratamientos se ubicó una superficie total de 10.842 ha, dentro de esta superficie se delimitaron al azar cuatro parcelas dos de 1.146 ha, una de 2.592 y una de 5.958 ha. En las primeras tres se aplicó quema prescrita y la cuarta fue para el testigo (Figura 3).

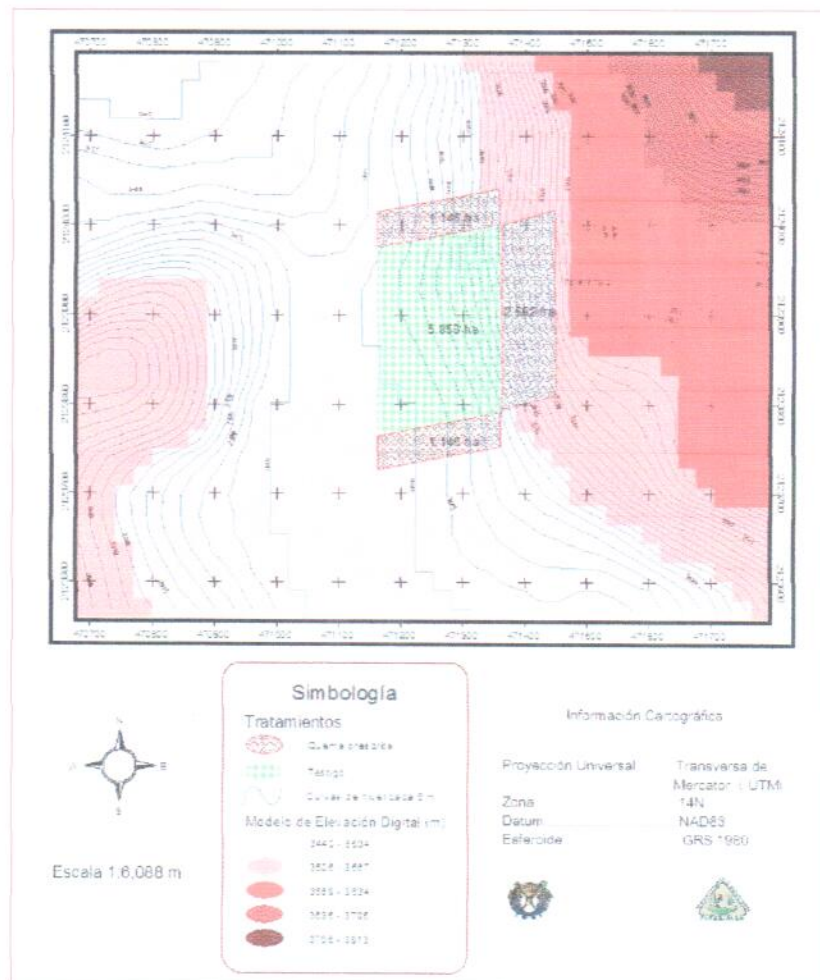


Figura 3. Ubicación de las parcelas de los tratamientos aplicados en la presente investigación, quema prescrita y testigo, dentro del Parque Nacional Cumbres del Ajusco.

En el tratamiento de quema prescrita, se aplicaron quemas prescritas del 14 al 20 de marzo de 2006, a baja intensidad en contra de viento y pendiente, con una velocidad de propagación menor a 3 m/min. y un largo de llama menor a 1 m (Figuras 4 y 5). El tratamiento testigo fue un control en una parcela en la que no se aplicó quema prescrita. El diseño experimental fue completamente al azar, con tres repeticiones.



Figura 4. Quema prescrita del sotobosque de *Pinus hartwegii*, aplicada en marzo de 2006.



Figura 5. Parcela donde se aplicó quema prescrita en el sotobosque de *Pinus hartwegii*, en marzo de 2006.

De acuerdo a las siguientes condiciones de cobertura de dosel arbóreo: abierta, semiabierta y cerrada, se delimitaron dos estaciones de observación en cada parcela, tanto en el tratamiento de quema prescrita como en el testigo (Figura 6). En las Figuras 7, 8 y 9 se muestran las fotografías digitales de las condiciones de cobertura de dosel utilizadas en esta investigación, dichas imágenes fueron tomadas con una lente hemisférica.



Figura 6. Delimitación de una estación de observación para el estrato herbáceo, usando estacas en cada una de las esquinas del cuadrángulo de 1 x 1m.



Figura 7. Ejemplo de cobertura abierta del dosel arbóreo, aproximadamente 80 % del campo visual sin interferencia del dosel arbóreo.



Figura 8. Ejemplo de cobertura semiabierta del dosel arbóreo, aproximadamente 50 % del campo visual sin interferencia del dosel arbóreo.



Figura 9. Ejemplo de cobertura cerrada del dosel arbóreo, aproximadamente 20 % del campo visual sin interferencia del dosel arbóreo.

Una estación de observación correspondió para la toma de datos del estrato herbáceo y la otra para el arbustivo, las estaciones fueron de 1 X 1 m y de 4 X 4 m, para el herbáceo y arbustivo, respectivamente, situándose una dentro de la otra, como se puede observar en la siguiente Figura.

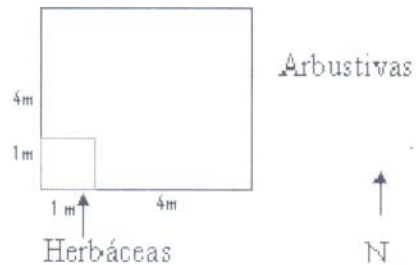


Figura 10. Ejemplo de dos estaciones de observación, la de 1 x 1 m. corresponde al estrato herbáceo y la de 4 x 4 m al estrato arbustivo.

Para el tratamiento de quema prescrita se delimitaron un total de 48 estaciones de observación, 24 para el estrato herbáceo y 24 en el arbustivo. En el testigo fueron 12 para cada estrato, totalizando 24 estaciones de observación.

2.3. Obtención y análisis de datos

En este apartado se describe el proceso de obtención de los datos para cumplir con los objetivos planteados con anterioridad, y el análisis que se realizó a dichos datos.

2.3.1. Diversidad y riqueza

Para la vegetación herbácea y arbustiva se determinó de manera independiente la diversidad y riqueza de especies. Para ello se contó el número

total de individuos por especie, el número total de individuos de todas las especies y se midió la cobertura de las especies presentes en las respectivas estaciones de observación, esto en el caso de la diversidad. Para determinar la riqueza se contó el número de especies presentes en cada una de las estaciones de observación, tanto en el estrato herbáceo como arbustivo, y en el tratamiento de quema prescrita y testigo. Para evitar posibles confusiones al momento que se contaron los individuos se colectaron especímenes para posterior identificación con apoyo del Herbario del Departamento de Zootecnia de la UACH. En el caso de arbustos se colectaron ramas, inflorescencias y frutos, de las herbáceas fueron individuos completos con todo y raíz. Además de la colecta de especímenes se tomaron fotografías digitales como herramienta para reforzar la identificación y compilar material fotográfico de las especies presentes en el área donde se realizó la fase de campo del estudio presente (Ver Anexo 2). La actividad de contar individuos se realizó durante el mes de octubre 2007, año y medio después de la aplicación de la quema prescrita y época en que el estrato herbáceo presenta floración lo que facilita la identificación.

El registro que se obtuvo fue número de especies y de individuos de cada especie dentro de cada estación de observación. Con esta información se calcularon los índices de Shannon-Wiener, Simpson (Krebs, 1985) y del valor de importancia de la especie, las fórmulas para el cálculo de cada índice se muestran a continuación:

$$\text{Índice de Shannon-Wiener} = H' = - \sum_{i=1}^S (p_i)(\log_2 p_i) \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

H' = Índice de diversidad o medida de heterogeneidad

S = Número de especies

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

$$\text{Índice de Simpson (Krebs, 1985)} = D = 1 - \sum_{i=1}^S (p_i)^2 \dots\dots\dots (2)$$

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 modelos para calcular el valor de importancia se desglosan a continuación:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Número de individuos por especie}}{\text{Superficie muestreada}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Dominancia} = \frac{\text{Cobertura de la especie}}{\text{Superficie muestreada}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{Número de estaciones de observación en que ocurre cada especie}}{\text{Total de sitios muestreados}} \dots\dots (5)$$

$$\text{Densidad relativa} = \left(\frac{\text{Número de individuos de la especie}}{\text{Número total de individuos de todas las especies}} \right) (100) \dots\dots (6)$$

$$\text{Dominancia relativa} = \left(\frac{\text{Dominancia de la especie}}{\text{Suma de las dominancias de todas las especies}} \right) (100) \dots (7)$$

$$\text{Frecuencia relativa} = \left(\frac{\text{Frecuencia de la especie}}{\text{Suma de las frecuencias de todas las especies}} \right) (100) \dots\dots (8)$$

Valor de importancia = Densidad relativa + Dominancia relativa + Frecuencia relativa

$$\text{Porcentaje de valor de importancia} = \frac{[(\text{Valor de importancia})(100)]}{300} \dots\dots (9)$$

Los índices mencionados anteriormente, así como el valor de importancia se calcularon para cada estación de observación y de manera independiente para el estrato herbáceo como arbustivo, de esta manera se pudo hacer una estimación del error de muestro.

Se llevó a cabo un análisis de varianza multivariado (MANOVA), relacionando los diferentes valores de diversidad y riqueza obtenidos con los tratamientos propuestos. El modelo para el MANOVA con un criterio de clasificación para “p” respuestas es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad ; \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad j = 1, 2, \dots, r_i \dots\dots\dots (10)$$

(pxl) (pxl) (pxl) (pxl)

Donde:

y_{ij} = Vector de respuestas en la j-ésima repetición con el i-ésimo tratamiento.

μ = Vector de medias general.

τ_i = Vector de efectos del i-ésimo tratamiento.

ε_{ij} = Vector de errores aleatorios, con $N_p(0, \Sigma)$

Se analizó la riqueza obtenida, llevando a cabo una comparación de medias entre los dos tratamientos el de áreas quemadas y sin quema, tanto para arbustivas como para herbáceas.

Para las especies con mayor valor de importancia se aplicó una prueba de chi-cuadrada, con el propósito de determinar las especies típicas, es decir que se presentaron con mayor frecuencia en el tratamiento de quema prescrita y testigo.

Los análisis se llevaron a cabo con los procedimientos proc glm del programa SAS (Statistical Analysis System) versión 8.0 para microcomputadoras.

2.3.2. Radiación solar

La cuantificación de la radiación solar recibida bajo cada tipo de cobertura del dosel fue primero mediante una toma de imagen digital con una cámara fotográfica digital y una lente hemisférica, esta lente se encuentra hacia arriba, sobre un plano horizontal y poniendo la cámara por debajo del dosel. La lente es de 180°, de alta resolución y se encuentra montada en un pie de nivelación tipo SLM7, que asegura la toma de la fotografía de manera horizontal, sin

importar al ángulo de la cual se tome (ver Figura 11). Se requieren de condiciones ambientales especiales, que se presentan justo antes del amanecer o atardecer, o cuando el cielo se encuentra nublado de una manera uniforme, por lo que las fotografías se tomaron al amanecer. Con la imagen capturada se debe agregar la geoposición en términos de coordenadas y altura sobre el nivel del mar, además del día de la captura de la imagen con esta información se alimenta el Sistema HemiView®, cuyo programa analiza las imágenes hemisféricas, calculando los índices de radiación solar que presentan el tratamiento de quema prescrita y testigo.



Figura 11. Sostén, sistema de nivelación, lente hemisférica y cámara.

Se utilizaron los siguientes indicadores de radiación: cielo visible, radiación solar difusa, directa y total por debajo del dosel y el índice de área foliar. Posteriormente, estos indicadores fueron relacionados con las especies en las que se encontró mayor incidencia y el número de individuos totales en cada una

de las estaciones de observación, para el tratamiento de quema prescrita y el testigo, en los estratos herbáceo y arbustivo.

Se realizó un análisis de regresión lineal para estimar los requerimientos de luz de las especies encontradas en las estaciones de observación en los estratos herbáceo y arbustivo, para el tratamiento de quema prescrita y testigo.

3. Resultados

De acuerdo al procedimiento realizado, se obtuvieron los siguientes resultados, los cuales siguen el orden de los objetivos planteados.

3.1. Diversidad y riqueza de especies

En total se identificaron 30 especies de sotobosque encontradas en los sitios de muestreo en ambas áreas, de las cuales 25 corresponden a herbáceas y 5 arbustivas, algunas de estas especies se presentan en el área quemada como en la testigo. En el Cuadro 2 se muestra el listado florístico de las especies identificadas.

Cuadro 2. Listado florístico.

Nombre científico	Familia	Hábito
<i>Baccharis conferta</i> H.B.K.	Compositae	Arbustiva
<i>Cerastium brachypodum</i> (Engelm.) Robins	Compositae	Herbácea
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Sch. & Bip.	Compositae	Arbustiva
<i>Erigeron galeotii</i> (A. Gray) Greene.	Compositae	Herbácea
<i>Eupatorium oligocephalum</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Gnaphalium inornatum</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Gnaphalium sphacilathum</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Selloa plantaginea</i> H.B.K.	Compositae	Herbácea
<i>Senecio angulifolius</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Senecio callosus</i> Sch. & Bip.	Compositae	Herbácea
<i>Senecio cinerarioides</i> H.B.K.	Compositae	Arbustiva
<i>Senecio reticulatus</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Senecio sanguisorbae</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Senecio toluccanus</i> DC.	Compositae	Herbácea
<i>Pernettya ciliata</i> Small.	Ericaceae	Herbácea
<i>Agrostis tolucensis</i> H.B.K.	Gramineae	Herbácea
<i>Calamagrostis tolucensis</i> (H.B.K.) Trin.	Gramineae	Herbácea
<i>Festuca tolucensis</i> H.B.K.	Gramineae	Herbácea
<i>Muhlenbergia quadridentata</i> (Kunth) Trin.	Gramineae	Herbácea

Cuadro 2. Listado florístico (continuación).

Nombre científico	Familia	Hábito
<i>Salvia prunelloides</i> H.B.K.	Labiatae	Herbácea
<i>Astragalus micranthus</i> Desv.	Leguminosae	Herbácea
<i>Lupinus montanus</i> H.B.K.	Leguminosae	Arbustiva
<i>Malaxis ehrenbergii</i> (Rchbf) Kuntze	Orchidaceae	Herbácea
<i>Peperomia campylotropa</i> Hill.	Piperaceae	Herbácea
<i>Rumex mexicanus</i> Meisn.	Polygonaceae	Herbácea
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose.	Rosaceae	Herbácea
<i>Potentilla ranunculoides</i> H. & B.	Rosaceae	Herbácea
<i>Penstemon gentianoides</i> (H.B.K.) (HBK) Poir.	Scrophulariaceae	Herbácea
<i>Eryngium monocephalum</i> Cav.	Umbeliferae	Arbustiva
<i>Viola humilis</i> H.B.K.	Violaceae	Herbácea

En las siguientes figuras 12 y 13 se muestra la diferencia entre las especies situadas en el tratamiento de quema y en el testigo, donde se puede notar hay mayor número de especies en el área tratada con la quema prescrita, casi el doble.

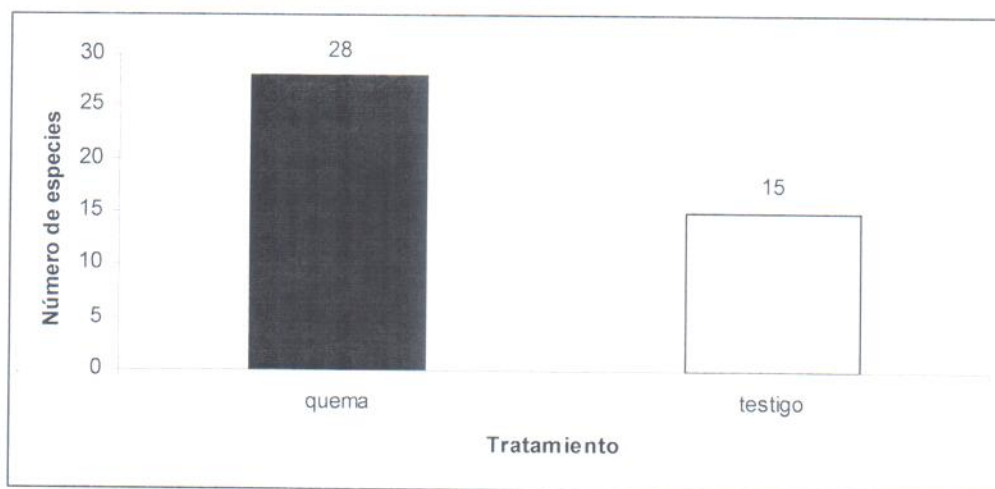


Figura 12. Gráfica de la riqueza de especies del estrato herbáceo.

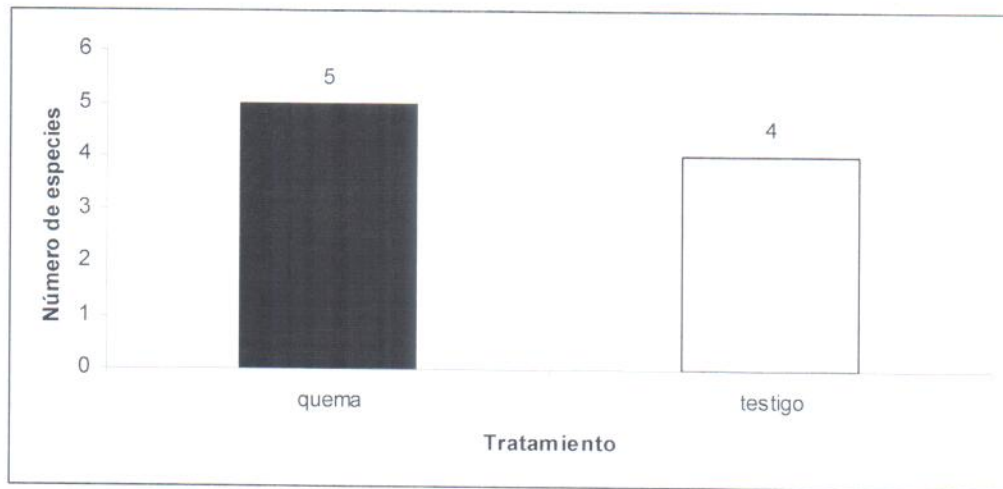


Figura 13. Gráfica de la riqueza de especies del estrato arbustivo.

Del cuadro 3 al 6 se muestran los índices de diversidad y riqueza en especies de sotobosque de *P. hartwegii*, tanto en el área quemada como en la testigo.

Cuadro 3. Estrato herbáceo, áreas con quema.

Sitio	Índice Shannon-Wiener	Índice Simpson	Riqueza
1	2.73	0.82	10
2	1.50	0.56	4
3	2.25	0.71	9
4	2.53	0.81	7
5	3.06	0.87	9
6	2.06	0.73	5
7	2.13	0.74	6
8	2.28	0.75	6
9	2.32	0.77	6
10	2.31	0.77	6
11	1.63	0.50	8
12	1.67	0.66	4
13	1.90	0.72	4
14	2.56	0.76	11
15	2.78	0.84	8
16	2.34	0.74	7
17	2.29	0.77	6
18	1.76	0.62	5
19	1.52	0.64	3
20	2.64	0.79	10
21	1.31	0.43	6
22	1.87	0.66	5
23	2.63	0.83	7
24	2.20	0.75	6

Cuadro 4. Estrato arbustivo, áreas con quema.

Sitio	Índice Shannon-Wiener	Índice Simpson	Riqueza
1	1.89	0.68	5
2	0.72	0.32	2
3	0.00	0.00	0
4	0.00	0.00	1
5	0.00	0.00	1
6	1.43	0.51	4
7	0.82	0.30	3
8	1.55	0.65	3
9	1.87	0.69	5
10	0.00	0.00	1
11	0.62	0.26	2
12	0.00	0.00	1
13	0.00	0.00	1
14	1.00	0.50	2
15	1.09	0.47	3
16	1.67	0.63	4
17	1.44	0.60	2
18	0.76	0.30	3
19	2.32	0.76	6
20	1.72	0.65	4
21	1.73	0.68	4
22	0.81	0.38	2
23	1.54	0.59	4
24	1.85	0.66	5

Cuadro 5. Estrato herbáceo, áreas sin quema.

Sitio	Índice Shannon-Wiener	Índice Simpson	Riqueza
1	2.20	0.75	6
2	1.82	0.64	5
3	1.79	0.68	4
4	1.55	0.56	4
5	1.58	0.61	4
6	1.43	0.59	3
7	0.39	0.14	2
8	1.99	0.71	5
9	1.99	0.75	4
10	1.30	0.53	3
11	2.58	0.81	7
12	0.80	0.29	3

Cuadro 6. Estrato arbustivo, áreas sin quema.

Sitio	Índice Shannon-Wiener	Índice Simpson	Riqueza
1	0.87	0.31	3
2	0.81	0.38	2
3	0.00	0.00	2
4	1.16	0.46	2
5	1.43	0.52	3
6	1.23	0.51	1
7	0.99	0.49	1
8	0.00	0.00	3
9	1.56	0.66	2
10	0.98	0.49	1
11	1.44	0.59	2
12	1.76	0.67	1

Los siguientes cuadros (7 al 10) muestran los porcentajes obtenidos para el valor de importancia de las especies del sotobosque encontradas en los sitios muestreados:

Cuadro 7. Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato herbáceo del área con quema.

Nombre científico	% Valor de importancia
<i>Festuca tolucensis</i>	11.15
<i>Penstemon gentianoides</i>	10.39
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	9.36
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	9.22
<i>Selloa plantaginea</i>	7.97
<i>Alchemilla procumbens</i>	7.53
<i>Viola humilis</i>	7.53
<i>Salvia prunelloides</i>	6.79
<i>Gnaphalium sphacilathum</i>	5.33
<i>Senecio angulifolius</i>	5.05
<i>Senecio callosus</i>	3.92
<i>Astragalus micranthus</i>	3.53
<i>Senecio toluccanus</i>	2.96
<i>Erigeron galeotii</i>	2.72
<i>Senecio reticulatus</i>	2.44
<i>Cerastium brachypodum</i>	2.27
<i>Senecio sanguisorbae</i>	2.15
<i>Pernettya ciliata</i>	1.84
<i>Peperomia campylotropa</i>	1.53
<i>Potentilla ranunculoides</i>	1.00
<i>Eupatorium oligocephalum</i>	0.58
<i>Gnaphalium inornatum</i>	0.54
<i>Malaxis ehrenbergii</i>	0.49
<i>Rumex mexicanus</i>	0.41

Cuadro 8. Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato arbustivo del área con quema.

Nombre científico	% Valor de importancia
<i>Lupinus montanus</i>	34.75
<i>Eryngium monocephalum</i>	25.82
<i>Senecio cinerarioides</i>	24.53
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	10.74
<i>Baccharis conferta</i>	4.16

Cuadro 9. Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato herbáceo del área sin quema.

Nombre científico	% Valor de importancia
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	21.91
<i>Festuca tolucensis</i>	18.56
<i>Agrostis tolucensis</i>	13.25
<i>Cerastium brachypodum</i>	7.19
<i>Pernettya ciliata</i>	7.09
<i>Gnaphalium sphacelatum</i>	6.77
<i>Peperomia campylotropa</i>	5.31
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	4.01
<i>Salvia prunelloides</i>	3.37
<i>Malaxis ehrenbergii</i>	3.23
<i>Erigeron galeotii</i>	2.88
<i>Senecio callosus</i>	2.78
<i>Senecio reticulatus</i>	2.18
<i>Selloa plantaginea</i>	1.47

Cuadro 10. Porcentaje de valor de importancia en especies del estrato arbustivo del área sin quema.

Nombre científico	% Valor de importancia
<i>Senecio cinerarioides</i>	27.72
<i>Cirsium ehrenbergii</i>	27.31
<i>Lupinus montanus</i>	25.30
<i>Senecio angulifolius</i>	13.96
<i>Baccharis conferta</i>	5.71

3.1.1. Análisis estadístico de la diversidad y riqueza de especies

Con base en el análisis multivariado, la riqueza y los dos indicadores de diversidad de especies resultaron significativos de acuerdo a los siguientes cuatro estadísticos: Raíz más grande de Roy, Wilk's Lambda, Pillai's Trace y Hotelling-Lawley Trace, todos con $p < 0.01$ para el caso de herbáceas y de $p < 0.09$ para arbustivas. Es decir, que se hallaron diferencias entre ambos tratamientos, con quema y sin quema prescrita.

Analizando con una prueba de Tukey cada indicador de diversidad y riqueza de especies tanto en herbáceas como en arbustivas, se halló que para las primeras en todos los casos los valores fueron superiores en los tratamientos con fuego que en los testigos, mientras que para los arbustos no hubo diferencias entre tratamientos a un año de la quema prescrita, como se muestran en las siguientes Figuras (14-19).

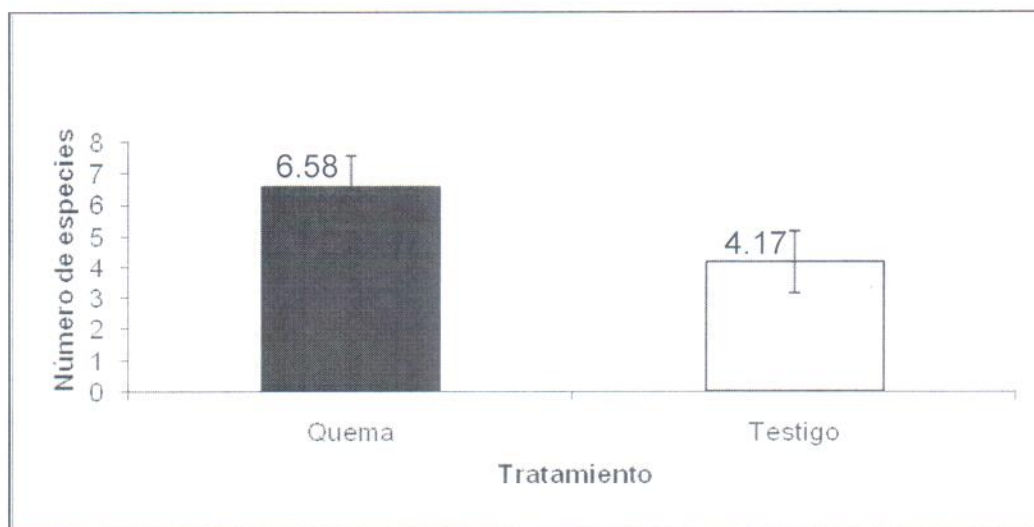


Figura 14. Gráfica de comparación de medias para riqueza en las especies del estrato herbáceo.



Figura 15. Gráfica de comparación de medias para Índice de diversidad de Shannon-Wiener en las especies del estrato herbáceo.



Figura 16. Gráfica de comparación de medias para Índice de diversidad de Simpson en las especies del estrato herbáceo.



Figura 17. Gráfica de comparación de medias para riqueza en las especies del estrato arbustivo.

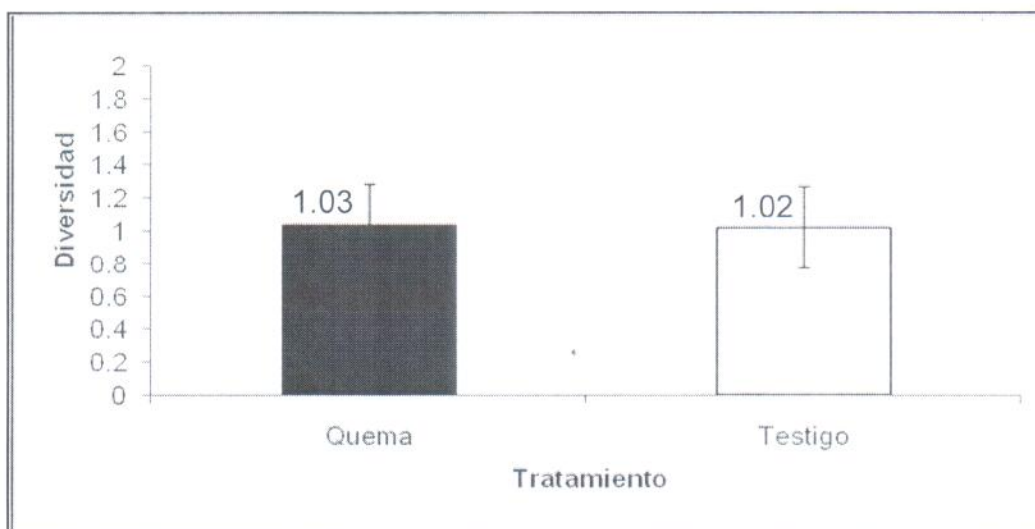


Figura 18. Gráfica de comparación de medias para Índice de diversidad de Shannon-Wiener en las especies del estrato arbustivo.



Figura 19. Gráfica de comparación de medias para Índice de diversidad de Simpson en las especies del estrato arbustivo.

De igual forma, se analizó la densidad y cobertura total con una prueba de Tukey, para las especies herbáceas y arbustivas, donde se encontraron valores mayores en el caso del tratamiento con fuego que en el testigo (Figuras 20-23).

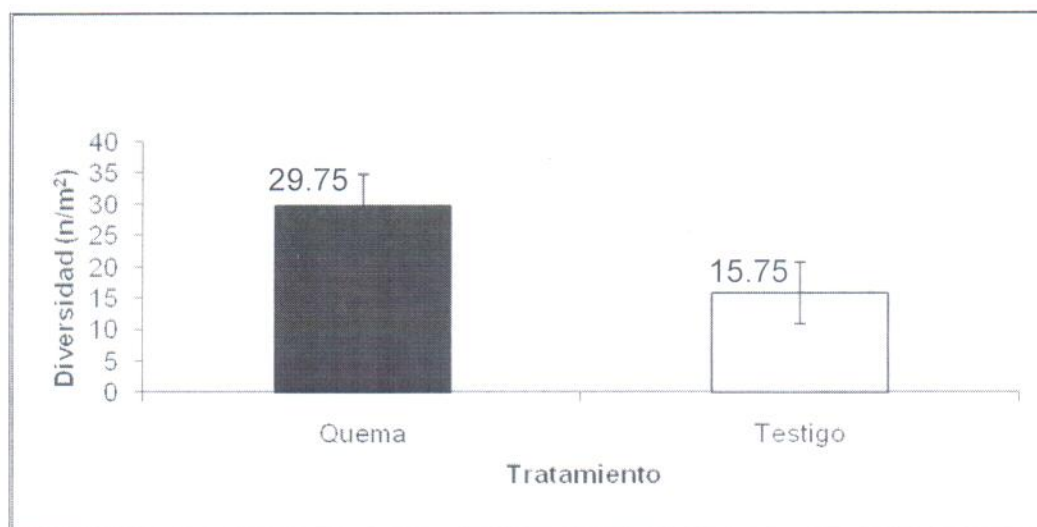


Figura 20. Gráfica de comparación de medias para densidad total (no./m²) en las especies del estrato herbáceo.

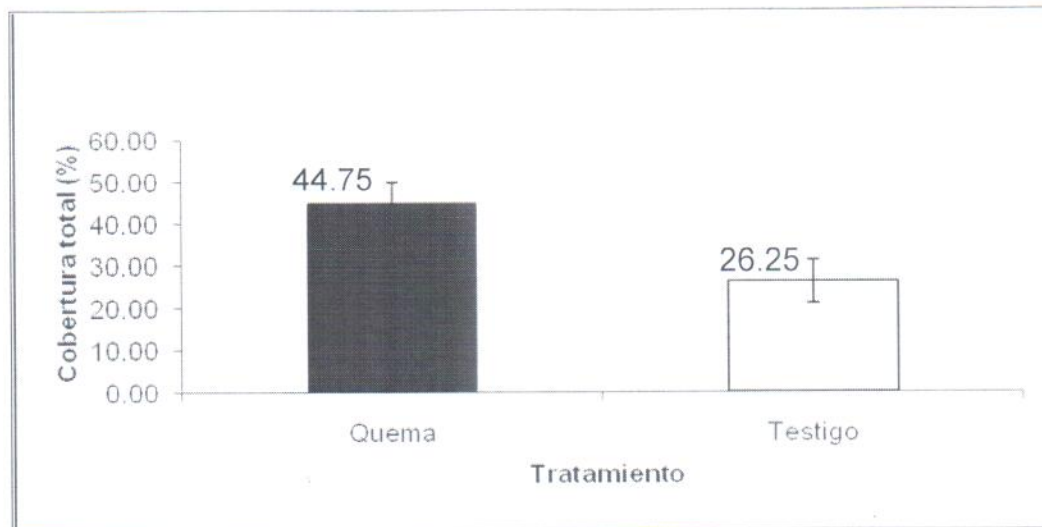


Figura 21. Gráfica de comparación de medias para cobertura total en las especies del estrato herbáceo.

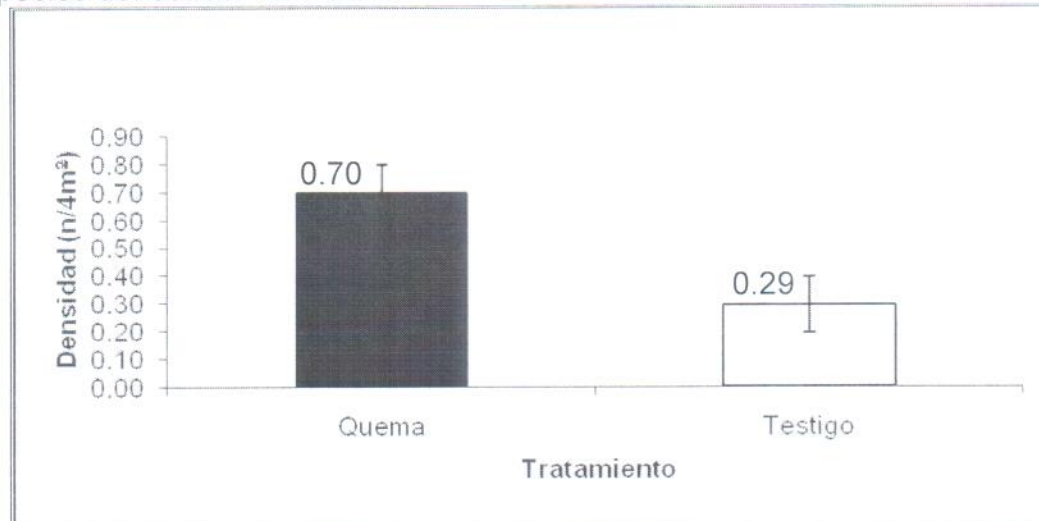


Figura 22. Gráfica de comparación de medias para densidad total (no./4 m²) en las especies del estrato arbustivo.

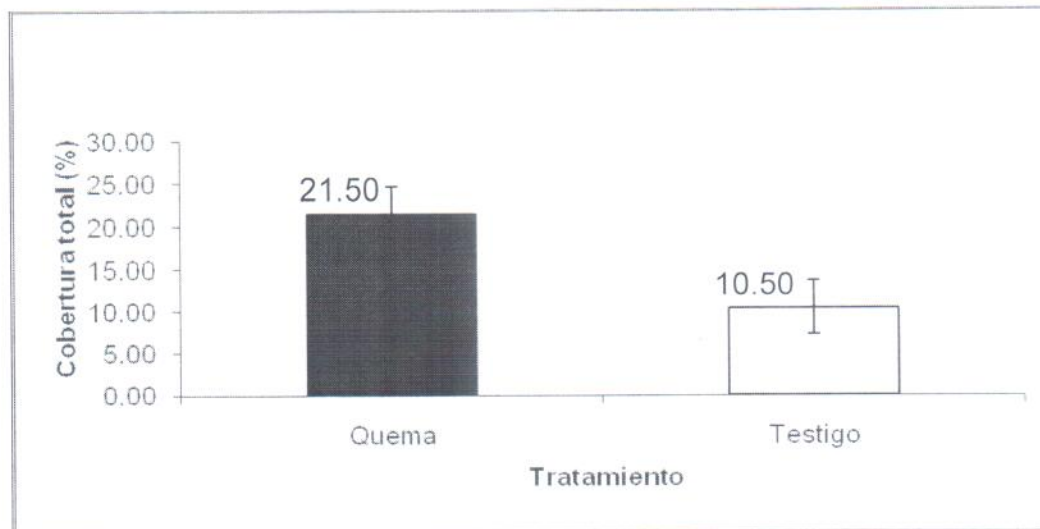


Figura 23. Gráfica de comparación de medias para cobertura total en las especies del estrato arbustivo.

Para las especies herbáceas y arbustivas con mayor valor de importancia en ambas áreas se aplicó una prueba de χ^2 , para determinar las especies típicas de áreas quemadas y no quemadas. Las especies *Calamagrostis tolucensis*, *Festuca tolucensis*, *Gnaphalium sphacelatum*, *Muhlenbergia quadridentata*, *Penstemon gentianoides*, *Pernettya ciliata*, *Salvia prunelloides*, *Selloa plantaginea*, *Senecio angulifolius*, *Senecio callosus*, *Senecio reticulatus* presentaron mayor significancia en el área con quema prescrita como se denota en el cuadro 11, mientras que la especie *Malaxis ehrenbergii* lo hizo en el área sin quema, mostrando una significancia de 0.0896.

Cuadro 11. Valores de significancia para especies herbáceas en el área de quema (prueba de χ^2).

Especie	Significancia
<i>Calamagrostis tolucensis</i>	0.0001
<i>Festuca tolucensis</i>	0.0001
<i>Muhlenbergia quadridentata</i>	0.0001
<i>Penstemon gentianoides</i>	0.0001
<i>Selloa plantaginea</i>	0.0001
<i>Senecio angulifolius</i>	0.0001
<i>Senecio reticulatus</i>	0.0001
<i>Salvia prunelloides</i>	0.0017
<i>Senecio callosus</i>	0.0052
<i>Pernettya ciliata</i>	0.0065
<i>Gnaphalium sphacelatum</i>	0.0077

En el caso de las especies arbustivas, las típicas de áreas quemadas resultaron ser: *Baccharis conferta*, *Lupinus montanus* y *Senecio cinerarioides*. En el cuadro 12 se muestran los valores de la prueba.

Cuadro 12. Valores de significancia para especies arbustivas en el área de quema (prueba de χ^2).

Especie	Significancia
<i>Lupinus montanus</i>	0.0001
<i>Senecio cinerarioides</i>	0.0001
<i>Baccharis conferta</i>	0.0956

3.2. Niveles de radiación

Una vez obtenidos los valores de cada uno de los siguientes indicadores: índice de área foliar (ver Anexo 1), se correlacionaron con dos variantes, la primera de ellas fue la densidad por especie y la segunda la dominancia.

De todas las especies herbáceas identificadas en el área manejada con quema prescrita, sólo tres de ellas mostraron significancia en la regresión lineal, las cuales se muestran en las figuras 24 a la 33.

En las figuras 24 a 27 se aprecia que a mayores niveles de radiación solar de todo tipo, en las áreas quemadas, *Muhlenbergia quadridentata* incrementa su densidad, destacando así su intolerancia a la sombra.

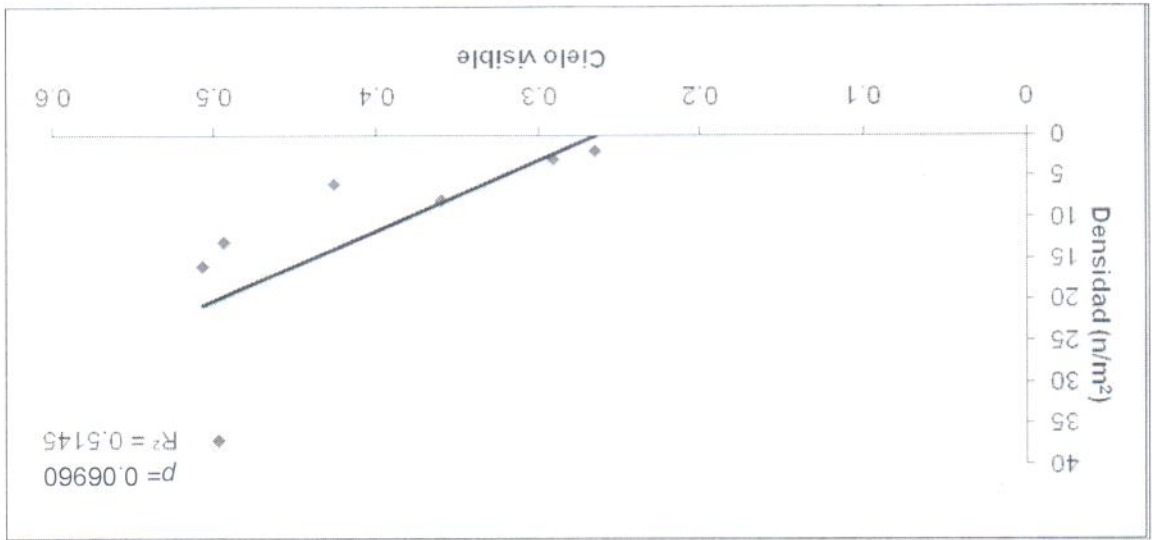


Figura 24. Gráfica de la especie herbácea *Muhlenbergia quadridentata* relacionando densidad con el nivel de radiación de cielo visible.

Figura 26. Gráfica de la especie herbácea *Muhlenbergia quadridentata* relacionando densidad con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.

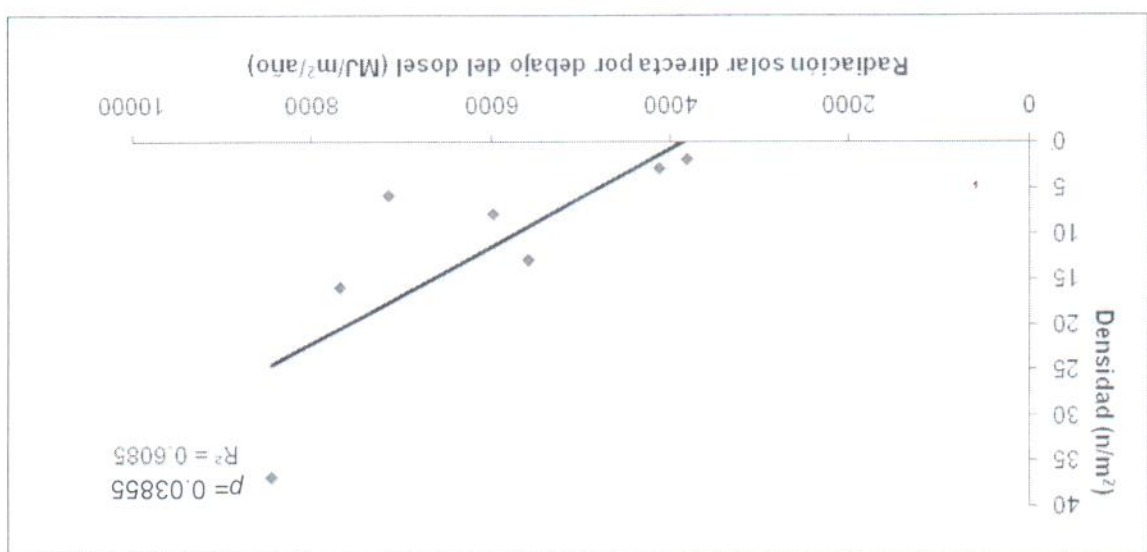
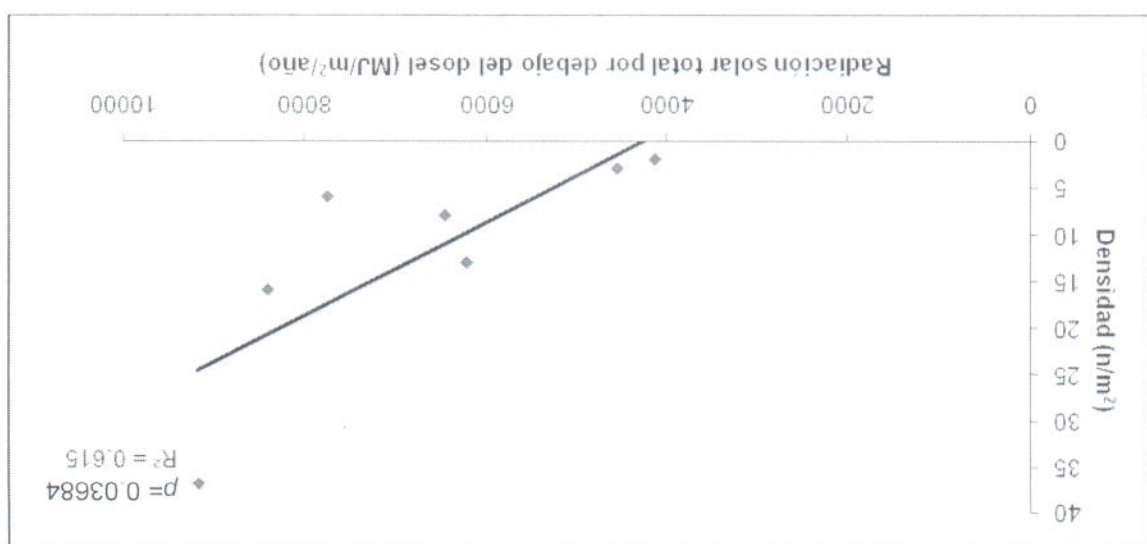


Figura 25. Gráfica de la especie herbácea *Muhlenbergia quadridentata* relacionando densidad con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.



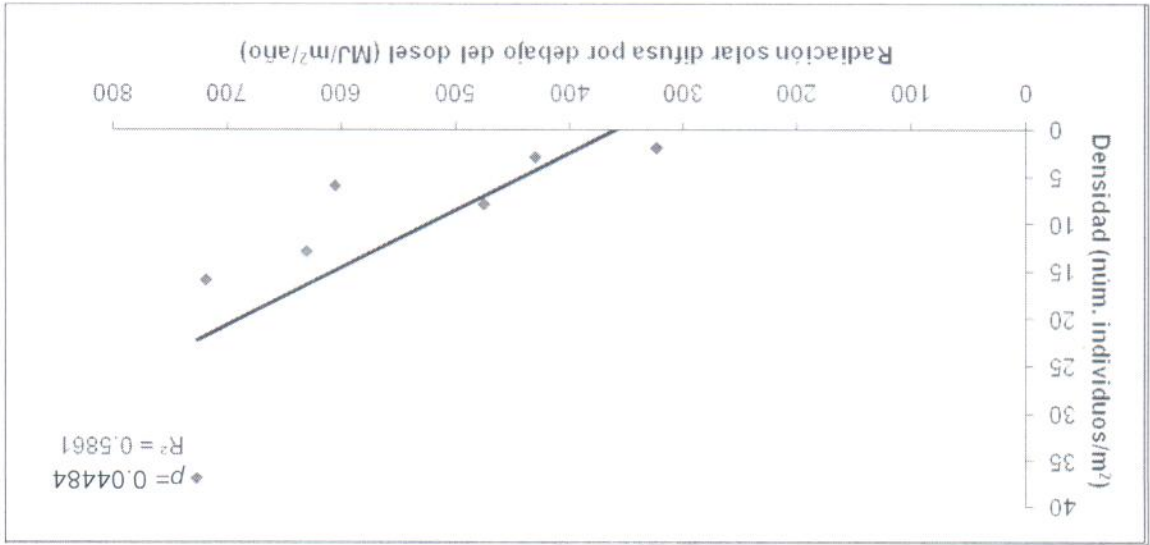


Figura 27. Gráfica de la especie herbácea *Muhlenbergia quadridentata* relacionando densidad con el nivel de radiación solar difusa por debajo del dosel.

En la siguiente especie herbácea, *Penstemon gentianoides* su dominancia fue baja porque otras especies dominaron más (*Muhlenbergia quadridentata*), pero su densidad fue mayor bajo sombra (Figuras 28-31).

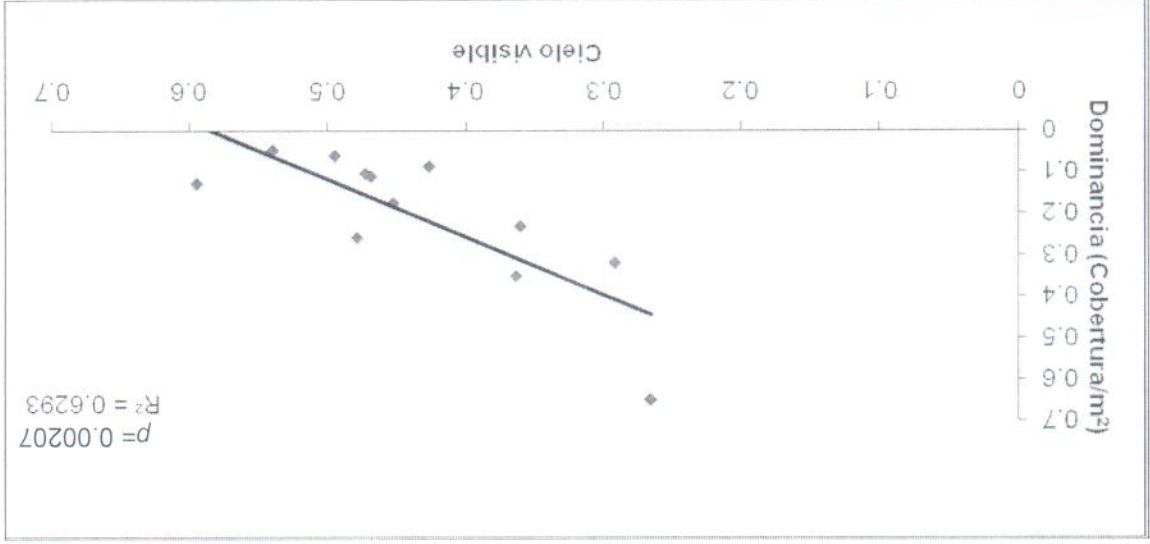


Figura 28. Gráfica de la especie herbácea *Penstemon gentianoides* relacionando dominancia con el nivel de radiación de cielo visible.

Figura 30. Gráfica de la especie herbácea *Penstemon gentianoides* relacionando dominancia con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.

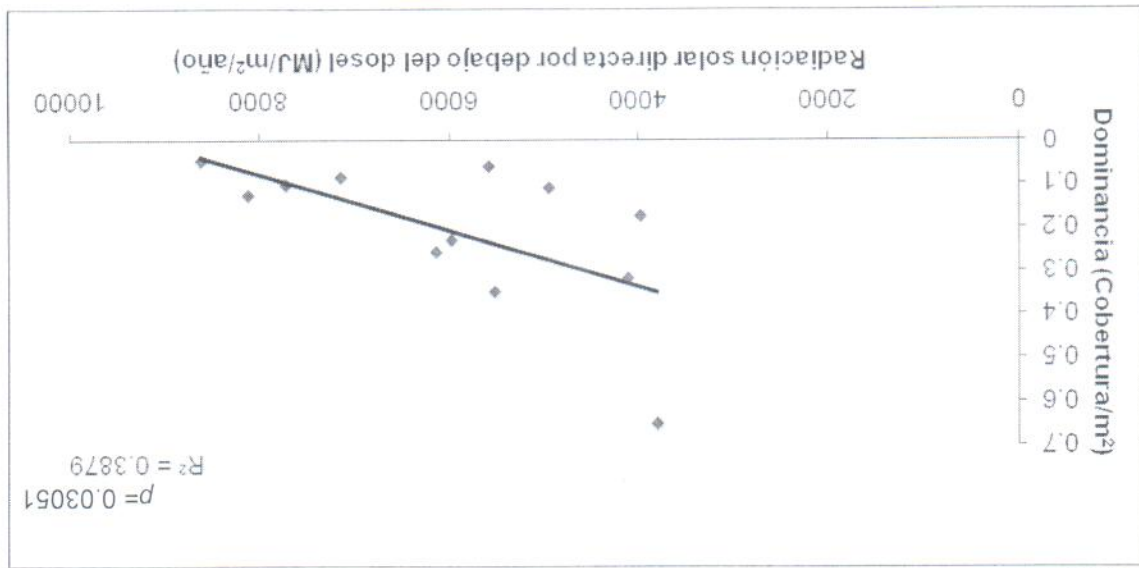


Figura 29. Gráfica de la especie herbácea *Penstemon gentianoides* relacionando dominancia con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.

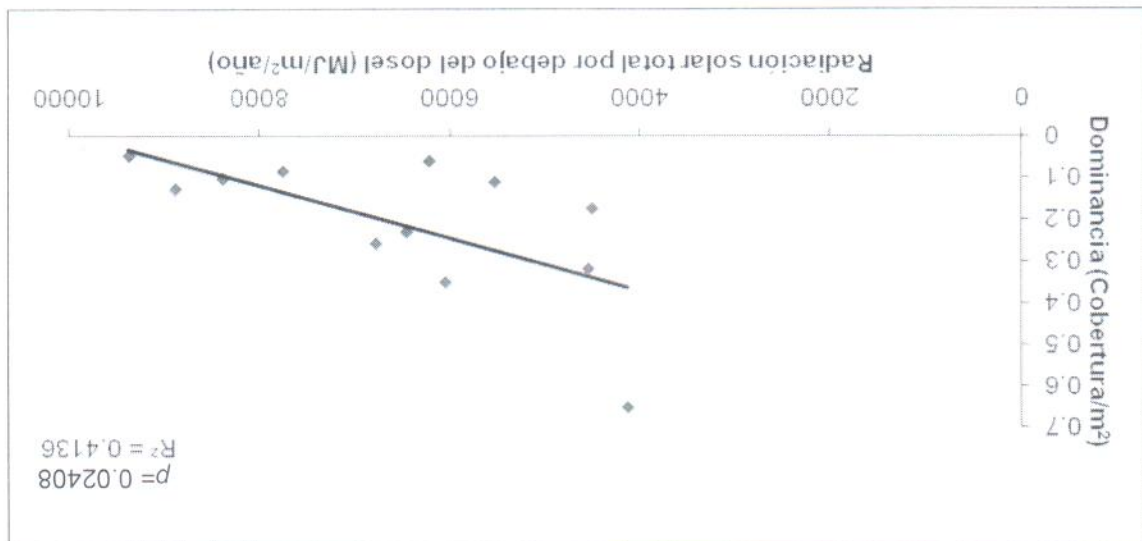
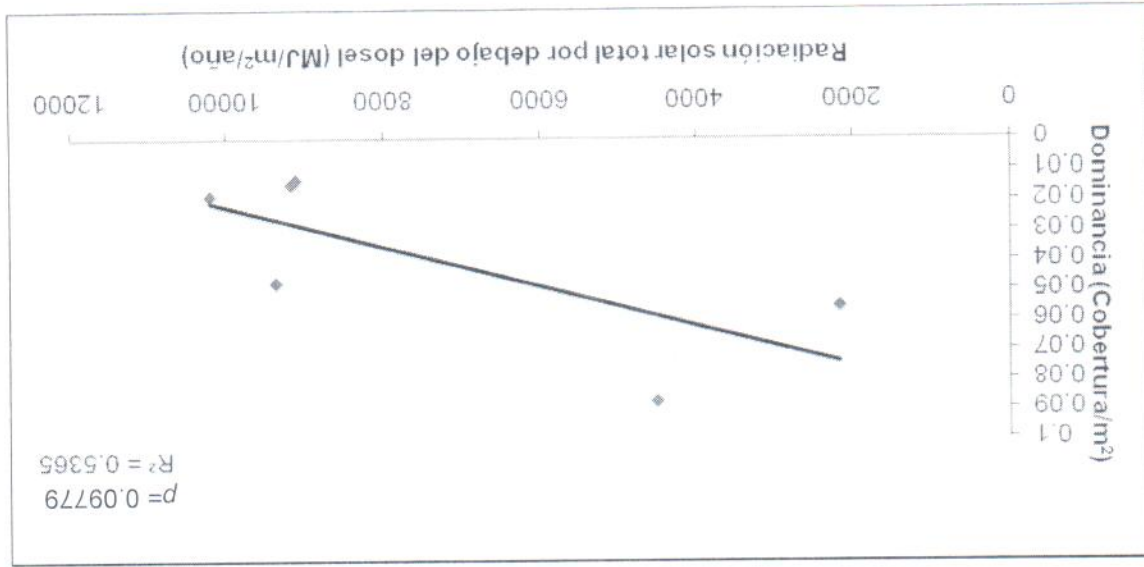


Figura 32. Gráfica de la especie herbácea *Senecio reticulatus* relacionando dominancia con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.



32 y 33.

dominancia ante mayores niveles de radiación, como se observa en las figuras De igual forma, *Senecio reticulatus* también mostró una reducción en su

Figura 31. Gráfica de la especie herbácea *Penstemon gentianoides* relacionando dominancia con el nivel de radiación solar difusa por debajo del dosel.

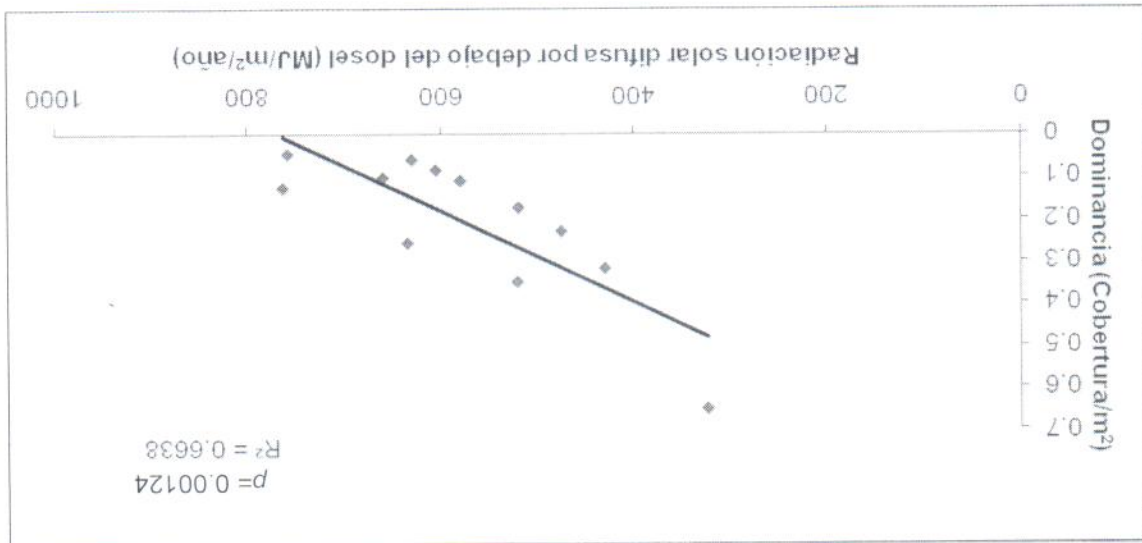
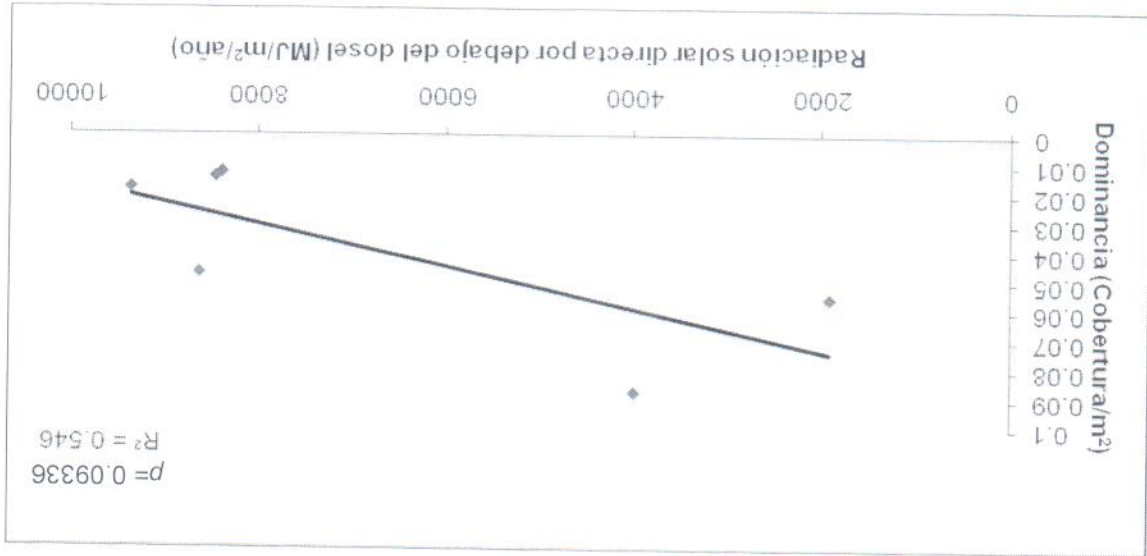


Figura 33. Gráfica de la especie herbácea *Senecio reticulatus* relacionando dominancia con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel.



En el caso de las especies arbustivas encontradas en el área de la quema, dos fueron las que presentaron significancia al ser relacionadas con los indicadores de los diferentes niveles de radiación solar, estas se muestran en las figuras 34 a la 38. *Cirsium ehrenbergii* aumentó tanto su densidad como su dominancia a mayor proporción de cielo visible (Figuras 34 y 35).

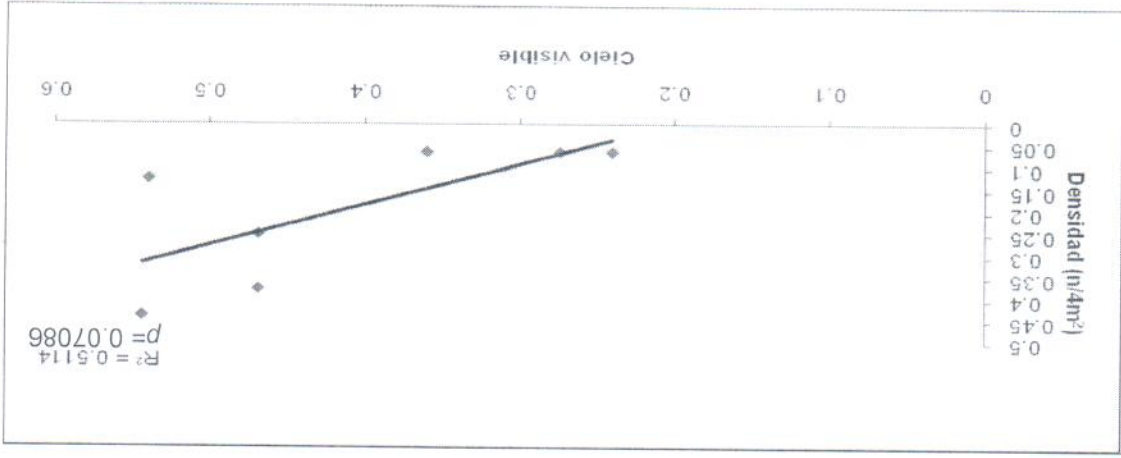


Figura 34. Gráfica de la especie arbustiva *Cirsium ehrenbergii* relacionando densidad con el nivel de radiación de cielo visible.

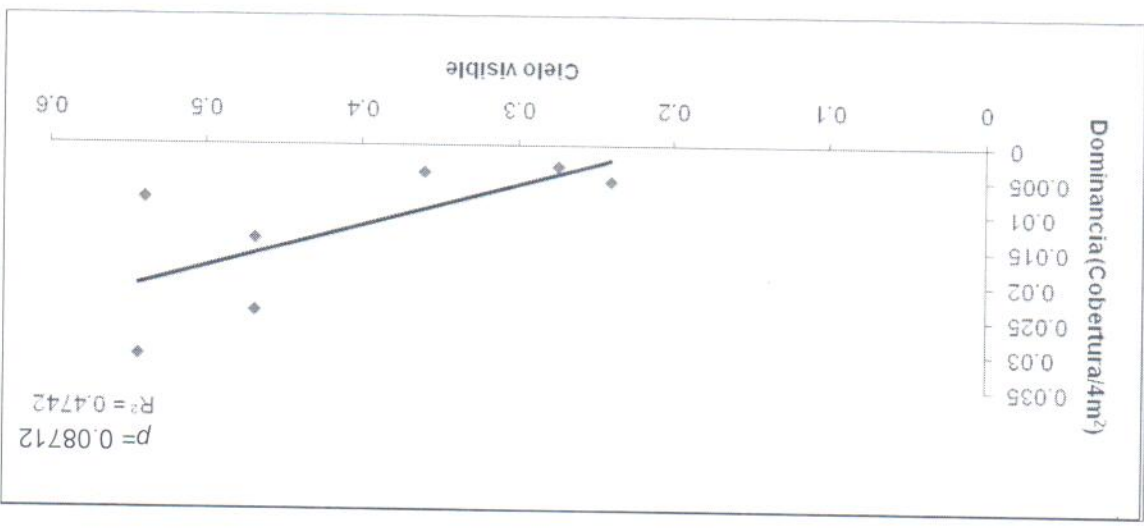


Figura 35. Gráfica de la especie arbustiva *Cirsium ehrenbergii* relacionando dominancia con el nivel de radiación de cielo visible.

A su vez, *Eryngium monocephalum* aumenta su densidad a menores niveles de radiación (Figuras 36-38).

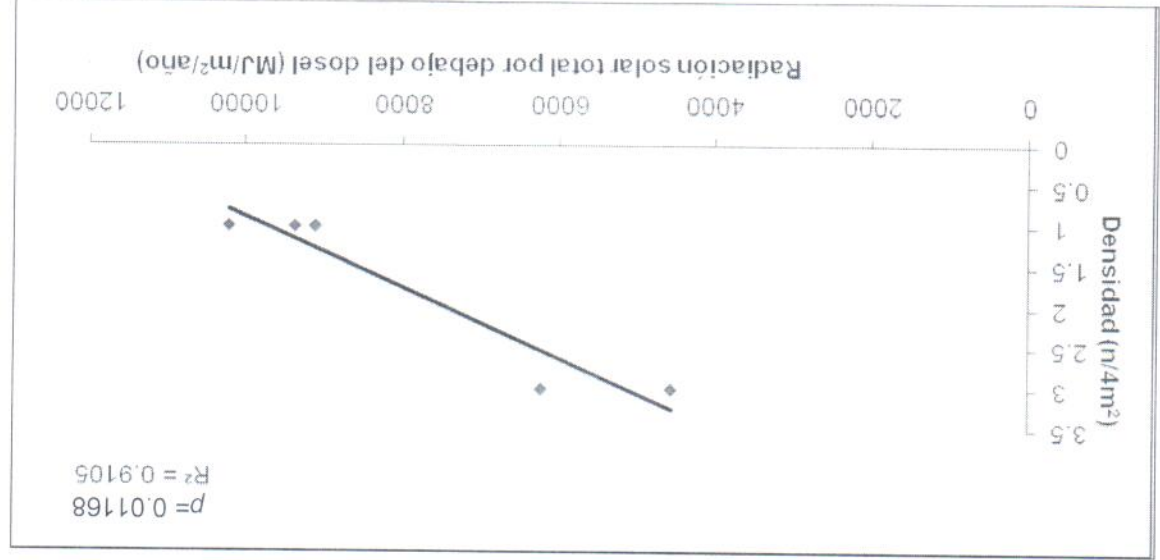


Figura 36. Gráfica de la especie arbustiva *Eryngium monocephalum* relacionando densidad con el nivel de radiación solar total por debajo del dosel.

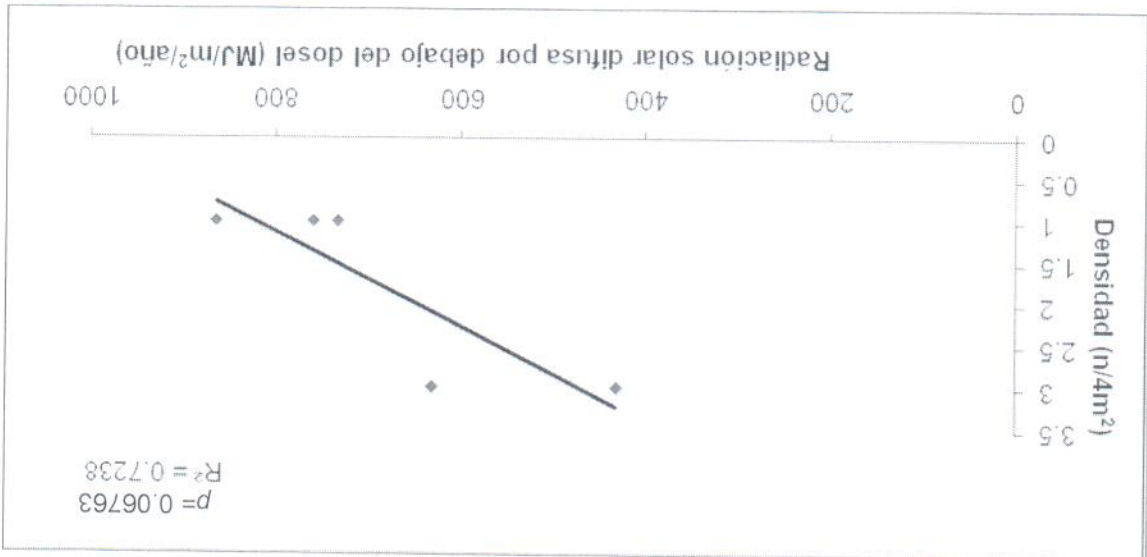
de radiación analizados.

herbáceo como arbustivo, no mostraron significancia en relación con los niveles

En cuanto a las especies encontradas en el área testigo, tanto el estrato

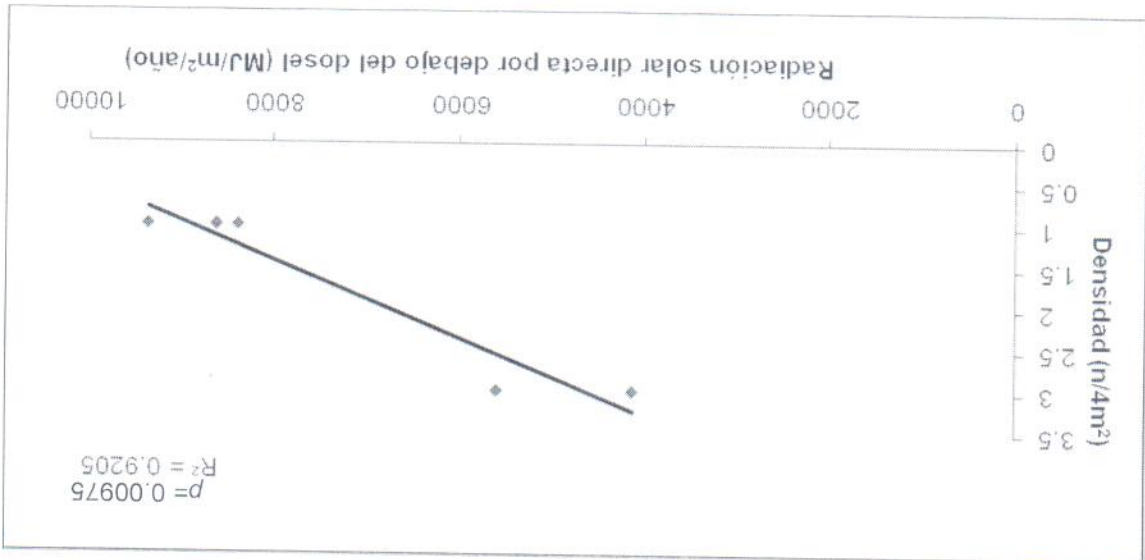
dosel.

Figura 38. Gráfica de la especie arbustiva *Eryngium monocephalum* relacionando densidad con el nivel de radiación solar difusa por debajo del



dosel.

Figura 37. Gráfica de la especie arbustiva *Eryngium monocephalum* relacionando densidad con el nivel de radiación solar directa por debajo del



De igual forma se correlacionaron los diferentes niveles de radiación con el número total de especies para cada uno de los tratamientos, siendo las especies arbustivas del área no quemada las únicas que mostraron una tendencia, que indica que existe mayor número de especies arbustivas a menores niveles de radiación solar total y directa por debajo del dosel, como se muestra en la figuras 39 y 40.

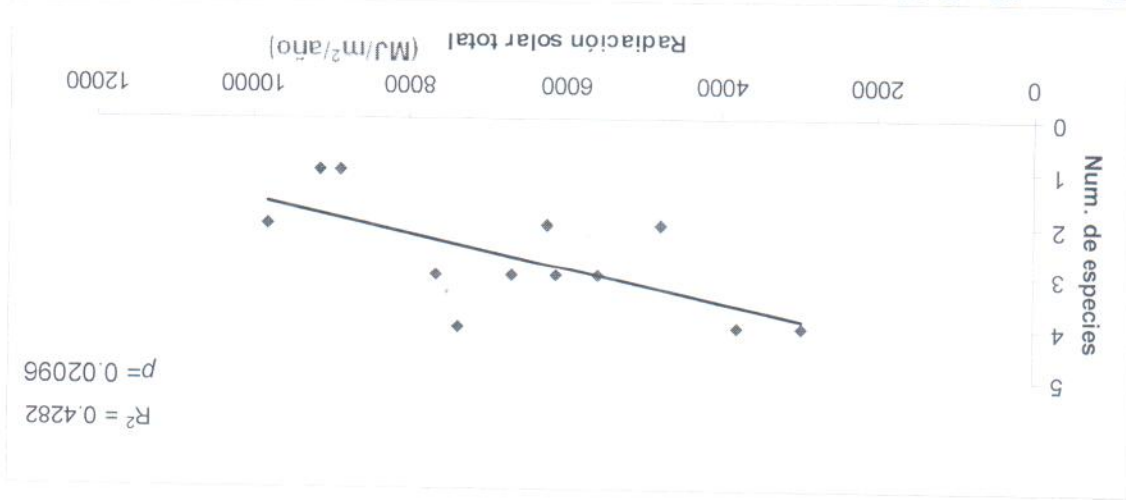


Figura 39. Gráfica de la relación de número de especies arbustivas con el nivel de radiación solar total en el área no quemada.

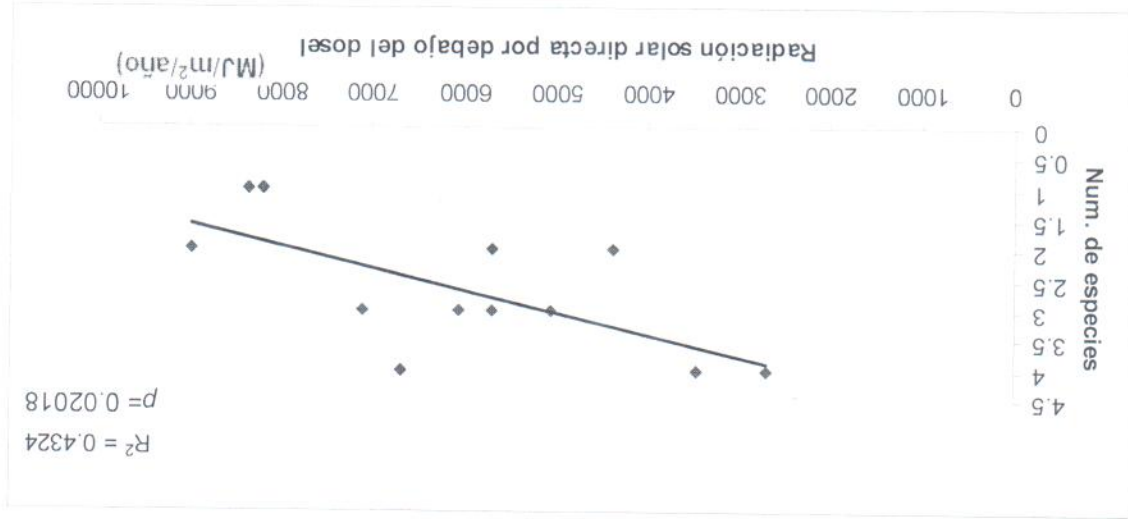


Figura 40. Gráfica de la relación de número de especies arbustivas con el nivel de radiación solar directa por debajo del dosel en el área no quemada.

4. Discusión

4.1. Diversidad y riqueza

En el presente trabajo se hallaron más especies de sotobosque (30 especies), en los sitios de muestreo con quemas prescritas, en comparación con las referidas por Martínez (20 especies), también en sitios de muestreo con muy semejante tratamiento de fuego. En las áreas no quemadas se encontraron 15 especies de sotobosque. Entre otros factores, esto obedece a que a mayor altitud la riqueza y diversidad de especies decrece, este trabajo se desarrolló a 3,400 m s. n. m., mientras que el de Martínez (2003) fue a 3600 m s. n. m.

Las especies registradas en este trabajo, pero que no aparecen en el realizado por Martínez (2003) son: *Cerastium brachypodium* (Engelm.) Robins, *Eupatorium oligocephalum* DC., *Malaxis ehrenbergii* (Rchbt) Kuntze, *Muhlenbergia quadridentata*(Kunth) Trin., *Pernettya ciliata* Small., *Rumex mexicanus* Meisn, *Viola humilis* H.B.K. y *Lupinus montanus* H.B.K. Mientras que las especies que a continuación se mencionan no aparecen en el presente trabajo, pero si en el realizado por Martínez (2003), las cuales son: *Arenaria lanuginosa* (Michx.) Rohrb, *Cerastium nutans* Raf., *Commelina coelestis*, *Bidens anthemoides* (DC.) Sherff, *Eupatorium adenophorum* Spreng, *E. shaftneri* Sch. Bip., *Gnaphallium americanum* Mill., *Helonium integrifolium* (H.B.K.), *Hieracium fendleri* Sch. Bip., *Sonchus oleraceus* L., *Steva hirsute* DC., *Draba jorullensis* H.B.K., *Pernettya postrata* (Cav.) CD., *Gentiana spathacea* H.B.K., *Geranium potentillaefolium* DC., *Brachypodium latifolium* Fourn., *Cinna poaeformis* (H.B.K.), *Ribes affine* H.B.K., *Phacelia platycarpa* (Cav.), *Luzula lenticulara* Liebm y *Oxalis jacquiniana* H.B.K.

Trabajando en el mismo Parque Cumbres del Ajusco Espinoza (2006) reporta 19 especies a dos años de aplicar una quema prescrita y una reducción a 14 especies al tercer año. Las especies que se presentan en este trabajo que no se observaron en Espinoza (2006) son las siguientes: *Agrostis tolucensis* H.B.K., *Astragalus micranthus* Desv., *Rumex mexicanus* Meisn. y *Salvia prunelloides* H.B.K.

De acuerdo a los tres trabajos, se pudo notar que los efectos del fuego, tendieron a aumentar el número de especies, la densidad y el índice de diversidad al cabo de un año del evento. Esto debido principalmente al aumento de la radiación solar directa, relacionada con la afectación de copas por el fuego, además de una mayor disponibilidad de nutrientes en las cenizas y a la reducción de la competencia por pastos (Wright y Bailey, 1982; Whelan, 1997).

En este trabajo en los tratamientos de quema prescrita no hubo diferencia significativa en la intensidad de la mismas; sin embargo, la respuesta en la riqueza varía de acuerdo a la intensidad y la época de quema, según datos encontrados por Espinoza (2006), ya que en el mes de mayo se tiene un mayor efecto sobre la riqueza y cobertura vegetal que en quemas realizadas en el mes de marzo.

Un estudio llevado a cabo en un bosque de *P. ponderosa* Laws., mostró que con una baja intensidad de quema se obtienen mejores resultados en cuando a la riqueza de especies; no obstante, también encontraron que después de dicha quema se halló un número mayor de especies exóticas que antes de ésta, y las especies nativas disminuyen su cobertura total, lo cual es asociado al régimen del fuego, la época de aplicación del fuego y a la

disponibilidad de recursos (luz, nutrientes, agua, etc.) para cada una de las especies (Kerns *et al.*, 2006).

Con base en el presente trabajo y en los dos anteriores se puede determinar la duración de los efectos del fuego en el sotobosque, ya que con pruebas multivariadas, se demostró que a dos años de la aplicación de las quemaduras prescritas las áreas tratadas aun contaban con más especies que las áreas no quemadas, dicha tendencia se redujo en el tercer año, pero todavía era mayor que en el área no quemada.

P. palustris presenta efectos en la diversidad y riqueza de sotobosque a la presencia de fuego, debido a la flora que domina el ecosistema, muestra adaptaciones bien desarrolladas a incendios frecuentes; las plantas denominadas "clave" exhiben una notoria tolerancia al fuego, son de larga vida, además de ser eficientes para almacenar nutrientes y agua, lo cual refuerza su dominancia, y restringe la velocidad y escala espacial de cambios en la vegetación (Wade *et al.* 2000), y en el caso de *P. ponderosa* los incendios forestales tienen poco efecto en el estrato herbáceo, ya que las especies con bulbos y tubérculos rara vez son dañadas por el fuego (Agee, 1993), aunque ciertas especies encontradas en el sotobosque de este pinar, que son afectadas por el fuego, tienen la capacidad de rebrotar.

Además, en *P. palustris*, se ha observado que la cobertura de herbáceas dicotiledóneas y pastos aumentó en claros pequeños (0.1 ha) y en claros grandes (1.6 ha) (Rodríguez, 2001), y para *P. ponderosa* se observó principalmente en lo pastos, que la cobertura fue menor en sitios quemados de manera prescrita a elevada intensidad, en comparación con sitios quemados a

baja intensidad, probablemente a causa de la combustión sin flama de la capa orgánica del suelo, que afecta raíces y rizomas (Armour *et al.*, 1984).

El fuego incrementa la floración de especies de sotobosque en *P. palustris* en la Florida, EE.UU., teniendo los efectos más significativos en la estación de crecimiento. El fuego aumentó el número de plantas en floración, disminuyendo el promedio de duración de la floración por parte de las especies de sotobosque, y en sincronía con el período de máxima floración de plantas herbáceas, particularmente la floración de otoño en las especies pertenecientes a la familia Compositae (Millar 2000). Brockway *et al.* (1997), también analizaron los efectos a largo plazo de varias quemas prescritas en la diversidad, estructura y productividad de un ecosistema de *P. palustris* en el Estado de Georgia, EE.UU. Este manejo fue anual, bianual y trianual durante el inicio del invierno. Como resultado obtuvieron un aumento en la diversidad y uniformidad de la vegetación tanto en herbáceas como en arbustivas, y por consecuencia un aumento en la productividad de la biomasa de las mismas, los mejores resultados se obtuvieron a dos años de la quema prescrita.

Según las características del sotobosque, las condiciones por lo general no permiten una rápida descomposición de los materiales herbáceos, y debido a esta razón estos materiales aumentan más rápidamente de lo que se descomponen, por lo que cabe la posibilidad de aplicar un manejo del fuego con quemas prescritas para acelerar dicha descomposición (Benítez, 1987).

Los géneros *Lupinus* y *Penstemon* se presentaron en ambos tratamientos en este trabajo, y los llevados a cabo por Martínez (2003) y Espinoza (2006),

sin embargo la presencia de estos géneros es menor en las áreas sin quema prescrita.

Estos se encuentran reportados como especies indicadoras de disturbio por fuego (Martínez, 2003). La elevada germinación de leguminosas herbáceas o arbustivas, junto con rebrotes de las arbustivas, hacen que sea una familia de plantas de mayor importancia en los cinco primeros años de sucesión post-incendio en bosques de *Pinus hartwegii*, tanto desde el punto de vista cualitativo, es decir la riqueza florística, como del cuantitativo, la cobertura (Martínez, 1999). Existen trabajos respecto a la escarificación de semillas de *Lupinus montanus* y *L. bilineatus*, en ambientes controlados, empleando métodos mixtos, los cuales revelaron la presencia de dormición física en ambos *Lupinus* (Acosta y Rodríguez; 2005; Martínez y Rodríguez, 2008).

También se observó la presencia de las gramíneas *Muhlenbergia quadridentata* y *Festuca toluensis*, que con incendios demasiado frecuentes eliminan este pinar y favorecen su densidad y crecimiento (Rzedowski, 1978). Se considera que algunas de las comunidades dominadas por esta especie de pino son secundarias, mantenidas por incendios, correspondiendo el climax a otra especie, como *Abies religiosa*, de esta forma cuando hay ausencia de fuego, en altitudes donde podría estar presente esta última especie u otras, *P. hartwegii* es desplazado (Rodríguez et al., 2004).

En bosques de *P. ponderosa* las especies de sotobosque típicas de áreas quemadas son *Berberis repens*, *Luzula campestris*, *Fragaria*, *Potentilla gracilis*, *Deum triflorum*, *Vicia*, *Ceanothus*, *sanguineus*, *Apocynum*

androsaemifolium, *Epilobium aungustifolium* y *Collomia linearis*, las cuales varían su presencia de acuerdo a la intensidad del fuego (Armour *et al.*, 1984).

4.2. Niveles de radiación

Se pudo observar en el presente trabajo que sólo algunas especies de sotobosque mostraron significancia entre la relación de densidad y dominancia con respecto a los niveles de radiación solar, y ésta sólo se encontró en el tratamiento con quema prescrita. Principalmente, fueron herbáceas las que mostraron alguna tendencia, a diferencia de las arbustivas, esto debido a que el muestreo se realizó a poco más de un año de haberse aplicado la quema prescrita, y por lo general las especies arbustivas muestran un desarrollo más notorio después de los dos años de haber ocurrido el evento de fuego. Mölder *et al.* (2008) en un estudio llevado a cabo en el Parque Nacional Hainich, en Turingia, Alemania en la especie arbórea *Fagus sylvatica* conocida como Haya Europea, encontró que no existe relación entre la cobertura de dosel, es decir, la incidencia de radiación solar, y la diversidad de especies de sotobosque, a semejanza del presente trabajo.

Spencer y Baxter (2006) llevaron a cabo un estudio sobre los efectos del fuego prescrito y de incendios forestales en la estructura y composición de los bosques abiertos de eucalipto en la costa este de Australia. El objetivo principal era saber si la modificación en la estructura y composición de especies de sotobosque, está en función de la frecuencia de incendios. Se pudo observar que la presencia de fuego, aumenta la apertura del dosel, incrementando la incidencia de radiación solar. Sin embargo, se mostró que disminuye la

dominancia de algunas especies como *Penstemon gentianoides* y *Senecio reticulatus*, pero que la aplicación de quemas prescritas ayuda a la formación de la estructura del bosque.

Es muy escasa la información relativa a la relación entre diversidad de una especie, así como su dominancia en relación a la disponibilidad de radiación en áreas quemadas por incendio o por fuego prescrito. Sin embargo, en el presente trabajo se halló para las especies *Muhlenbergia quadridentata* y *Cirsium ehrenbergiis* que a mayor disponibilidad de radiación, aumenta el espacio de crecimiento con respecto a dicho factor y por ende la densidad.

En otro caso de *Eryngium monocephalum* la tendencia fue exactamente la contraria, denotando preferencia a menores niveles de luz. Para *Penstemon gentianoides* y *Senecio reticulatus* disminuyó su dominancia a mayores niveles de radiación.

5. Conclusiones

La aplicación de quemas prescritas a baja intensidad en el bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. promueve una mayor diversidad y riqueza de los estratos herbáceo y arbustivo. En las partes más altas hay una menor diversidad de especies, pero el fuego también incrementa la diversidad en ellas.

Se estableció el comportamiento de la densidad y dominancia de especies del sotobosque en áreas de quema prescrita a baja intensidad, a partir de 1500 MJm⁻²año⁻¹ y hasta 9500 MJm⁻²año⁻¹, típicos en bosques de *Pinus hartwegii* si bien queda pendiente su estudio a menores niveles de radiación.

Fue observada la plasticidad de varias especies en términos de sus requerimientos de luz. Dentro de los intervalos de radiación estudiados en las áreas tratadas con quemas prescritas, ni la riqueza ni la diversidad de especies respondieron a distintos niveles de radiación.

En la especie herbácea *Muhlenbergia quadridentata* se muestra un incremento en su densidad a mayores niveles de radiación solar en los siguientes indicadores: cielo visible, radiación solar difusa, directa y total por debajo del dosel, lo cual indica una alta intolerancia a la sombra. Caso contrario al de la especie herbácea *Senecio reticulatus*, donde se observó una menor dominancia a mayores niveles de radiación.

Penstemon gentianoides exhibió menor dominancia en áreas abiertas. Sin embargo, se trata de su primer año de vida, y esta especie prolifera luego del segundo año del paso del fuego en áreas abiertas, según se observa con facilidad en distintas regiones. Así mismo, aunque su dominancia no fue

elevada en sitios expuestos, su densidad fue semejante en áreas bajo sombra o con cobertura de dosel.

Mientras que en la especie arbustiva *Cirsium ehrenbergii* se observó un aumento en su densidad y dominancia a mayores proporciones de cielo visible. Por su parte, *Eryngium monocephalum* muestra un incremento en su densidad a menores niveles de radiación.

Hacen falta más estudios cuantitativos que demuestren los requerimientos de luz de diversas especies de sotobosque, que aunque responden bien en ambientes quemados, pueden ser más plásticas en términos de sus necesidades de luz, de lo que se cree.

6. Literatura Citada

- AGEE, J. K. 1993. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Island Press. Washington, D. C.
- ARMOUR, CH. D., BUNTING, S. C., NEUENSCHWANDER F. L. 1984. Fire intensity effects on the understory in ponderosa pine forest. Journal of range management. 37 (1): 44-49.
- BENÍTEZ, B. G. 1987. Efectos del fuego en la vegetación herbácea de un bosque de *Pinus hartwegii* Lindl. de la sierra del Ajusco (Tercera parte). Aportes a la ecología urbana de la Ciudad de México. Programme on Man and The Biosphere (MAB, UNESCO). Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, D.D.F. Editorial Limusa. Primera edición. pp. 111-152.
- BROCKWAY, D. G., LEWIS, C.E. 1997. Long-term effects of dormant-season prescribed fire on plant community diversity, structure and productivity in a longleaf pine wiregrass ecosystem. Forest Ecology and Management [FOR. ECOL. MANAGE.]. Vol. 96, no. 1-2, pp. 167-183. Aug 1997.
- CASTILLO, F. E., CASTELLVÍ, S. F. 2001 Agrometeorología. Segunda Edición. Editorial Mundi Prensa. 520 pp.
- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). 2008. Consultado en la página electrónica: <http://ixmati.conabio.gob.mx/>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) 2008. Revista electrónica. Consultado en la página electrónica: www.conafor.gob.mx
- DICKMAN, A. 1978. Reduced Fire Frequency Changes Species Composition of a Ponderosa Pine Stand. Journal of Forestry.

- ESPINOZA, M., L. A.. 2006. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lindl. Dos y tres años después de quemado. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. pp.119.
- GARCIA E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. México. D. F.
- GLITZENSTEIN, J. S. STRENG D. R. 2003. Fire frequency effects on Longleaf Pine (*Pinus palustris* P. Miller) vegetation in South Carolina and Northeast Florida, USA. Tall timbers Research Station 13093 Henry Beadel Drive Tallahassee, FL 32312 USA. *Natural Areas Journal* 23:22-37.
- HUISINGA, K. D., LAUGHLIN, D. C., FULE, P. Z., SPRINGER, J. D., MCGLONE, C. M. 2005. Effects of an Intense Prescribed Fire on Understory Vegetation in a Mixed Conifer Forest: *Journal of the Torrey Botanical Society* [J. Torrey Bot. Soc.]. Vol. 132, no. 4, pp. 590-601. 2005.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2001. Cuaderno estadístico delegacional. Tlalpan, D.F. México, D.F. pág. 1-21.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática). 2002. Estadísticas de medio ambiente del Distrito Federal y Zona metropolitana. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 389 pp.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2008. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. Mapa digital de México. Consultado en la página electrónica: <http://galileo.inegi.org.mx/website/mexico/viewer.htm>
- JENKINS, SE. 2006. Effects of Prescribed Fire on the Vegetation of a Savanna-Glade; Complex in Northern Arkansas. *Southeastern Naturalist*, vol. 5, no. 1, pp. 113-126, 2006
- KERNS, B.K., THIES, W. G., NIWA, C. G. 2006. Season and severity of prescribed burn in ponderosa pine forests: Implications for understory native and exotic plants: *Ecoscience [Ecoscience]*. Vol. 13, no. 1, pp. 44-55. 2006.
- KREBS, J. 1985. *Ecología: estudio de la distribución y abundancia*. Harla. México. Pp 743
- MARGALEF, E. 1980. *Ecología*. Omega. Barcelona, España. Pp 937
- MARTINEZ, H., H. C. 2003. Sinecología del sotobosque de *Pinus hartwegii* Lindl. en área quemadas. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Forestales. Chapingo, Edo. de México. pp.190.
- MARTINEZ, H., H. C., RODRÍGUEZ, T., D. A. 2008. Species diversity after prescribed burns at different intensities and seasons in a high altitude *Pinus hartwegii* forest. *Interciencia*. Vol.33 Núm 5
- MARTÍNEZ-SÁNCHEZ J. J. Y HERRANZ, J. M. 1999). Importancia de las leguminosas en las primeras etapas de sucesión vegetal en un pinar quemado de la provincia de Albacete (España). *Inv. Agr. Sist. Rec. For.*

Serie No. 1 Diciembre 1996. Dpto. de Producción Vegetal y Tecnología Agraria. ETS de Ingenieros Agrónomos

- MILLER, M. 2000. Fire autoecology. In: Brown, J. K. y Kapler Smith, J. (eds.) Wildland fire Ecosystems. Effects of fire on flora. USDA, FS. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.2. pp. 9-34.
- MITCHELL, R. G. 1990. Effects of prescribed fire on insects pests. In WALSTAD, J. D.; S. R. RADOSEVICH and D. V. SANDBERG. Natural and prescribed fire in Pacific Northwest Forests. Oregon State University Press. Corvallis, Ore.
- MYERS, R. L.; ROBINS, L. E. 1992. Seasonal Effects of prescribed Burning in Florida: A review. Tall Timbers Research, Inc. Miscellaneous Publication No. 8. Tallahassee, Florida
- SÁNCHEZ, S. O. 1985. La flora del Valle de México. Editorial Herrero S.A. Figura 335.
- PECOT, S. D., MITCHELL, R.J., PALIK, B. J., MOSER, E. B., HIERS, J. K. 2007. Competitive responses of seedlings and understory plants in longleaf pine woodlands: separating canopy influences above and below ground. Canada Journal Forest Resources. 37: 634-648.
- RZEDOWSKI, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432p.
- RODRÍGUEZ, T., D. A. 1996. Incendios Forestales. Ediciones Mundi-Prensa. UACH. México, D.F. 630 p.
- 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. y 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.; MARÍNEZ, H., H. C.; ORTEGA, B., V. 2004. Ecología del fuego en bosques de *Pinus hartwegii*. Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación. CAMAFU. UNAM. Pp 104-120.
- THE NATURE CONSERVANCY (TNC). 2007. Fire, Ecosystems & People: Threats and Strategies for global Biodiversity Conservation. Global Fire Initiative. Págs. 1-18.
- WADE D, D; BROCK, B. L.; BROSE, P. H.; GRACE, J. B.; HOTCH, G. A. y PATTERSON, W. A. 2000. Fire en Eastern Ecosystems. In: Brown, J. K. y Kapler Smith, J. (eds.) *Wildland fire Ecosystems. Effects of fire on flora*. USDA, FS. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42-vol.2. pp. 53-96.
- WHELAN. R. H., 1997). *The ecology of fire*. Cambridge University Press. 346p.
- WRIGHT, H. A., BAILEY, A. W. 1982;. *Fire ecology: United States and Southern Canada*. Jhon Wiley and Sons, Wiley –Interscience Publication. New York. 501 p.

7. Anexos

Anexo 1. Valores de indicadores de niveles de radiación arrojados por el sistema Hemi View.

Cuadro 13. Área tratada con quema prescrita

Sitio	Cielo visible	Radiación solar difusa por debajo del dosel	Radiación solar directa por debajo del dosel	Radiación solar total por debajo del dosel	Índice de área foliar
1	0.539	758	8607	9365	0.552
2	0.563	741	6566	7307	0.425
3	0.497	726	8442	9168	0.593
4	0.484	639	6115	6754	0.577
5	0.468	542	4134	4676	0.629
6	0.543	726	6994	7720	0.454
7	0.363	521	5529	6050	1.061
8	0.478	635	6143	6778	0.611
9	0.494	630	5587	6217	0.573
10	0.452	520	3985	4505	0.694
11	0.24	267	1902	2169	1.397
12	0.571	789	8680	9469	0.418
13	0.333	415	3109	3524	0.992
14	0.57	732	8376	9108	0.435
15	0.426	605	7141	7746	0.795
16	0.594	763	8112	8875	0.398
17	0.507	718	7686	8404	0.546
18	0.265	323	3805	4128	1.219
19	0.468	580	4952	5532	0.632
20	0.627	863	9346	10209	0.34
21	0.36	475	5980	6455	0.911
22	0.472	660	7719	8379	0.681
23	0.291	430	4115	4545	1.168
24	0.274	383	3330	3713	1.212

Cuadro 14. Área testigo

Sitio	Cielo visible	Radiación solar difusa por debajo del dosel	Radiación solar directa por debajo del dosel	Radiación solar total por debajo del dosel	Índice de área foliar
1	0.302	420	5700	6120	1.116
2	0.26	393	4372	4765	1.77
3	0.537	776	8357	9133	0.494
4	0.406	543	7113	7656	0.756
5	0.218	263	2681	2944	1.399
6	0.23	316	3455	3771	1.375
7	0.55	823	8984	9807	0.484
8	0.456	698	8183	8881	0.742
9	0.357	497	5067	5564	0.898
10	0.366	517	5712	6229	1.08
11	0.444	605	6070	6675	0.674
12	0.495	681	6693	7374	0.568

Anexo 2. Catálogo fotográfico de especies

Nombre científico: *Agrostis tolucensis*

H.B.K.

Familia: Gramineae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Alchemilla*

procumbens Rose.

Familia: Rosaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea rasante



Nombre científico: *Astragalus*

micranthus Desv.

Familia: Leguminosae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Fuente: CONABIO, 2008

Nombre científico: *Baccharis conferta*

H.B.K.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Arbusto



Nombre científico: *Bidens anthemoides*

(DC.) Sherff.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Anual o perenne

Hábito: Herbácea rastrera



Nombre científico: *Cerastium
brachypodum* (Engelm.) Robins

Familia: Caryophyllaceae

Ciclo de vida: Anual

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Cirsium ehrenbergii*

Sch. & Bip.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Erigeron galeottii* (A.
Gray) Greene.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Eryngium*
monocephalum Cav.

Familia: Umbelliferae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Eupatorium*
oligocephalum DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Festuca tolucensis*
H.B.K.

Familia: Gramineae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Gnaphalium*
inornatum DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Anual o perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Gnaphalium*
sphacelatum H.B.K.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Anual

Hábito: Herbácea rasante



Nombre científico: *Lupinus montanus*
H.B.K.

Familia: Leguminosae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Arbusto



Nombre científico: *Malaxis ehrenbergii*
(Reichb.f.) Kuntze.

Familia: Orchidaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea rasante



Nombre científico: *Muhlenbergia*
quadridentata (H.B.K.) Kunth.

Familia: Gramineae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Penstemon*
gentianoides (H.B.K.)

Familia: Scrophulariaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Peperomia*
campylotropa Hill.

Familia: Piperaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea rasante



Nombre científico: *Potentilla*

ranunculoides H. & B.

Familia: Rosaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Rumex mexicanus*

Meisn.

Familia: Polygonaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



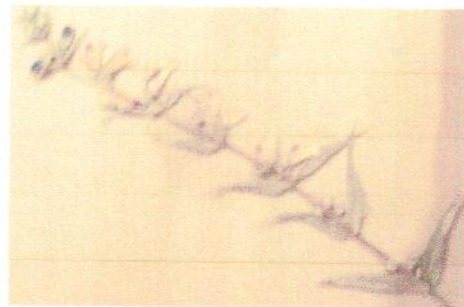
Nombre científico: *Salvia prunelloides*

H.B.K.

Familia: Labiatae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



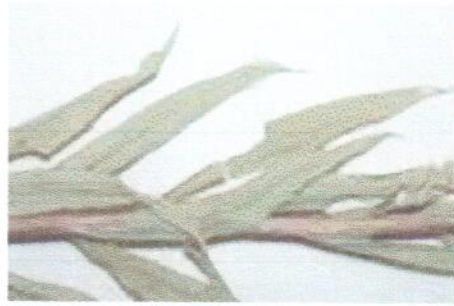
Nombre científico: *Selloa plantaginea*

H.B.K.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea alta



Nombre científico: *Senecio angulifolius*

DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida:

Hábito: Arbustiva



Nombre científico: *Senecio callosus*

Sch. & Bip.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Senecio cinerarioides*

H.B.K.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Anual

Hábito: Arbusto



Nombre científico: *Senecio reticulatus*

DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Senecio*
sanguisorbae DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Fuente: Sánchez, 1985

Nombre científico: *Senecio toluccanus*

DC.

Familia: Compositae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea



Nombre científico: *Viola humilis* H.B.K.

Familia: Violaceae

Ciclo de vida: Perenne

Hábito: Herbácea

