



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

*"Enseñar la Explotación de
La Tierra, No la del Hombre"*

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

**DINÁMICA DE COMBUSTIBLES EN RODALES DE
CHIGNAHUAPAN, PUEBLA**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

ING. EUNICE BONILLA PADILLA



Chapingo, Estado de México Junio del 2011.



DINÁMICA DE COMBUSTIBLES EN RODALES DE CHIGNAHUAPAN, PUEBLA.

Tesis realizada por la Ing. Eunice Bonilla Padilla, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de :

MAESTRO EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



Dra. Amparo Borja de la Rosa

CO-DIRECTOR:



Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

ASESOR:



Dr. Francisco J. Zamudio Sánchez.

ASESOR:



M.C. Javier Santillán Pérez

Chapingo, México a Junio del 2011.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	I
ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VII
DATOS BIOGRÁFICOS	IX
RESUMEN	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	4
General.....	4
Particular	4
III. HIPÓTESIS	5
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Incendio forestal.....	6
4.2. La función ecológica del fuego	6
4.2.1. El fuego y su función ecológica en los ecosistemas.....	6
4.2.2. Clasificación de los ecosistemas por su régimen de incendios	9
4. 3. El fuego en el bosque de pino-encino	12
4.4. Combustibles forestales	13
4.4.1. Tipos de combustibles forestales.....	13
4.4.1. Dinámica de combustibles	16
V. MATERIALES Y MÉTODOS	18
5.1. Descripción del área de estudio	18
5.2. Clima.....	19
5.3. Geología	20
5.4. Edafología.....	20
5.5. Vegetación	21
5.6. contexto socio-económico	23
VI. MATERIALES	24
VII. METODOLOGÍA.....	25
7.1. Trabajo de campo	25
7.2. Evaluación de combustibles finos.....	31
7.3. Evaluación de combustibles gruesos	32

7.4. Evaluación de la dinámica de combustibles en el bosque	33
7.4.1. Muestras dejadas en campo	33
7.4.2. Recolecta de muestras dejadas en campo	35
VIII. TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE	36
8.1. Combustibles finos y gruesos.....	36
8.2. Análisis estadístico para combustibles	39
8.3. Proceso de muestras dejadas en campo.....	40
8.4. Dinámica de combustibles	41
8.5. Análisis estadístico para tasa de descomposición	42
IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
9.1. Regeneración.....	44
9.2. Arbolado.....	46
9.3. Densidad de árboles	52
9.4. Combustibles forestales	54
9.5. Carga de combustibles por tipo	56
9.5.1. Carga de combustibles leñosos por tiempo de retardo	56
9.5.2. Arbustos	58
9.5.3. Capa de fermentación.....	60
9.5.4. Hojarasca	61
9.5.5. Herbáceas	62
9.5.6. Rrenuevo	64
9.5.7. Arbolado	65
9.6. Dinámica de combustibles	67
X. CONCLUSIONES GENERALES	75
XI. LITERATURA CITADA	76
ANEXO I.....	82
Anexo 1.1. Inventario de combustibles forestales	83
Anexo 1.2. Inventario forestal.....	84
ANEXO II.....	85
anexo 2.1. Programa SAS para el análisis de varianza multivariado basado en la transformación de rangos.....	86
anexo 2.2. Programa SAS para el análisis de varianza multivariado de las variables (capa de fermentación, hojarasca, herbáceas, arbustos, combustibles de 1h, 10h, 100 h y 1000 h de tiempo de retardo)	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 .Clasificación de combustibles, modificado de Brown (1974).	14
Cuadro 2. Fórmulas para el cálculo de carga promedio en coníferas.	37
Cuadro 3. Fórmulas para el cálculo de carga promedio para encinos.....	38
Cuadro 4. Características fisiográficas por sitio y condición.....	43
Cuadro 5. Regeneración promedio en sitios muestreados.....	45
Cuadro 6. Características del arbolado por sitio y tratamiento.	46
Cuadro 7. Número de rebrotes, porcentaje de germinación y cantidad de plántulas antes y después de un incendio (Barton, 2001).	52
Cuadro 8. Densidad de árboles por especie para ambas condiciones.	52
Cuadro 9. Cargas obtenidas por tipo de Combustible (ton/ha).....	54
Cuadro 10. Cargas promedio de combustibles para diferentes tipos de vegetación. ...	55
Cuadro 11. Valores promedio (ton/ha) por tiempo de retardo	57
Cuadro 12. Valores-P para los estadísticos de prueba en MANOVA para dos tratamientos (Quemado y no quemado) y cuatro variables respuesta (combustibles de 1 h, 10 h, 100 h y 1000 h de tiempo de retardo).	58
Cuadro 13. Valores-P para las variables respuesta en MANOVA para dos tratamientos (Quemado y no quemado).	58
Cuadro 14. Valores-P para los estadísticos de prueba en análisis de varianza para dos tratamientos.....	66
Cuadro 15. Valores-P para el análisis de varianza individual con dos tratamientos. ...	67
Cuadro 16. Características de muestras traídas del campo.....	69
Cuadro 17. Obtención de tasa de descomposición (K) y tiempo de retorno (TRE) en el área no quemada.	70
Cuadro 18. Obtención de tasa de Descomposición (K) y tiempo de retorno (TRE) en área quemada.	70
Cuadro 19. Comparación de tasa de descomposición de combustibles finos entre tratamientos.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de Chignahuapan, Puebla. Tomada de Google Earth (2011).	18
Figura 2. Mapa de tipos de clima Chignahuapan, Puebla.	19
Figura 3. Mapa de tipo sde Suelo Chignahuapan, Puebla.	21
Figura 4. Mapa de vegetación Chignahuapan, Puebla.	22
Figura 5. Vista del área quemada un año antes.	25
Figura 6. Vista del área no quemada recientemente.	26
Figura 7. Árbol vivo de <i>Quercus crassifolia</i> .	27
Figura 8. Pinus teocote con parte aérea muerta y rebrotes en el área incendiada.	28
Figura 9. Árbol muerto de <i>Arbutus xalapensis</i> en el área incendiada.	28
Figura 10. Diseño de sitio de muestreo. (Adaptado de INIFAP, 2006)	29
Figura 11. Cuerdas que marcan las líneas de intersección para la estimación de cargas de combustibles leñosos.	30
Figura 12. Sitio de muestreo marco de 30x30 cm (oscuro) y de 1m ² (blanco).	30
Figura 13. Marco para muestreo de combustibles finos.	31
Figura 14. Medición de profundidades de combustibles finos.	31
Figura 15. Conteo de combustibles gruesos.	32
Figura 16. Conteo de combustibles gruesos.	32
Figura 17. Muestras dejadas en campo.	33
Figura 18. Muestras dejadas en campo.	34
Figura 19. Muestras traídas para secado.	34
Figura 20. Muestra en campo.	35
Figura 21. Recolecta de la muestra y árbol señalado en la base.	35
Figura 22. Etiquetado de muestras.	36
Figura 23. Secado de muestras en estufa.	36
Figura 24. Limpieza de muestras.	40
Figura 25. Pesado de la muestra.	40
Figura 26. Número de árboles de <i>Quercus crassifolia</i> en el área quemada.	47
Figura 27. Frecuencia diamétrica de <i>Quercus crassifolia</i> en el área no quemada.	48
Figura 28. Número de árboles por CD de <i>Arbutus xalapensis</i> en el área quemada.	48
Figura 29. Frecuencia diamétrica de <i>Arbutus xalapensis</i> en el área no quemada.	48
Figura 30. Número de árboles de <i>Pinus teocote</i> en el área quemada por CD.	49
Figura 31. Frecuencia de árboles de <i>Pinus teocote</i> en el área no quemada.	49

Figura 32. Comparación del número de árboles por CD de <i>Quercus crassifolia</i> en ambas condiciones.	50
Figura 33. Comparación del número de árboles por CD de <i>Arbutus xalapensis</i> en ambas condiciones.	50
Figura 34. Comparación de número de árboles por CD de <i>Pinus teocote</i> en ambas condiciones.	51
Figura 35. Comparación de combustibles por tiempo de retardo.	57
Figura 36. Carga promedio por sitio y condición para arbustos.	59
Figura 37. Carga promedio por condición para arbustos.	60
Figura 38. Carga promedio por sitio y condición para capa de fermentación.	60
Figura 39. Carga promedio por condición para la capa de fermentación.	61
Figura 40. Carga promedio por sitio y condición para hojarasca.	61
Figura 41. Carga promedio por condición para la capa de hojarasca.	62
Figura 42. Carga promedio por sitio y condición para herbáceas.	63
Figura 43. Carga promedio por condición para herbáceas.	63
Figura 44. Carga promedio por sitio y condición para renuevo.	64
Figura 45. Carga promedio por condición para el renuevo.	64
Figura 46. Carga promedio por sitio y condición para arbolado.	65
Figura 47. Carga promedio por condición para el arbolado.	66

AGRADECIMIENTOS

Como siempre a Dios por permitir vivir cada momento bueno y malo que he pasado, por permitir tener libre albedrío y conocer cada sentimiento, por despertar cada día y poder sentir AMOR...

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para la realización de los estudios de postgrado y la oportunidad de desarrollar esta investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de formar parte de su matrícula en la licenciatura y postgrado, con lo cual pude formarme un carácter y una profesión para toda la vida.

Al Dr. Dante Arturo Rodríguez, por sus atenciones, sus atinados consejos y sobre todo la paciencia que brinda y la paz que hay en sus palabras, gracias por la confianza que deposito en mí y hacer un espacio cuando requería de su apoyo.

Al Sr. Gerardo por su atinada percepción de los trabajos en campo y sus pláticas agradables, no solo encontré un guía también un amigo es un gusto trabajar con él.

Al Dr. Carlos Cíntora por su apoyo en la parte estadística de este proyecto y por aportar las ideas más convenientes, el tiempo dedicado y la disponibilidad en todo momento.

A la Dra. Amparo Borja y al M.C. Javier Santillán por los consejos y correcciones aportadas a este trabajo.

Y finalmente tomare un dicho coloquial que versa: “Los últimos serán los primeros”

A Carolina y Tomas, por inculcarme valores y formarme como persona, sin ustedes no estaría aquí, detrás de este y todos mis logros están ustedes, gracias por darme amor.

A la familia Rosales Padilla, Diana, Julio, Ale, Lore y Tomas por el gran apoyo en todo momento.

A mi hermano Zenyasen, Norma y “Chuchín” por estar cerca de mí.

A las personas que conforman mi hogar: mi esposo Sergio y mi hijo Mateo por cada sonrisa compartida y la felicidad que siento al despertar cerca de ustedes o con solo mirarlos, los amo.

A Mauri por hacernos sonreír y formar parte de nuestra familia.

A mis compañeros de Postgrado: Carlos, July, Jean, Cesar, Laydi, Iliana, Ariana, Eliud por ser mis cómplices.

Gracias...

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Eunice Bonilla Padilla

Cedula profesional: 6095208

Correo electrónico: bp_ecinue@hotmail.com

CURP: BOPE870405MDFNDN06

El autor nació en la clínica Ermita Zaragoza del Distrito Federal, el 5 de abril de 1987.

Los estudios de primaria fueron cursados en la Escuela Primaria Melchor Ocampo en Chiautla, Estado de México; y la Secundaria en José María Morelos y Pavón del mismo municipio, en el 2001 ingresó a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma de Chapingo.

En el año 2004 ingresó a la División de Ciencias Forestales a la carrera de Ingeniero Forestal, egresando en el año 2008 con la tesis titulada “Uso de ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Pinus montezumae* Lamb.”

En el periodo correspondido de enero del 2009 a diciembre del 2010, cursó los créditos de la Maestría en Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo.

DINÁMICA DE COMBUSTIBLES EN RODALES DE CHIGNAHUAPAN, PUEBLA.

Eunice Bonilla-Padilla¹; Dante A. Rodríguez-Trejo²; Amparo Borja- de la Rosa³; Carlos Cíntora-González⁴; Javier Santillán-Pérez⁴

RESUMEN

Normalmente se realizan inventarios de combustibles forestales, pero los estudios sobre su dinámica son muy escasos. Por ello se estudió la carga de combustibles forestales y la dinámica de sus combustibles finos en un bosque de encino-pino de Chignahuapan, Puebla. Se consideraron dos condiciones: un bosque quemado un año antes de la toma de datos y otro bosque adyacente no quemado recientemente. En octubre de 2009 se realizó un muestreo aleatorio por conglomerados, para estimar la carga de todos los tipos de combustibles forestales superficiales. Los materiales leñosos fueron muestreados con la técnica de intersecciones planares, el resto de combustibles fue cosechado y deshidratado para estimar su carga. Se emplearon métodos estadísticos multivariados, univariados, prueba de t y prueba de normalidad, con la ayuda de los programas SAS y R. Los resultados indican que la carga total media en el área quemada fue de $7.099 \pm 1.78 \text{ t ha}^{-1}$, mientras que en el área no quemada resultó de $31.726 \pm 11.93 \text{ t ha}^{-1}$. En la primera los combustibles leñosos con tiempo de retardo (TR) de 100 h fueron los más abundantes, mientras que en la segunda la mayor proporción de la carga fue para los combustibles leñosos podridos con TR de 1000 h. La tasa de descomposición de los combustibles finos fue de $k=0.383$ para el área no quemada y de $k=0.532$ en el área quemada. El periodo de retorno estimado fue de 2.68 años y 1.98 años respectivamente, reflejando un efecto de tratamientos ($P=0.0016$).

Palabras clave: Descomposición de materia orgánica, dinámica de combustibles, ecología del fuego, incendios forestales, *Quercus crassifolia*, tasa de descomposición.

ABSTRACT

Commonly are conducted inventories of forest fuels, but the research on its dynamics is scarce. Because of that, the load of forest fuels and the dynamics of their light fuels was studied in an oak-pine forest at Chignahuapan, Puebla, Mexico. Two conditions were considered: a forest burned one year before the data gathering, and a neighbor forest not burned recently. In October 2009 was conducted a randomized conglomerate sampling, to estimate the load of all of the surface forest fuels. The woody fuels were sampled with the planar intersections technique, the remaining fuels were harvested and oven-dried to estimate their load. Were utilized multivariate and univariate statistical methods, including a t-test and a normality test. To conduct this tests were utilized the SAS and R programs. The results indicate that the mean total fuel load in the burned area was $7.099 \pm 1.78 \text{ t ha}^{-1}$, while in the non-burned site the mean total load was $31.726 \pm 11.93 \text{ t ha}^{-1}$. In the former, the woody fuels with a lag time of 100 h were the most abundant, while in the later the highest proportion of the load corresponded to the rotten woody fuels with a lag time of 1000 h. The decomposition rate of light fuels was $k=0.383$ in the non-burned area, and of $k=0.532$ in the burned area. The return period was estimated in 2.682 y and 1.981 y, respectively, showing an effect of treatments ($P=0.0016$).

Key words: Decomposition of organic matter, decomposition rate, dynamics of forest fuels, fire ecology, forest fires, *Quercus crassifolia*.

¹Tesista. Correo-e: bp_ecinue@hotmail.com

²Director de tesis. Correo-e: dantearturo@yahoo.mx

³Co-director de tesis. Correo-e: aborja@correo.chapingo.mx.

⁴Asesores de tesis. Correo-e: carlos.cintora@gmail.com, santillan850@hotmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Los incendios forestales son un disturbio común en los ecosistemas forestales, de éstos, 99% se atribuye a la actividad humana, mientras que el 1% restante es causado por fenómenos naturales derivados de sucesos meteorológicos, como descargas eléctricas o erupción de volcanes (CONAFOR, 2006).

Con relación a la situación de estos, en México la información estadística reportada por CONAFOR (2010) registra que de 1998 al 2005, del total de causas de incendios forestales originadas por intervención humana, las actividades agropecuarias aportaron un porcentaje de 44% respecto del total, seguida de causas intencionales (litigios o rencillas), con 19%; fogatas, 12%; fumadores, 11%; y otras causas que suman en conjunto 14%.

Al conocer la función del fuego en los ecosistemas, se pueden definir las condiciones en las cuales el fuego puede producir efectos negativos como pérdidas humanas, económicas y materiales; además de los efectos positivos, como una mayor regeneración de especies arbóreas y la disminución de combustibles forestales.

Una manera de conocer los efectos potenciales del fuego es a través de la simulación del comportamiento de éste y más aun mediante la caracterización de combustibles y su distribución dentro de los ecosistemas forestales.

Nájera *et al.* (2007) y Rodríguez (1996), definen a los combustibles forestales como toda biomasa que potencialmente puede arder al ser expuesta a una fuente de calor; cuanto mayor sea la acumulación de combustibles en una zona, mayor cantidad de calor podrá desprenderse y el incendio podrá ser más intenso.

Concretamente se denomina combustibles forestales a los árboles, arbustos, renuevo, plantas herbáceas, hojas, ramas, ramillas, cortezas, conos, tocones, etc., además de cualquier material vegetal en diferentes grados de descomposición.

Los combustibles forestales poseen diversas características, como continuidad horizontal, continuidad vertical, altura, profundidad, densidad, compactación, presencia de sustancias inflamables, relación superficie- volumen; propiedades que influyen en el comportamiento del fuego. Pero que para poder entrar en combustión, un combustible debe estar disponible, es decir, contar con un nivel bajo de humedad (Pyne *et al.*, 1996).

Todos los combustibles forestales pueden ser caracterizados por su carga; es decir, el peso seco de la biomasa por unidad de superficie. Una manera sencilla de determinarla es la técnica de intersecciones planares de Brown (1974), que consiste en el conteo de piezas leñosas intersectadas por un plano vertical, que en el terreno se marca con una línea de muestreo.

En el caso de la hojarasca, herbáceas, arbustivas y renuevo, en esencia se recolecta el material de una superficie dada, se deshidrata en hornos hasta el peso constante y determinar su carga, mientras que en algunas otras ocasiones se recurre a la alometría como parte de las estimaciones.

Así mismo en México existen diversos trabajos para describir el complejo de combustibles forestales; mediante inventarios, con el uso de sistemas de información geográfica, o bien mediante el uso de fotoseries, como los de Alvarado *et al.* (2010).

Pero los esfuerzos para comprender la dinámica de los combustibles forestales son muy escasos, este aspecto tiene que ver principalmente con la variación en tiempo que puede mostrar el peligro de incendio forestal.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es caracterizar los combustibles forestales en un bosque de encino-pino recientemente quemado y en otro no quemado en por lo menos 10 en años, así como estimar la tasa de descomposición de los combustibles finos de ambas condiciones.

II. OBJETIVOS

GENERAL

Caracterizar los combustibles forestales de la zona de estudio mediante un inventario y estudiar la dinámica que los combustibles tienen en bosques de Chignahuapan, Puebla.

PARTICULAR

Estimar la carga de combustibles forestales en el área de estudio.

Estimar la importancia de los combustibles forestales en un bosque.

Comprender los procesos de acumulación y descomposición de los combustibles forestales.

Conocer la tasa de descomposición de combustibles finos.

III. HIPÓTESIS

Después de un año de ocurrido un incendio, la carga de combustibles forestales será menor que en una localidad no quemada recientemente, pero suficiente para sostener otro incendio forestal.

La tasa de acumulación y descomposición de los combustibles finos será mayor en el área no quemada.

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. INCENDIO FORESTAL

Un incendio forestal se define como la propagación libre y sin control del fuego sobre la vegetación forestal, ya sea bosques templados, selvas y zonas áridas y semiáridas. A su vez, el fuego es la liberación y desprendimiento de energía en forma de luz y calor producido por la combustión de vegetación forestal (Rodríguez, 1996; CONAFOR, 2010).

Los incendios representan desde el punto de vista ecológico una perturbación o disturbio, que implica la pérdida de individuos o biomasa que se produce de forma súbita o episódica. Un componente importante de las perturbaciones es la liberación de recursos. Entre ellos, el más evidente es la liberación del espacio físico, de esta forma se establecen nuevas relaciones entre los organismos que sobreviven o que acceden al área perturbada (Lloret, 2004).

El fuego es un instrumento de conservación complicado dado que rara vez se presenta de manera independiente interactúa con muchas otras amenazas globales a la biodiversidad, amenazas que alteran universalmente la función ecológica del fuego (Shilisky *et al.*, 2007).

4.2. LA FUNCIÓN ECOLÓGICA DEL FUEGO

4.2.1. EL FUEGO Y SU FUNCIÓN ECOLÓGICA EN LOS ECOSISTEMAS

Los incendios forestales constituyen un fenómeno común en los ecosistemas terrestres del mundo, estos disturbios han moldeado directamente las condiciones. The Nature Conservancy (2004), menciona que la superficie que se afectada anualmente, en un año típico, es equivalente a la mitad de la superficie de la Republica China.

En ocasiones el fuego se presenta con una alta incidencia, siendo considerado como un problema crítico para la conservación y el manejo sustentable de los bosques y selvas, mientras que en otros ecosistemas el fuego es considerado como una herramienta útil para mantener las especies, hábitats y los paisajes nativos que lo conforman. El entendimiento de los patrones de incidencia y las causas de los incendios, de sus efectos ecológicos y económicos, y del comportamiento del fuego, constituyen aspectos esenciales para el diseño de estrategias integrales de manejo forestal y de conservación ecológica (Myers, 2006).

Rzedowski (1986), menciona el empleo del fuego en México como un instrumento para el manejo de la vegetación constituye una costumbre antigua, pero lejos de ir disminuyendo su mal uso, en los tiempos modernos el número y la extensión de incendios forestales aumentan año con año y sus efectos son cada vez más notables. En el caso de los bosques de pino-encino, característicos de las montañas de México, éstos son sometidos a la acción del fuego, generalmente provocado de manera intencional en la época seca del año con el fin de estimular el retoño de brotes de gramíneas para la alimentación de ganado que pastorea en los bosques.

Tales incendios son frecuentemente responsables de profundos cambios en la vegetación, pues los incendios forestales llegan a modificar la composición del bosque en todos sus estratos, incluyendo el dominante, y a menudo a destruirlo por completo para dar lugar a otras comunidades de plantas que luego pueden mantenerse indefinidamente debido al pastoreo, a los incendios o a la acción conjunta de ambos factores (Rzedowski, 1986).

La presencia del fuego puede ser tanto benéfica como perjudicial y sus consecuencias ecológicas serán más o menos graves dependiendo de la intensidad, la frecuencia, época y los patrones de distribución del incendio y las temperaturas alcanzadas, así como el ecosistema afectado; la frecuencia juega

un papel muy importante en la determinación de la estructura de la vegetación, y al mismo tiempo determina la intensidad del incendio (Chandler *et al.*, 1983; Ayala y Cubillo, 2002).

Dicho de otra manera, un incendio puede resultar benéfico para el monte a largo plazo, si es producido por causas naturales y por lo tanto ha aparecido de manera cíclica en el ecosistema, lo que ha permitido su adaptación a este disturbio ayudando a los procesos ecológicos en él. Este fuego corresponde normalmente a un incendio de avance rápido, de manera que las intensidades así como las temperaturas alcanzadas en el monte son bajas (Ayala y Cubillo, 2002).

Ayala y Cubillo (2002), mencionan que el ecosistema utiliza este mecanismo natural para eliminar la cantidad de combustible acumulado en el monte, agilizar el proceso de incorporación de nutrientes al suelo e incluso favorecer la regeneración de algunas comunidades vegetales.

Algunos de los aspectos benéficos derivados de este tipo de incendios son:

- a) La reducción de combustible potencial para futuros incendios de poca intensidad que suelen tener lugar en ecosistemas donde el hombre no ha intervenido; ocasionan menores daños que los que alcanzan intensidades elevadas, pudiendo ser calificados como “incontrolables”.
- b) El fuego, al eliminar el sotobosque y algunos árboles, mejora las condiciones de competencia de los restantes; de este modo se crean pequeños claros de luz solar, además de aumentar la cantidad asimilable de agua y nutrientes para cada especie, favoreciendo la eliminación de la competencia y, por ende, la colonización de especies pioneras.

- c) El fuego incorpora gran cantidad de nutrientes al horizonte superficial del suelo, en el caso de no existir procesos significativos de escorrentía por lluvias.
- d) El fuego favorece la floración.
- e) Cuando el incendio ha sido de poca intensidad, los animales aprovechan los troncos semiquemados para construir sus nidos, refugios y madrigueras.
- f) Algunas especies necesitan del fuego para propagar sus semillas. Este es el caso de las especies serótinas. El grado de serotinidad dependerá de la especie.
- g) Estimulación de la germinación de algunas semillas con un exocarpo duro. Como consecuencia de las altas temperaturas, la protección externa es destruida permitiendo la entrada de agua, hidratando la semilla y preparándola para la germinación.
- h) Eliminación de especies invasoras no autóctonas, puesto que éstas no poseen mecanismos de resistencia y adaptación al fuego.

4.2.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS POR SU RÉGIMEN DE INCENDIOS

Rodríguez (1996), define al régimen de fuego como la manifestación del factor ecológico fuego originado por causas naturales, en un ecosistema forestal, a través de cierta frecuencia promedio y su variación tipo, intensidad, extensión, regularidad o irregularidad de afectación de incendios forestales, y época del año en que se presentan.

Los tipos de regímenes de fuego varían: desde incendios de superficie frecuentes, de baja intensidad, no letales o los caracterizados por fuegos de severidad mixta (es decir, que los efectos letales y no letales varían a lo largo del paisaje), hasta incendios relativamente infrecuentes, de alta severidad y letales o que reemplazan rodales y que frenan o reajustan la sucesión ecológica

creando una diversidad de hábitats en el tiempo y en el espacio a medida que la vegetación se recupera (Brown, 2000).

A continuación se presenta la clasificación de los ecosistemas con respecto a su respuesta al fuego:

Ecosistemas sensibles al fuego

Aquéllos donde la mayoría de las especies no ha evolucionado en presencia del fuego. Si bien éste puede tener una función secundaria en el mantenimiento de la estructura y el funcionamiento natural del ecosistema en sistemas sensibles al fuego, la introducción de un fuego ecológicamente inadecuado puede tener un impacto negativo amplio sobre la biodiversidad. Las especies de estas áreas carecen de las adaptaciones para responder a los incendios y la mortalidad es alta incluso cuando la intensidad del fuego es muy baja, por ejemplo, en bosques húmedos latifoliados tropicales. (Shilisky *et al.*, 2007).

Ecosistemas independientes del fuego

Aquéllos que carecen naturalmente de combustible o fuentes de ignición, donde el fuego juega un papel muy pequeño o nulo, que permitirán al fuego actuar como una fuerza evolutiva. Son demasiado fríos, húmedos o secos para quemarse por ejemplo, desiertos, tundra y bosques lluviosos en ambientes no estacionales. El fuego se convierte en una amenaza solamente si hay cambios significativos en estos ecosistemas provocados por actividades del uso del suelo, especies invasoras o cambio climático Shilisky *et al.* (2007); Myers (2006).

Ecosistemas dependientes al fuego

En estas áreas, el fuego es un proceso absolutamente esencial, donde las especies han evolucionado en su presencia y donde el fuego es un proceso esencial para conservar la biodiversidad, por ejemplo, sabanas y bosques templados de coníferas. Si se excluye el fuego de estos sistemas o si se

introduce un fuego ecológicamente inadecuado con frecuencia, severidad o época del año inadecuadas, pueden verse alterados sustancialmente (Shilisky *et al.*, 2007).

Influidos por el fuego

Estos ecosistemas pueden estar vinculados jerárquicamente a ecosistemas dependientes del fuego o sensibles al fuego porque con frecuencia se los encuentra como transición entre éstos, puede incluir tipos de vegetación más amplios en los cuales las respuestas de las especies al fuego todavía no han sido documentadas y el papel del fuego en el mantenimiento de la biodiversidad no se reconoce. En general, éstos son ecosistemas sensibles al fuego, pero que contienen algunas especies que pueden responder positivamente tal perturbación, o ecosistemas que podrían subsistir sin la presencia del fuego, pero en los cuales las perturbaciones del fuego juegan un papel en la creación de ciertos hábitats, favoreciendo la abundancia relativa de ciertas especies y manteniendo parte de la biodiversidad (Myers, 2006).

Shilisky *et al.*, 2007 clasifica a los ecosistemas de acuerdo a la relación ecosistema, régimen del fuego y condición del mismo.

Regímenes de fuego intactos son los que tienen régimen de incendios característico (por ejemplo, la frecuencia de incendios, la severidad, el alcance, y la temporada) dentro de su intervalo de variabilidad natural.

Regímenes de fuego degradados son aquellos donde las condiciones de régimen de fuego son considerados como fuera de su intervalo de variación natural, pero se considera que pueden ser recuperados.

Regímenes de fuego muy degradados son aquellos donde las condiciones de régimen de fuego son considerados como fuera de su intervalo de variación natural, y son muy difíciles de recuperarse.

4. 3. El fuego en el Bosque de Pino-Encino

El bosque de pino-encino es una comunidad ampliamente distribuida que ocupa la mayor parte de la superficie forestal de las porciones superiores de los sistemas montañosos templado-fríos del país, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus spp.*) y encino (*Quercus spp.*); dependiendo del dominio de uno y otro, se le denomina pino-encino si predominan las coníferas y es llamado bosque de encino-pino cuando dominan los encinos.

La transición del bosque de encino al de pino está determinada (en condiciones naturales) por el gradiente altitudinal. Estas mezclas son frecuentes y ocupan muchas condiciones de distribución (Rzedowski, 1986).

En el bosque de pino-encino generalmente sus especies se asocian con adaptaciones a los regímenes de fuego ocasional y frecuente, con lo que muestran mecanismos de sobrevivencia que las capacitan para resistir al calor intenso o para germinar exitosamente después del fuego. Generalmente tales mecanismos radican en el grosor de la corteza y su habilidad para emitir rebrotes a partir de la base del tallo, de rizomas o de la raíz de plántulas de encino (Zavala y García, 1997).

Los pinares y encinares en México generalmente, son considerados como ecosistemas mantenidos por el fuego y sus especies presentan diversas adaptaciones a los incendios forestales (Rodríguez y Fulé, 2003; Rodríguez y Myers, 2010).

4.4. COMBUSTIBLES FORESTALES

La ocurrencia de incendios forestales se debe a condiciones climatológicas, principalmente, sequías prolongadas, gran cantidad de material combustible y un factor de ignición natural como rayos y vulcanismo, o el hombre (Estrada y Ángeles, 2007).

Desde el punto de vista de la protección de los recursos forestales, las actividades de prevención contra los incendios juegan un papel preponderante. Por otra parte, la acumulación de materiales combustibles en el piso del bosque constituye uno de los factores que determinan el peligro de incendios cuando alcanzan niveles de continuidad y cantidad elevados (Sánchez y Zerecero, 1983).

Se considera como combustible todo material vegetal inflamable, tanto de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, así como de la biomasa muerta que se encuentra sobre el suelo. CONAFOR (2010), menciona a los combustibles forestales como el más importante de los factores de riesgo permanentes es decir que permanece estable durante periodos más o menos largos con una influencia constante.

4.4.1. TIPOS DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Los combustibles forestales se estructuran en tres estratos (Brown, 1974):

Superficial

Conformado por los combustibles muertos que se encuentran directamente sobre el suelo, predominantemente en disposición horizontal como acículas, hojas y ramillas secas desprendidas de los árboles y arbustos, ramas y troncos que se encuentran sobre el suelo por causa natural, como consecuencia de tratamientos silvícolas o aprovechamientos forestales efectuados en el monte.

También se constituye por las plantas vivas de baja altura; vegetación herbácea, matorrales y arbustos.

Es importante diferenciar en estos complejos de combustibles los de pequeño grosor (finos), que se inflaman y propagan el fuego con rapidez y los gruesos o combustibles pesados poco inflamables pero de gran poder energético en la combustión.

Sub-superficial

Se compone de la materia orgánica del suelo (mantillo) que se ha ido formando a partir de la descomposición de los combustibles caídos y también incluye las raíces de las plantas vivas y las cepas de las plantas muertas.

Aéreo

Está formado por todos los combustibles con más de 2 m sobre la superficie del suelo como son las copas de árboles y algunos arbustos de mayor altura (ramas, hojas musgos, líquenes, muérdago, etc.) característicamente se conforman por elementos vivos.

Estos diferentes estratos de combustibles son clasificados dependiendo de su tiempo de retardo (Cuadro 1), es decir el tiempo que el combustible tarda en perder (cuando el ambiente tiene menor contenido de humedad que el combustible) o ganar (cuando el ambiente tiene mayor contenido de humedad que el combustible), dos tercios de la diferencia entre su contenido inicial de humedad y el del ambiente (Byram, 1963, citado por Chandler *et al.*, 1983).

Cuadro 1 .Clasificación de combustibles, modificado de Brown (1974).

Tiempo de Retardo (h)	Diámetro	Tipo de combustible
1	Menor a 0.6 cm	Hojarasca, ramillas delgadas, capa de fermentación
10	0.6 a 2.5 cm	Ramillas medianas.
100	2.6 a 7.5 cm	Ramas
1000	Mayor a 7.5 cm	Ramas gruesas, troncos gruesos

La caracterización de los combustibles en los ecosistemas forestales es un aspecto de fundamental importancia para la estimación de la inflamabilidad y el peligro de incendios forestales, el entendimiento del comportamiento del fuego, la evaluación de sus efectos ecológicos y la toma de decisiones fundamentadas sobre prácticas de manejo del fuego.

Los datos generados en las evaluaciones cuantitativas de combustibles forestales, tienen también aplicaciones en el estudio de la dinámica del carbono en los ecosistemas (inventarios y estimaciones de captura y emisiones de carbono) y en la caracterización de hábitats forestales donde la distribución de la biomasa de plantas, los residuos leñosos y el mantillo son componentes esenciales del hábitat en el mantenimiento de la biodiversidad (Jardel, 2006).

Por lo anterior, el conocer el tipo y la cantidad de materiales inflamables, se considera indispensable cuando se piensa realizar acciones preventivas contra los incendios y en particular si éstas son enfocadas a la aplicación de quemas controladas. También es incuestionable que el objetivo más frecuente que se tiene al aplicar quemas controladas es la reducción de los materiales combustibles leñosos y hojarasca, buscando romper la continuidad y que las existencias de éstos disminuyan a un nivel controlable (Sánchez y Zerecero, 1983).

El contenido de humedad de los combustibles y la humedad relativa son de los factores más importantes en la probabilidad de que ocurra un incendio y determinan su comportamiento una vez producido. Por lo tanto, su estudio es de gran importancia para suministrar información dirigida a propuestas referentes al control y combate de los incendios forestales, así como la disponibilidad de estos materiales para incendiarse. Asimismo, la caracterización de los combustibles y su humedad es importante para implementar modelos de simulación del comportamiento del fuego (Wong y Villers, 2007).

La carga total está constituida por todo el material combustible, desde la materia orgánica del suelo hasta el ápice de los árboles. Es la máxima cantidad de combustible que se podría quemar en las condiciones más extremas.

La carga de combustible disponible es la que realmente está en condiciones de arder y consumirse bajo las condiciones ambientales del momento. Será siempre de valor inferior al de la carga total.

4.4.1. DINÁMICA DE COMBUSTIBLES

El ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal consta de la entrada de nutrientes al ecosistema; meteorización de la roca madre, fijación biológica de nitrógeno, aportes atmosféricos y transferencias por biota, también del flujo de nutrientes entre las plantas y el suelo; absorción radicular y foliar, retranslocación, pluviolavado, pérdidas por herbivoría, desfronde y descomposición, además de las salidas de nutrientes del ecosistema; lixiviación, escurrimiento, emisión de gases y aerosoles, transferencias por biota y explotación de recursos (Bosco *et al.*, 2004).

Waring y Schlesinger (1985), refieren que la descomposición es un término general utilizado para describir un gran número de procesos relacionados entre sí por lo que la materia orgánica se divide hasta las partículas más pequeñas y de forma que los nutrientes estén disponibles para la absorción de la planta.

Mientras que Bosco *et al.* (2004), la definen como el proceso general de transformación de la materia orgánica muerta procedente de la caída de hojas, de las raíces, animales y microorganismos, en nutrientes inorgánicos directamente disponibles para las plantas y en dióxido de carbono (CO₂).

La mayoría del grupo de nutrientes que está disponible para la absorción se deriva de la descomposición de la materia orgánica muerta, por lo tanto, la descomposición es un enlace crítico que hace que los nutrientes estén disponibles para circular en el ciclo dentro del sistema de un ecosistema forestal (Waring y Schlesinger, 1985), siendo así un proceso clave que enlaza el ciclo interno de nutrientes con la productividad del bosque (Bosco *et al.* 2004).

La descomposición puede dividirse en tres procesos; lavado, fragmentación de materia orgánica y degradación química. El *lavado* es un proceso físico por el que los iones minerales y pequeños compuestos orgánicos de la materia orgánica muerta, se disuelven en el agua y pasan al suelo. La *fragmentación de materia orgánica* consistente en la fragmentación y mezcla de la hojarasca con el suelo mineral, aumentando la superficie y las oportunidades de colonización para los microorganismos. Durante la *degradación química*, se producen CO₂, agua, y energía para los microorganismos: bacterias, hongos y actinomicetes (Landsberg y Gower (1997), Waring y Running (1998), citados por Bosco *et al.* (2004).

Cuando la descomposición es lenta, como en los bosques boreales (Waring y Schlesinger, 1985), se puede acumular mucha hojarasca en el mantillo, aumentando el riesgo de incendios, si es muy rápida o demasiado rápida para que los nutrientes liberados sean absorbidos por la vegetación, se puede llegar a pérdidas de fertilidad del suelo a largo plazo (Bosco *et al.*, 2004).

Waring y Schlesinger (1985), mencionan que la descomposición anual debe ser igual a la entrada anual de detritos en los bosques en los que el almacenamiento de detritos se encuentra en estado estacionario. Si la descomposición es una fracción, k , de la masa de detritos, entonces:

$$\text{Hojarasca} = k (\text{masa dentrital}) \quad \text{donde: } k = \frac{\text{Hojarasca}}{\text{Masa dentrital}}$$

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en un predio Innominado de 30 ha, perteneciente a la comunidad Teotlacingo, Chignahuapan, Puebla (Figura 1). La elección de este predio se basó en la presencia de dos condiciones: un área quemada y otra no quemada. La primera registró un incendio el 24 de abril del año 2008, un incendio principalmente superficial pero intenso. CONAFOR (2008) reportó que afectó 6.89 ha, con diferentes intensidades y severidades, sobre fuertes pendientes de 43% a 63%. La evaluación del arbolado se realizó un año después de que el área fue afectada por el fuego.

La cabecera municipal denominada Chignahuapan, colinda al norte con el Estado de Hidalgo y el municipio de Zacatlán; al este con los municipios de Zacatlán, Aquixtla e Ixtacamaxtitlán; al sur con el municipio de Ixtacamaxtitlán y el Estado de Hidalgo; al oeste con el estado de Hidalgo, la altitud promedio es de 2260 m.s.n.m., con coordenadas 19° 50' latitud norte y 98° 02' latitud oeste (INEGI, 2008). Cuenta con una superficie total de 76 023.3 ha de las cuales 20 338 ha son de uso forestal, 1 875 ha son de pastizal y 45 554.5 están destinadas a la agricultura INEGI, (2008).



Figura 1. Localización de Chignahuapan, Puebla. Tomada de Google Earth (2011).

5.2. CLIMA

De acuerdo con la clasificación de Enriqueta García (1964) e INEGI (2008), el clima pertenece al grupo de los templados subhúmedos C(w), cociente P/T mayor de 55.3, es el más húmedo de los subhúmedos, presenta sequía intraestival en medio verano porcentaje de lluvia invernal menor de 5% de la anual, verano fresco largo, temperatura media del mes más caliente entre 6.5 y 22 °C y la oscilación de las temperaturas medias mensuales entre 5 y 7° C (con poca oscilación). En las zonas más altas se observa neblina por las tardes.

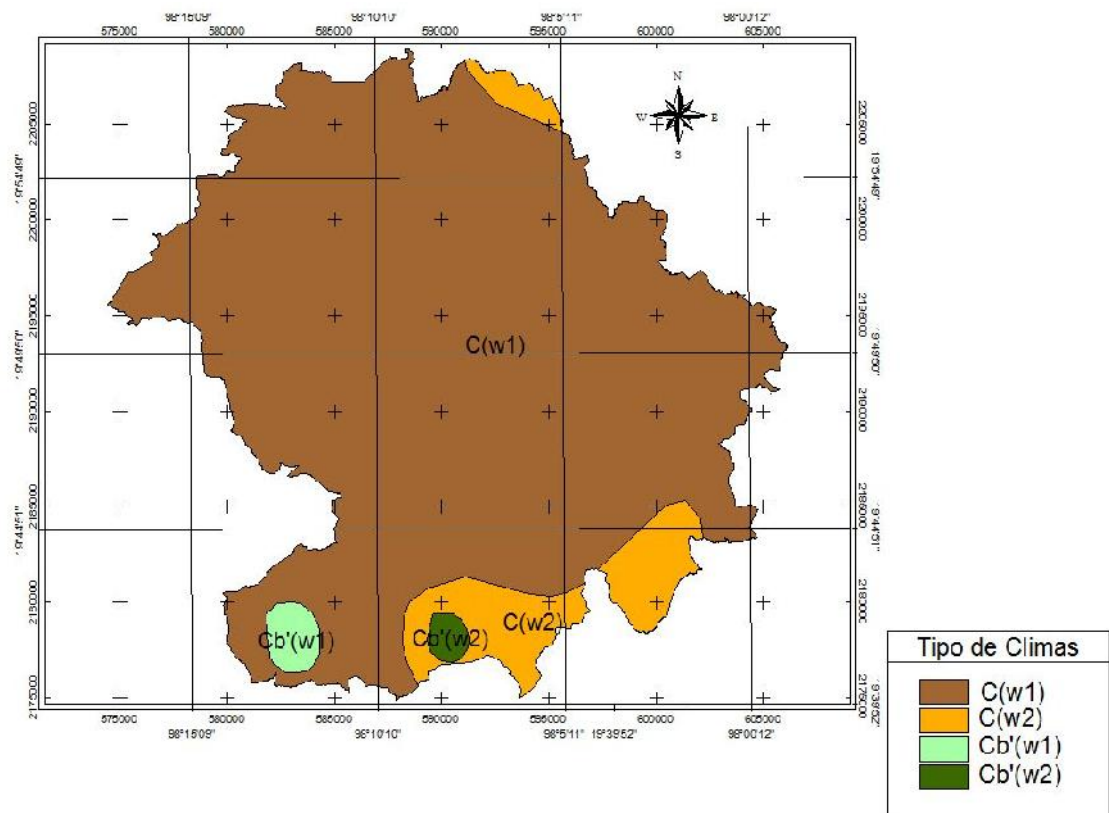


Figura 2. Mapa de tipos de clima Chignahuapan, Puebla.

En la figura 2 los símbolos anotados representan lo siguiente:

C (w₁): Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 800 a 1200 mm anuales y temperatura promedio de 19 °C.

C (w₂): Templado subhúmedo con lluvias en verano, precipitación anual de 200 a 1 800 mm temperatura media anual entre 15°C.

Cb' (w₁): Templado, semifrío con verano fresco largo, temperatura media anual de 5°C y 12°C, precipitación anual entre 200 y 1 800 mm, con lluvias en verano.

Cb' (w₂): Templado, semifrío, con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, precipitación anual entre 200 y 1 800 mm, lluvias de verano.

5.3. GEOLOGÍA

La Sierra Madre Oriental tiene algunos afloramientos rocosos del mesozoico inferior, rocas ígneas extrusivas del paleozoico y rocas metamórficas del precámbrico. Los componentes litológicos son calizas, pizarras, lutitas, areniscas y margas atravesadas por rocas ígneas de carácter intrusivo y extrusivo (INEGI, 2008).

La Sierra Norte de Puebla presenta accidentes del terreno muy variables, existen elevaciones importantes como la de Huintepec, Las Palmas, Zotlango, El Peñón del Rosario entre otras (Treviño, 1985). Las fuertes pendientes son frecuentes en toda la zona y fluctúan de 5 a 65% y en algunas partes presentan cortes rectos (INEGI, 2008).

En el área quemada encontramos una pendiente promedio de 47.25 %, con una mínima de 43% y una máxima de 63%. Para el área no quemada recientemente las pendientes variaron de 25% a 46%, con una media de 38%.

5.4. EDAFOLOGÍA

Los suelos son de origen andosol y litosol húmicos de textura media, con profundidades de 50 cm, mostrados en la Figura 3 (INEGI, 2008). En el área quemada la profundidad promedio de la capa de materia orgánica encontrada fue de 3.69 cm, mientras que para el área no quemada es de 10.27 cm.

Rzedowski (1986), menciona que en estos suelos se desarrollan típicamente los bosques de pino-encino, suelos con un pH ácido moderado de 5.5 a 6.5, con

abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial o a menudo también a mayor profundidad, en el caso de los bosques de pino la profundidad del horizonte humus va de 10 a 30 cm. La textura varia de arcilla a arena, con una coloración frecuentemente roja, amarilla, negra, café o gris.

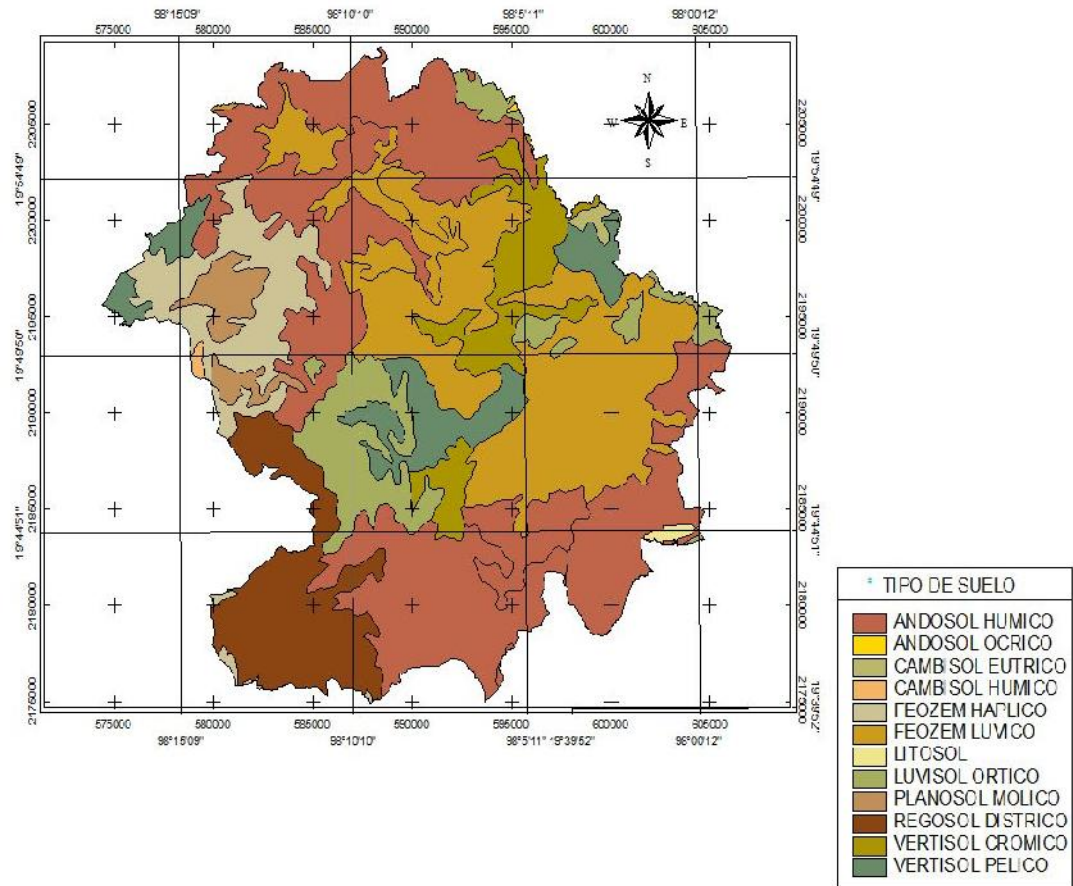


Figura 3. Mapa de tipos de Suelo Chignahuapan, Puebla.

5.5. VEGETACIÓN

El tipo de vegetación que se presenta en el área de estudio corresponde a vegetación secundaria de bosques contando con 18 076.8 ha de coníferas y 1 957 ha de latifoliadas principalmente de encino, predominando los estratos arbóreos siguientes; bosques de pino, pino-encino, encino-pino, pino-oyamel, pino-encino-otras hojosas, Figura 4 (Ortega, 1990: INEGI, 2008).

Del género pino reportan las siguientes especies: *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus ayacahuite* Ehren., *Pinus montezumae* Lamb., *Pinus leiophylla* Schl. et. Cham., *Pinus rudis* Endl., encontrándose en los sitios muestreados *Pinus teocote* Schl. et. Cham. y *Pinus patula* Schlecht et. Cham. Para el género *Quercus* se encontraron: *Quercus crassifolia* Humb. y Bonpl., *Quercus obtusata* Bonpl., *Quercus laeta* Liebm. y *Quercus laurina* Bonpl..

Otros géneros presentes son: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlecht. et. Cham, *Alnus spp*, *Cupressus sp.*, *Juniperus sp.* La flora es rica en general, siendo notable el franco dominio de las especies herbáceas y arbustivas, algunos géneros son; *Quercus*, *Salvia*, *Eupatorium*, *Senecio*, *Estevia*, *Muhlenbergia* (Almonte, 1992).

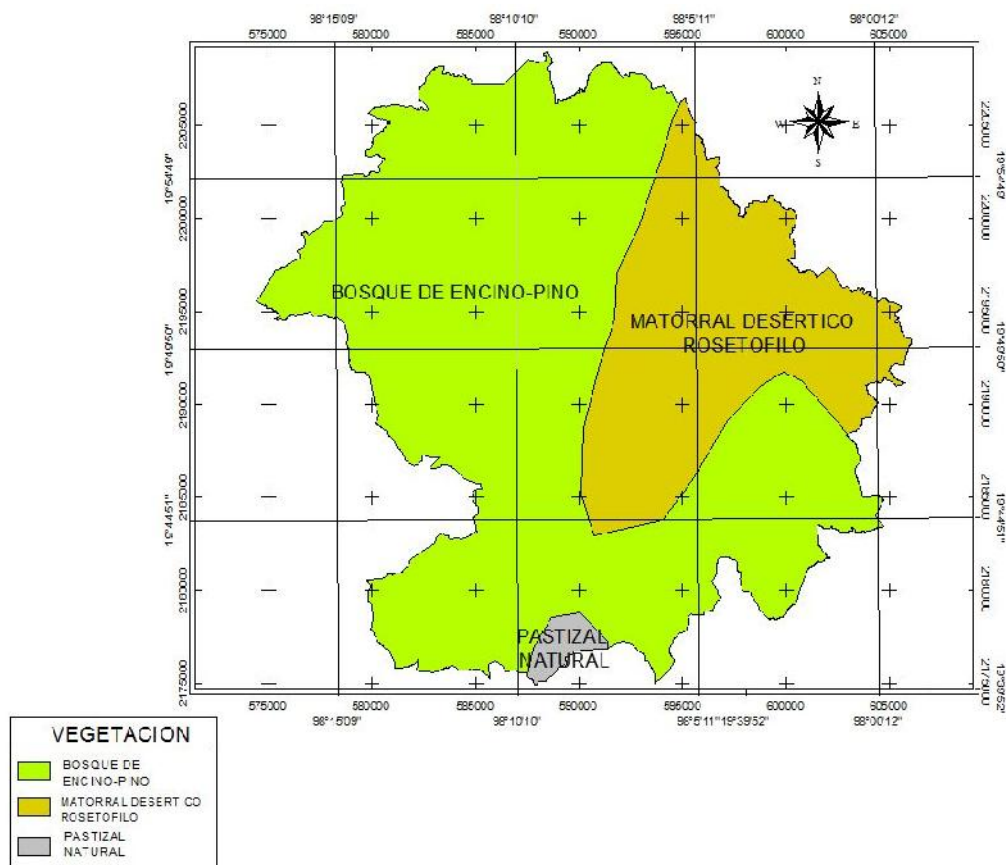


Figura 4. Mapa de vegetación Chignahuapan, Puebla.

5.6. CONTEXTO SOCIO-ECONÓMICO

La actividad económica regional más importante es la agricultura que contempla a los tres subsectores, agrícola, pecuario y forestal. En el subsector forestal, la zona es una de las principales en cuanto a producción forestal maderable del Estado de Puebla, el 46.7% de su población se emplea en este rubro, principalmente en la industria del aserrío, fabrica de tarimas y muebles generados a partir de los 99 622 m³ rollo/ año, con un valor de producción estimado en \$95 294 para el año 2007 según INEGI (2008).

VI. MATERIALES

Los materiales utilizados son: cinta métrica de 25 m, brújula, cinta diamétrica o forcípula, clisímetro, marco de 30x30 cm de fierro, cuadro de 1m² construido de tubos y codos de PVC, de tal manera que pueda ser transportado y desarmado fácilmente; espátula que sirvió como cortador de hojarasca, calibrador con medidas marcadas de combustibles de 1, 10, 100 y 1000 horas de tiempo retardo, bolsas de papel, bolsas de plástico medianas, rejillas de plástico, regla pequeña de 15 cm, lápiz graso, ligas o grapas para sellar las bolsas, unidad de navegación o GPS y formas de registro (Anexo I y II).

VII. METODOLOGÍA

7.1. TRABAJO DE CAMPO

En el año 2009 se eligieron en campo dos áreas, la primera afectada por un incendio superficial un año antes (Figura 5) y la otra que no ha sido afectada, por incendio alguno en por lo menos 10 años (Figura 6). Ambas condiciones encontramos un bosque de encino-pino con *Quercus crassifolia* Humb. y Bonpl. como especie dominante.



Figura 5. Vista del área quemada un año antes.



Figura 6. Vista del área no quemada recientemente.

Cada sitio de muestreo fue ubicado con GPS y cuerda compensada, obteniéndose las coordenadas, pendiente, altura sobre el nivel del mar y la exposición.

El diseño de el muestreo fue aleatorio, se delimitaron 16 conglomerados de muestreo, ocho conglomerados en el área incendiada y ocho en el área no incendiada recientemente con superficies circulares de 25.06 m de radio (200 m^2) haciendo un total de 1600 m^2 para cada condición.

Ambas condiciones debían tener una buena densidad de arbolado, una mezcla de especies similar, árboles con altura y diámetros dominantes, además de estar alejados de la ciudad con el fin de asegurar que, el lugar no fuera utilizado en el pastoreo de animales, con poca intervención del hombre para no tener posibilidad de incendios en el año y tener una toma de datos posteriores sin alteración.

En los 16 sitios se muestrearon los árboles presentes y se les midió la altura y el diámetro normal.

Especie: se identificó en campo, además se recolectaron tres muestras de cada una para corroborar en el gabinete.

Condición del árbol: si el árbol presentaba la parte aérea y la subterránea viva, es decir con follaje verde o chamuscado en recuperación se consideró como vivo (Figura 7), si el árbol se encontraba con ramas secas y presencia de algunas ramas verdes se consideró muerto parcialmente (Figura 8) Finalmente, cuando el árbol estaba quemado en la parte aérea y sin presencia de ramas verdes, se consideró como muerto (Figura 9).



Figura 7. Árbol vivo de *Quercus crassifolia*.



Figura 8. Árbol parcialmente muerto, *Pinus teocote* con parte aérea muerta y rebrotes en el área quemada.



Figura 9. Árbol muerto de *Arbutus xalapensis* en el área incendiada.

Para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca se siguió la metodología de Brown (1974) adaptado por Sánchez y Zerecero (1983), complementado con el manual publicado en el 2006 por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

En cada conglomerado de muestreo se levantaron tres sitios de donde se tomaron datos de combustibles presentes, dando como resultado 48 sitios que fueron muestreados mediante la técnica de intersecciones planares. Dentro de cada sitio el muestreo fue sistemático (Figura 10).

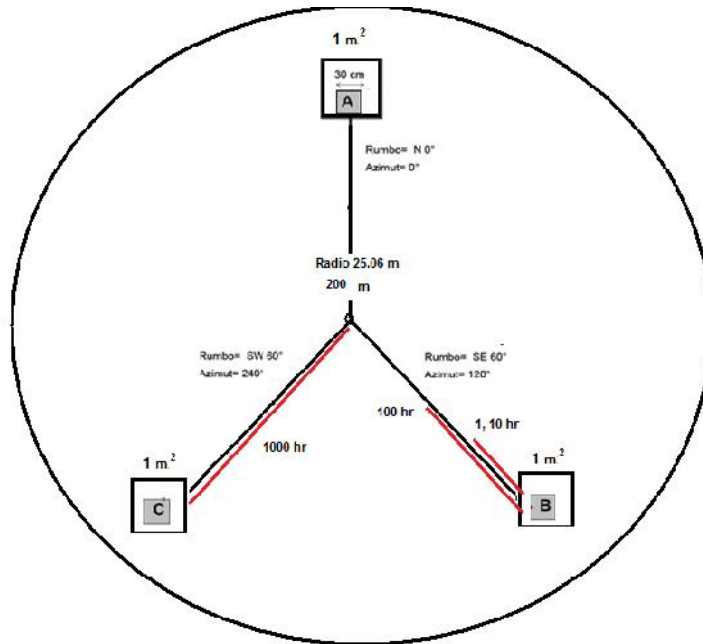


Figura 10. Diseño de sitio de muestreo. (Adaptado de INIFAP, 2006)

En cada uno de las tres unidades de muestreo dentro de cada conglomerado, se contabilizaron los combustibles vivos y muertos presentes, de la siguiente manera:

Tres líneas de intersecciones planares, donde se midió el número de intersecciones con los combustibles leñosos caídos, las líneas se marcaron con cuerdas de 12 m de longitud orientadas a 0°, 120° y 240° de azimut.

Los combustibles de 1 y 10 h de tiempo de retardo se midieron en el segmento de 0 a 2 m y los de 100 h a 4 m y los de 1000 h de 0 a 12 m. sobre la línea de muestreo (Figura 11).



Figura 11. Cuerdas que marcan las líneas de intersección para la estimación de cargas de combustibles leñosos.

Tres marcos de 30 X 30 cm. distribuidos al final de cada línea de intersecciones planares, para medición de hojarasca y capa de fermentación y tres cuadros de 1m² en la misma ubicación, para obtener las muestras de arbustos, herbáceas y renuevos presentes (Figura 12).



Figura 12. Sitio de muestreo marco de 30x30 cm (oscuro) y de 1m² (blanco).

7.2. EVALUACIÓN DE COMBUSTIBLES FINOS

En el marco de 30 X 30 cm, se midieron la profundidad y la cobertura en porcentaje de la hojarasca presente y la capa de fermentación (Figura 13). Las profundidades se midieron con una regla metálica; para la capa de hojarasca se hicieron tres mediciones y para la capa de fermentación cuatro, para obtener un promedio de profundidad en centímetros (Figura 14).

La capa de hojarasca consistió principalmente en acículas y hojas de encino caídas y aparentemente enteras además de algunas ramillas, bellotas y conos caídos. La capa de fermentación estuvo conformada por materiales combustibles en diferentes grados de descomposición avanzada, donde la fragmentación del material era evidente.



Figura 13. Marco para muestreo de combustibles finos.

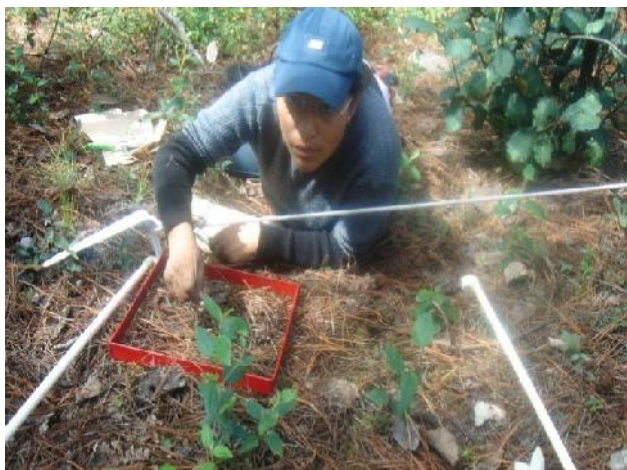


Figura 14. Medición de profundidades de combustibles finos.

7.3. EVALUACIÓN DE COMBUSTIBLES GRUESOS

Para la evaluación de estos combustibles se consideraron desde ramillas hasta troncos de árboles caídos; estos combustibles considerados dentro de 1, 10, 100 y 1000 horas de tiempo de retardo se contabilizaron con la ayuda de un calibrador.

Cuando se encontraron combustibles de 1000 horas de tiempo de retardo se midieron los diámetros con una cinta métrica, incluyendo aquellos que estuvieron firmes y podridos (Figura 15 y 16).



Figura 15. Conteo de combustibles gruesos.



Figura 16. Conteo de combustibles gruesos.

7.4. EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE COMBUSTIBLES EN EL BOSQUE

7.4.1. MUESTRAS DEJADAS EN CAMPO

Uno de los objetivos planteados es conocer la tasa de descomposición de los combustibles forestales finos (hojarasca). Con este fin en campo se hicieron veinte muestras, diez muestras se dejaron en cada condición en la primera visita a campo en octubre de 2009 (Figura 17).



Figura 17. Muestras dejadas en campo

Las muestras se pesaron en campo con una balanza, se introdujeron en redes de plástico debidamente etiquetadas y cerradas, para ser ocultadas en la hojarasca. Los lugares donde se dejaron dichas redes se identificaron marcando con pintura roja de aerosol las bases de los árboles cercanos; se dejaron a una distancia de 5 m. entre redes consecutivas, colocadas en la curva de nivel del terreno (Figura 18).

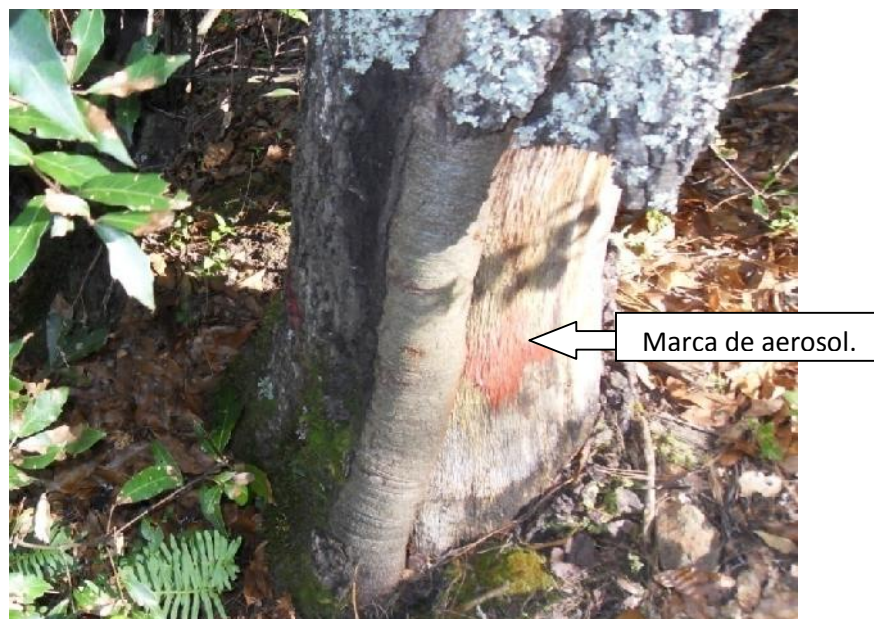


Figura 18. Muestras dejadas en campo

Otras muestras equivalentes en peso y tamaño fueron pesadas y etiquetadas en campo para ser llevadas al laboratorio y secadas a 75 °C hasta que llegasen a un peso constante, para poder determinar su peso anhidro, obtener un factor y extrapolarlo a las muestras dejadas durante un año para determinar su tasa de descomposición en relación al peso seco (Figura 19).



Figura 19. Muestras traídas para secado.

7.4.2. RECOLECTA DE MUESTRAS DEJADAS EN CAMPO

En el mes de noviembre del 2010 se recolectaron las redes ocultas el año anterior recuperándose nueve redes en cada condición. (Figuras 20 y 21).



Figura 20. Muestra en campo



Figura 21. Recolecta de la muestra y árbol señalado en la base.

VIII. TRABAJO DE LABORATORIO Y GABINETE

8.1. COMBUSTIBLES FINOS Y GRUESOS

Una vez obtenidos los datos en campo se capturó la información, la carga de los combustibles finos y gruesos se calculó con la metodología de Brown(1974).

En el caso de los combustibles finos se recolectaron las diferentes capas y se etiquetaron en bolsas de papel (Figura 22) que posteriormente fueron llevadas al Laboratorio de Semillas de la División de Ciencias Forestales, donde se metieron a una estufa de secado a 75 °C hasta alcanzar un peso constante (Figura 23).



Figura 22. Etiquetado de muestras.



Figura 23. Secado de muestras en estufa.

Ya secadas las muestras se estimó la carga (ton/ha) de combustibles dependiendo del tamaño de los mismos, mediante las formulas que se muestran a continuación (Brown, 1974):

Cuadro 2. Fórmulas para el cálculo de carga promedio en coníferas.

Tamaño de clase (Diámetro en cm)	Fórmula
0-0.6	$P = \frac{0.484 * f * c}{NL}$
0.6-2.5	$P = \frac{3.369 * f * c}{NL}$
2.5-7.5	$P = \frac{36.808 * f * c}{NL}$
>7.5 (sin pudrición)	$P = \frac{1.46 * d^2 * c}{NL}$
>7.5(con pudrición)	$P = \frac{1.21 * d^2 * c}{NL}$

donde:

P = Peso de los combustibles.

F = Frecuencia o número de intersecciones

C = Factor de corrección por pendiente

d² = Suma de los cuadrados de los diámetros de las ramas y trozas > a 7.5 cm

NL = Longitud total de la línea de muestreo en pies lineales.

Cabe mencionar que el modelo de Brown (1974) está enfocado al cálculo de cargas de combustibles forestales principalmente de coníferas, así que las formulas fueron ajustadas debido a la mayor densidad de la madera en los encinos.

La densidad básica g/cm³ de *Pinus patula* Schlecht et. Cham. es 0.50 g/cm³, *Pinus teocote* Schl. et. Cham. 0.51 g/cm³ y *Quercus crassifolia* Humb. y Bonpl. es 0.67 g/cm³, reportadas por Fuentes (1998).

En el caso de los encinos las fórmulas utilizadas son las siguientes (Cuadro 3):

Cuadro 3. Fórmulas para el cálculo de carga promedio para encinos.

Tamaño de clase (Diámetro en cm)	Fórmula
0-0.6	$P = \left(\frac{0.484 * f * c}{NL} \right) * 2.01$
0.6-2.5	$P = \left(\frac{3.369 * f * c}{NL} \right) * 2.01$
2.5-7.5	$P = \left(\frac{36.808 * f * c}{NL} \right) * 1.675$
>7.5 (sin pudrición)	$P = \left(\frac{1.46 * d^2 * c}{NL} \right) * 1.675$
>7.5(con pudrición)	$P = \left(\frac{1.21 * d^2 * c}{NL} \right) * 1.675$

donde:

P = Peso de los combustibles.

F = Frecuencia o número de intersecciones

C = Factor de corrección por pendiente

d^2 = Suma de los cuadrados de los diámetros de las ramas y trozas > a 7.5 cm

NL = Longitud total de la línea de muestreo en pies lineales.

2.01 = Factor de ajuste con la densidad del encino, para combustibles de 1 y 10 h de tiempo de retardo.

1. 675 = Factor de ajuste con la densidad del encino, para combustibles de 100 y 1000 h (podridos y firmes) de tiempo de retardo.

8.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA COMBUSTIBLES

Con el fin de decidir, si se podía asumir normalidad univariada, se utilizó la prueba de Anderson-Darling para cada una de las variables de interés. Los resultados obtenidos, mediante el programa R (R, 2008), mostraron que tal supuesto no era válido lo que sugirió el uso de una prueba robusta que permitiera probar la igualdad de efectos de tratamientos.

Para implementar el análisis de varianza multivariado se efectuó una transformación de rangos propuesta por Conover e Imman, (1981). Una vez obtenidos los rangos se aplicó el MANOVA correspondiente al modelo de un criterio de clasificación:

$$Y_{ij} = \underline{m} + \underline{t}_i + \underline{e}_{ij}$$

donde:

$\underline{Y}_{ij}$ = vector de respuestas asociado al tratamiento i en la j -ésima repetición,

$\underline{m}$ = vector de medias.

$\underline{t}_i$ = vector de efectos asociado al i -ésimo nivel del factor de tratamientos.

$\underline{e}_{ij}$ = vector de errores asociados a las respuestas multivariadas observadas bajo el tratamiento i en la repetición j . $i = 1, 2$ y $j = 1, \dots, r$ y con distribución normal multivariada, vector de medias cero y matriz de varianzas y covarianzas $\sigma^2 \text{In}$, donde In es la matriz identidad de orden $n \times n$.

8.3. PROCESO DE MUESTRAS DEJADAS EN CAMPO

Una vez transcurrido el tiempo previsto, un año aproximadamente, en el laboratorio el procedimiento para obtener la tasa de descomposición de la materia orgánica contenida en las muestras consistió en las siguientes operaciones:

a) Abrir las redes y limpiar el exceso de tierra, rastros de hojarasca y combustibles externos, además de algunos insectos, con el fin de no alterar el peso (Figura 24).

b) Se obtuvo su peso anhidro mediante el secado en el horno a 75 °C donde permanecieron hasta tener un peso constante.

c) Se tomó nota de cada uno de los pesos de las muestras para su posterior utilización (Figura 25).



Figura 24. Limpieza de muestras.



Figura 25. Pesado de la muestra

8.4. DINÁMICA DE COMBUSTIBLES

La determinación de la tasa de descomposición se llevó a cabo, para cada una de las muestras recolectadas del campo en el 2010, con la metodología propuesta por Waring y Schlesinger (1985), mediante la siguiente fórmula:

$$k = \frac{P_01 - P_02}{P_01}$$

donde:

k = Tasa de descomposición.

P_01 = Peso anhidro obtenido en 2009.

P_02 = Peso anhidro obtenido en 2010.

El tiempo de retorno (TRE), se calculó una vez obtenida la tasa de descomposición y se utilizó la siguiente fórmula:

$$TRE = \frac{1}{k}$$

donde:

k = Tasa de descomposición.

TRE= Tiempo de retorno.

.

8.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA TASA DE DESCOMPOSICIÓN

El análisis consistió en la comparación de dos medias poblacionales de distribución normal, mediante la prueba basada en la distribución T-Student. Formalmente el juego de hipótesis que se contrastó fue:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ vs } H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

donde:

μ_1 : representa la media de la distribución $N(\mu_1, s_1^2)$ y corresponde al valor medio esperado de la variable respuesta (Tiempo de Retorno) bajo la condición de quemado.

μ_2 : es la media de la distribución $N(\mu_2, s_2^2)$ que se asocia a la variable respuesta (Tiempo de Retorno) bajo la condición de no quemado.

El estadístico de prueba es:

$$T_c = \frac{|\bar{X}_1 - \bar{X}_2|}{Sp \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{1/2}}$$

donde:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

S_1^2 : es la varianza muestral correspondiente a las observaciones de la muestra obtenida de $N(\mu_1, s^2)$.

S_2^2 : es la varianza muestral correspondiente a las observaciones de la muestra obtenida de $N(\mu_2, s^2)$

$\bar{X}_1$: es el promedio aritmético para la muestra de la condición quemada.

$\bar{X}_2$: es el promedio aritmético para la muestra de la condición no quemada.

n_1 : es el tamaño de la muestra de las observaciones para la condición de quemada.

n_2 : es el tamaño de la muestra de las observaciones para la condición de no quemada.

IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro 4 muestra las características fisiográficas del lugar, para ambas condiciones.

Cuadro 4. Características fisiográficas por sitio y condición				
Condición	Sitio	Altitud (m.s.n.m)	Pendiente (%)	Exposición
Quemada	1	2547	45	SO
	2	2515	45	SO
	3	2525	45	SO
	4	2529	43	SW
	5	2500	46	SW
	6	2485	47	SW
	7	2477	63	SW
	8	2473	44	SW
No Quemada	1	2402	42	SW
	2	2393	39	SW
	3	2390	35	SW
	4	2396	45	W
	5	2396	46	W
	6	2431	25	NE
	7	2439	27	NE
	8	2419	45	SW

9.1. REGENERACIÓN

La regeneración por semilla en el lugar fue poca, para ambas condiciones (Cuadro 5), se observó mayor presencia de plántulas de encino en el área incendiada recientemente (56 plántulas/ha) que en el área no incendiada (6 plántulas/ha), este resultado pudiera deberse en parte a la gran cantidad de hojarasca en el área no incendiada que no permite que las bellotas lleguen al suelo y puedan establecerse y en el caso del sitio quemado el poco tiempo transcurrido desde el incendio. Rocha y Ramírez (2009), mencionan que una de las condiciones para el establecimiento de plántulas es la “calidad” del hábitat como nicho de regeneración, en el cual la cantidad y tipo de hojarasca puede afectar las probabilidades de colonización de una especie.

Lloret (2004), menciona que la capacidad de las comunidades vegetales de recuperarse después del incendio se fundamenta en la respuesta individualizada de las especies. A priori, el fuego representa una pérdida de individuos. Pero esta pérdida puede no producirse, como en el caso de especies que mantienen órganos o yemas protegidas de las altas temperaturas. A ello hay que añadir las posibilidades que se abren a especies que no se hallaban en la comunidad quemada y que encuentran unas condiciones ambientales apropiadas para establecerse después del fuego.

En contraste se tuvo un alto número de rebrotes, en 77.4 % de los árboles del área recientemente afectada, pero solo el 17.6% de ellos en el área no afectada. Lloret, (2004), menciona que esta capacidad de rebrotar depende de las características anatómicas y fisiológicas de la propia especie, del estado de los individuos antes del incendio, de las características del incendio y de las condiciones del medio.

La regeneración de la cubierta vegetal se producirá a partir de las poblaciones de las especies capaces de sobrevivir y volver a crecer tras el fuego “especies rebrotadoras”, y de las que establecen nuevas poblaciones “especies germinadoras”, ya sea a partir de semillas que se mantienen en las plantas quemadas, que están almacenadas en bancos de semillas del suelo o copas, o que llegan posteriormente al incendio (Lloret, 2004). Se halló algún renuevo en 75% de los conglomerados del muestreo del área quemada, pero únicamente 12% en el área no quemada.

Cuadro 5. Regeneración promedio en sitios muestreados

Sitio	Área quemada recientemente			Área no quemada recientemente		
	No.de individuos	Altura (cm)	Cobertura (%)	No.de individuos	Altura (cm)	Cobertura (%)
1	6.3	7	5	—	—	—
2	7	10	3	—	—	—
3	7.5	3.5	2	—	—	—
4	8	5.5	2	5	1	1
5	7	1	1	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—
8	6	2	1	—	—	—

Los incendios periódicos en un bosque de encino de clima templado favorecen la presencia y dominancia de especies de *Quercus*; (Zavala, 2000), debido a que algunas especies se han adaptado a la influencia del fuego para su supervivencia, esto mediante el desarrollo de rasgos que les permiten regenerarse y reproducirse ejemplo de ello es la capacidad de rebrotamiento después de un incendio, pero también debido a su producción, tamaño y morfología de las semillas y frutos, acorde con Dobzhansky, citado por Chandler *et al.* (1983).

9.2. ARBOLADO

En el Cuadro 6 se muestra el número de árboles encontrados en los sitios de muestreo para ambas condiciones, así como sus características.

Cuadro 6. Características del arbolado por sitio y tratamiento.

Especie	No. Total	Área Quemada			No. Total	Área No Quemada		
		Muertos (%)	Vivos (%)	Rebrote (%)		Muertos (%)	Vivos (%)	Rebrote (%)
<i>Q. crassifolia</i> Humb. y Bonpl.	132	6.8	93.2	81.1	92	1.1	98.9	18.5
<i>A. xalapensis</i> Kunth.	45	6.7	93.3	93.3	19		100	5.3
<i>P. teocote</i> Schl. et. Cham.	20	45	55	25	26	7.7	92.3	34.6
<i>Q. obtusata</i> Bonpl.					36		100	11.1
<i>Q. laeta</i> Liebm.					2		100	
<i>Q. castanea</i> Muhl.	1		100					
<i>Q. laurina</i> Bonpl.	1		100					
<i>P. patula</i> Schl. et. Cham.					1		100	
Total	199	10.6	89.4	77.4	176	1.7	98.3	17.6

La mayoría de los árboles encontrados en los sitios de muestreo fueron identificados como *Quercus crassifolia*. Para el área quemada se encontraron 199 individuos de todas las especies, mientras que en el área no quemada 176, y la proporción de árboles muertos en el área incendiada (10.6%) fue mayor que en el área no quemada recientemente (1.7%), por último se registró un mayor número de árboles con rebrote (77.4%) que en el área testigo (17.6%).

Cabe mencionar que los rebrotes fueron principalmente en la base, en menor cantidad en la raíz y tocón Lloret (2004), refiere que la estrategia rebrotadora se basa en la existencia de yemas adventicias que son capaces de resistir las altas temperaturas y de diferenciarse tras el paso del fuego, dando lugar a nuevos tallos y hojas.

Spurr y Barnes, 1980 citados por Márquez *et al.* (2005), menciona que la mayoría de las especies de *Quercus* rebrotan vegetativamente a partir de las ramas, tocones o raíces que han quedado en el sitio, siendo una consecuencia

del enraizamiento profundo del género, lo que reduce la posibilidad de que las temperaturas letales de un incendios alcancen a las raíces, de esta manera la raíz sobrevive aunque la parte aérea muera y así provea reservas permitiendo el desarrollo de rebrotes.

Rodríguez (1996), refiere adaptaciones de los pinos a los incendios como: la corteza gruesa aislante que protege al cambium vascular de temperaturas letales, el rápido crecimiento juvenil y la poda natural, que influyen en el daño que pueden ocasionar las llamas.

Las especies del bosque de encino-pino están adaptadas al fuego y requieren de la presencia del mismo para poder mantenerse. El rebrote es una adaptación que ocurre cuando el follaje de la vegetación es perdido a causa de un agente externo, como el fuego (Chandler *et al.*, 1983).

En las figuras siguientes (Figura 26-31) se muestran el número de árboles para las tres especies más representativos de los sitios muestreados (*Quercus crassifolia*, *Arbutus xalapensis* y *Pinus teocote*), por categoría diamétrica (CD), tomándose la categoría 0 como la que agrupa a los arboles menores a 2.5 cm de diámetro.

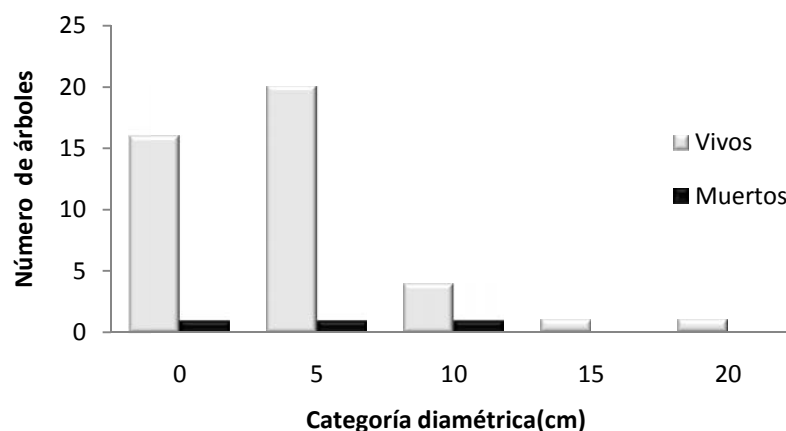


Figura 26. Número de árboles de *Quercus crassifolia* en el área quemada.

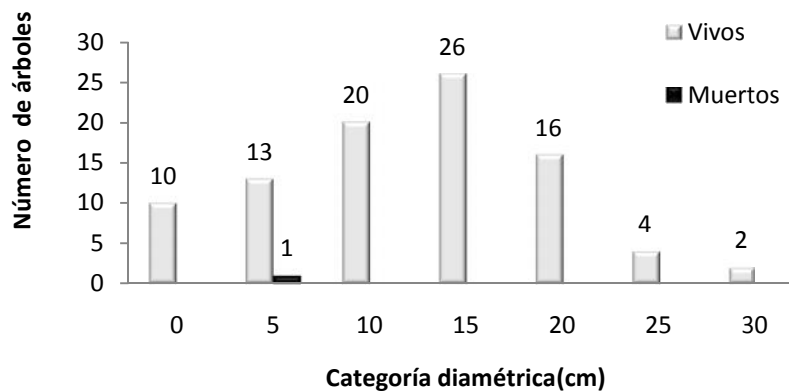


Figura 27. Frecuencia diamétrica de *Quercus crassifolia* en el área no quemada.

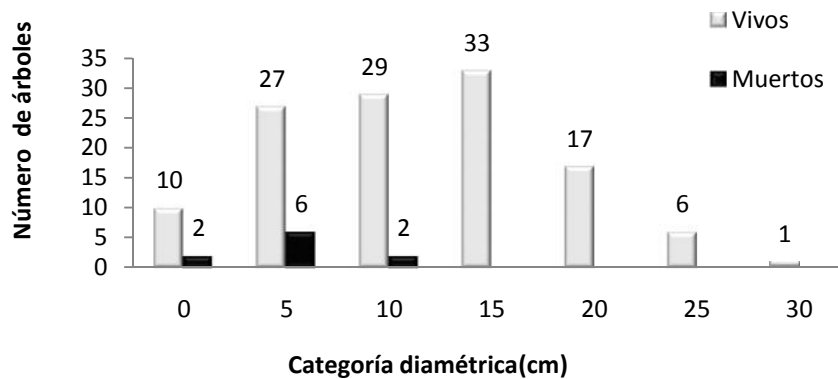


Figura 28. Número de árboles por CD de *Arbutus xalapensis* en el área quemada.

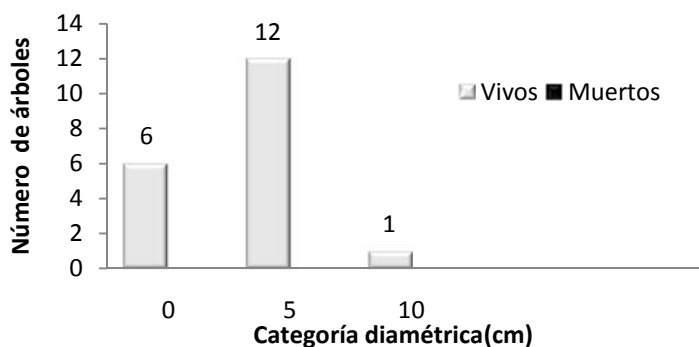


Figura 29. Frecuencia diamétrica de *Arbutus xalapensis* en el área no quemada.

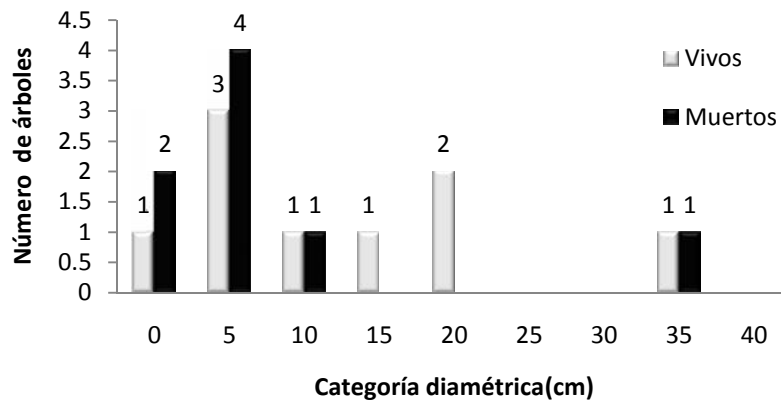


Figura 30. Número de árboles de *Pinus teocote* en el área quemada por CD.

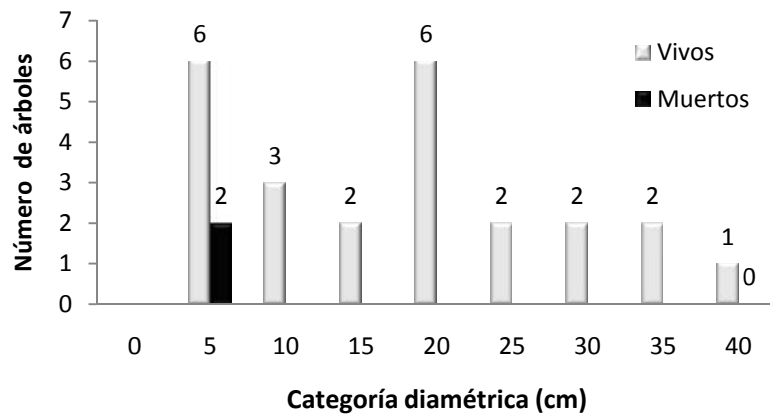


Figura 31. Frecuencia de árboles de *Pinus teocote* en el área no quemada.

A continuación se muestra la comparación del número de árboles por categoría diamétrica (cm) en ambas condiciones.

La mayor parte de arboles encontrados en el área quemada recientemente se concentra en las categorías de ≤ 15 cm de diámetro, lo que refiere que mayormente se trata de rebrotes como respuesta de los encinos a la pérdida de la parte aérea por el fuego. En el área no quemada los individuos se distribuyen de manera similar, aunque con menor número en cada categoría diamétrica. Finalmente, el número de árboles muertos es mayor en el área quemada recientemente (Figura 32-34).

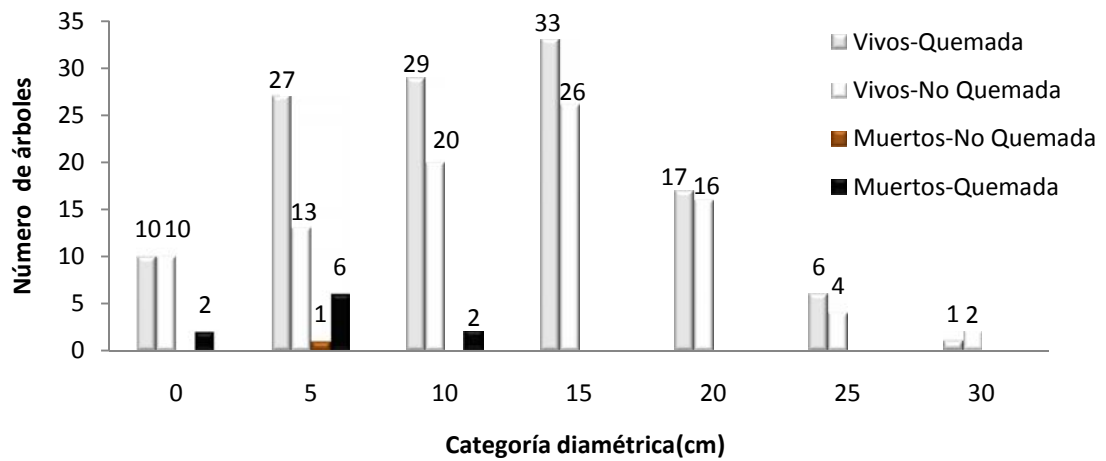


Figura 32. Comparación del número de árboles por CD de *Quercus crassifolia* en ambas condiciones.

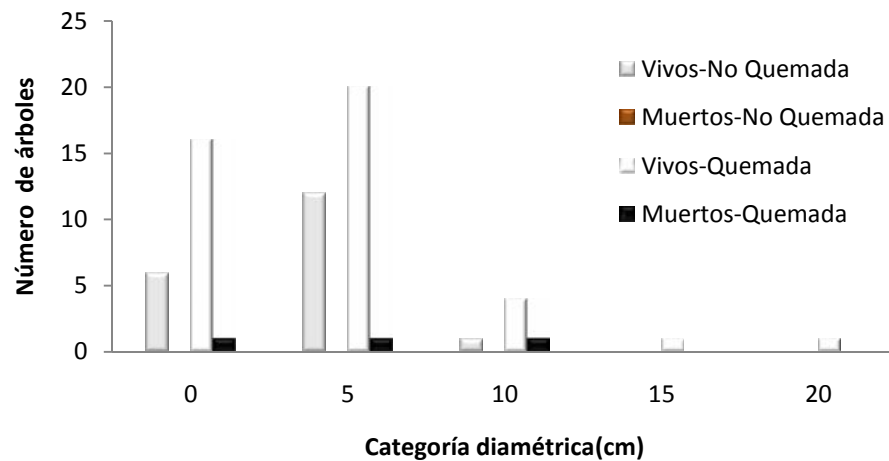


Figura 33. Comparación del número de árboles por CD de *Arbutus xalapensis* en ambas condiciones.

La mayoría de los individuos de esta especie se encuentran en las categorías diamétricas de 0 a 5 cm, indicando la formación de rodales jóvenes como posible respuesta al factor fuego ocurrido recientemente.

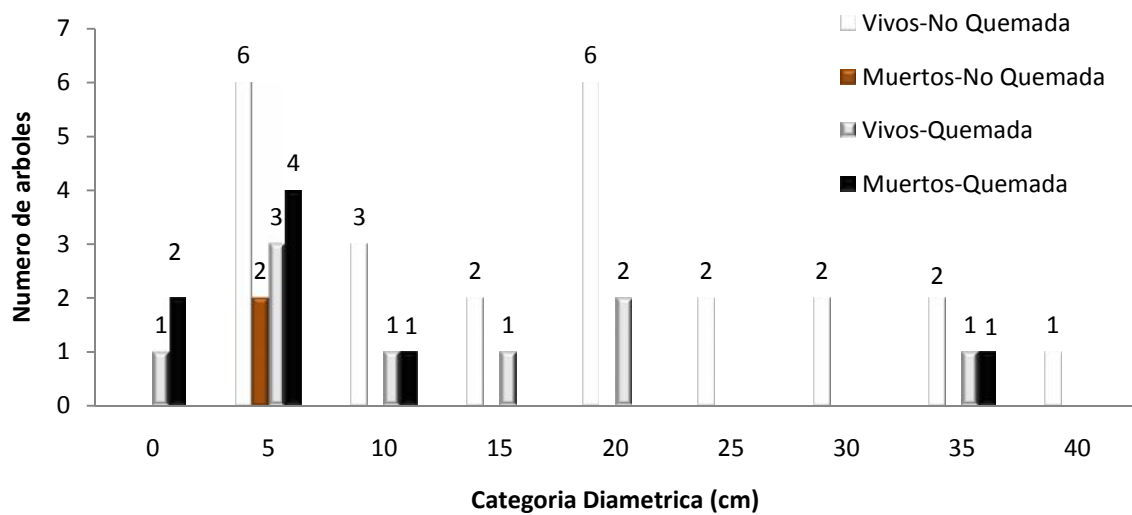


Figura 34. Comparación de número de árboles por CD de *Pinus teocote* en ambas condiciones.

Para el caso de *Pinus teocote* se encontraron individuos en las diferentes categorías diamétricas, con más representantes en las categorías de 5 y 20 cm. Lloret (2004), sugiere que la regeneración post-incendio de los pinos depende principalmente del banco de semillas almacenado en las copas y, por tanto, explican las importantes diferencias en la regeneración post-incendio que se observan entre especies, y entre zonas que han experimentado distintas intensidades de fuego.

En general los resultados obtenidos concuerdan con las tendencias reportadas por Barton (2001) (Cuadro 7), que observó la condición del bosque antes del fuego y después del mismo. 4-5 años y 10 años después de haber ocurrido incendios en el suroeste de Estados Unidos y el Norte de México. Estos resultados reflejan una mayor abundancia de individuos de *Quercus hypoleucoides* y *Quercus arizonica* en ambos incendios, seguidos de *P. leiophylla* y *Pinus engelmannii*, por último a *Arbutus arizonica*, presentando una rápida recuperación mediante rebrotes principalmente.

Cuadro 7. Número de rebrotes, porcentaje de germinación y cantidad de plántulas antes y después de un incendio (Barton, 2001).

Especie	Fuego Rattlesnake (1994)				Fuego Methodist (1983)			
	Pre-fuego Individuos	Rebrotes	Post-fuego Germinación (%)	Plántulas	Pre-fuego Individuos	Rebrotes	Post-fuego Germinación (%)	Plántulas
<i>Q. hypoleucoides</i>	344	309	89.8	19	60	56	93.3	3
<i>Q. arizonica</i>	11	11	100	26	3	2	66.7	0
<i>P. leiophylla</i>	164	38	23.2	18	15	2	13.3	4
<i>P. engelmannii</i>	153	0	0	5	40	0	0	3
<i>A. arizonica</i>	20	16	80	1	0	0	0	0
Otros	62	0	0	1	3	1	33	1
Total	754	374	49.6	70	121	61	50.4	11

9.3. DENSIDAD DE ÁRBOLES

De acuerdo al Cuadro 8, se tuvo una mayor densidad en el área quemada recientemente con 995 árboles/ha, mientras que en el área no quemada hubo 880 árboles/ha.

Nuevamente *Quercus crassifolia* fue la especie con el mayor número de individuos, con 660 árboles/ha en el área incendiada y 460 árboles/ha en el área no quemada; la segunda especie dominante es *Arbutus xalapensis*, con 225 árboles/ha en el área incendiada y 95 árboles/ha en el área no quemada; para *Pinus teocote* se obtuvo una densidad de 100 árboles/ha en el área incendiada, mientras que en el área no quemada 130 árboles/ha.

Cuadro 8. Densidad de árboles por especie para ambas condiciones.

Especie	Área quemada (árboles/ha)	Área no quemada (árboles/ha)
<i>Q. crassifolia</i>	660	460
<i>A. xalapensis</i>	225	95
<i>P. teocote</i>	100	130
<i>Q. obtusata</i>	0	180
<i>Q. laeta</i>	0	10
<i>Q. castanea</i>	5	0
<i>Q. laurina</i>	5	0
<i>P. patula</i>	0	5
Total	995	880

Vetaas (2000), en un estudio realizado en dos bosques de *Quercus semecarpifolia* el centro de Nepal, reportó para el bosque no perturbado 15 especies en etapa de árbol, con una densidad de 2 hasta 274 arboles/ha, mientras que en los bosques perturbados se encontraron 12 especies con una densidad que varió de 2 hasta 1202 árboles /ha.

9.4. COMBUSTIBLES FORESTALES

A continuación se presentan los valores obtenidos para los combustibles forestales presentes en la zona por sitio muestreado y condición:

Cuadro 9. Cargas obtenidas por tipo de Combustible (ton/ha).

Sitio	Arbustos		C. Ferm.		Hojarasca		Herbáceas		Renuevo		Arbolado		1 h		10 h		100 h		1000 h F		1000 h P	
	Q	NQ	Q	NQ	Q	NQ	Q	NQ	Q	NQ	NQ	NQ	NQ	NQ	Q	NQ	Q	NQ	Q	NQ	Q	NQ
1	0.38	0.31	0.00	6.56	8.45	9.16	0.37	0.37	0.07	-	3.57	8.50	0.00	32.26	0.16	1.39	0.00	7.10	0.00	-	0.00	32.26
2	0.33	0.62	0.00	12.18	7.09	11.00	0.14	0.00	0.09	-	2.61	7.69	0.00	6.95	0.37	0.80	5.08	5.08	1.11	-	0.00	6.95
3	1.06	1.34	6.09	10.57	7.63	10.89	0.10	1.19	0.06	-	1.48	7.67	0.00	0.00	0.43	0.27	5.08	6.77	0.00	-	0.00	0.00
4	0.54	1.66	0.00	1.73	6.30	6.41	0.75	1.19	0.03	-	0.51	9.49	0.60	0.00	0.11	0.48	3.03	0.00	0.00	-	0.60	0.00
5	0.34	0.90	0.00	3.74	3.26	11.46	0.40	0.85	0.04	0.01	1.03	7.92	0.48	12.01	0.11	0.53	0.00	3.38	0.77	-	0.48	12.01
6	0.71	0.12	0.00	11.93	4.18	12.73	0.23	0.14	-	-	1.81	8.06	0.00	0.00	0.39	0.61	0.00	2.86	0.70	-	0.00	0.00
7	0.66	2.41	0.00	12.22	5.71	14.19	0.58	0.13	-	-	1.42	13.01	0.00	8.79	0.12	0.45	0.00	0.00	0.00	-	0.00	8.79
8	0.80	0.93	0.00	13.10	6.44	11.78	0.34	0.68	0.01	-	3.36	16.48	0.00	0.00	0.43	0.37	0.00	1.69	0.94	-	0.00	0.00
$\bar{X}$	0.60	1.04	0.76	9.00	6.13	10.95	0.36	0.57	0.04	.001	1.97	9.85	0.54	7.50	0.26	0.61	4.56	3.36	0.88	-	0.54	7.50
S	0.26	0.75	2.15	4.39	1.73	2.34	0.22	0.48	0.03	.003	1.10	3.21	0.54	1.21	0.15	0.35	2.36	2.78	0.49	-	0.25	11.09

Donde:

Q: Condición quemada

NQ: Condición no quemada

C. Ferm.: Capa de fermentación

1, 10, 100, 1000 h: Tiempo de retardo

1000 h F: Combustibles con 1000 h de tiempo de retardo firmes

1000 h P: Combustibles con 1000 h de tiempo de retardo podridos

Los valores reportados en este trabajo se encuentran dentro de los intervalos de carga promedio presentados en trabajos anteriores (Cuadro 10).

Cuadro 10. Cargas promedio de combustibles para diferentes tipos de vegetación.

Autor	Año	Tipo de Vegetación	Carga Promedio Ton/ha
Goldammer 1982 en Urrutia, <i>et al.</i>	2010	Plantaciones Jóvenes de Pino	12
Rodríguez	1995	Bosque Pino-Latifoliadas	23.32
		Plantaciones de Latifoliadas Mixtas y Coníferas	37.9
		Plantaciones de <i>Eucaliptus spp.</i> (10 años)	39.17
		Plantaciones de coníferas (12-17 años) sin manejo	47.62
		Plantaciones de coníferas (17 años) sin manejo	49.98
Guillermo <i>et al.</i>	2003	Plantaciones de coníferas (12-17 años) con manejo	51.09
		Plantaciones de coníferas (17 años) con manejo	53.06
Flores	2004	Bosque de Pino –Encino	15.45
Hernández	2006	Bosque Coetáneo de Pino	13.07
Nájera <i>et al.</i>	2006	<i>Pinus cembroides</i> Zucc. - pastizal natural y chaparral.	37.87
Estrada	2007	Bosque Pino-Latifoliadas	48.8
Nájera y Hernández	2007	Bosque Coetáneo de Pino	13.07
		Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Alnus jorullensis</i>	82.49
		Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> , <i>Abies religiosa</i> y <i>Alnus jorullensis</i>	85.65
		Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Alnus jorullensis</i>	67.58
Hernández y Ramírez		Pastizal bajo	0.85
	2010	Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Alnus jorullensis</i>	78.29
		Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Abies religiosa</i>	76.27
		Bosque de <i>Pinus hartwegii</i> y <i>Alnus jorullensis</i>	83.59

9.5. CARGA DE COMBUSTIBLES POR TIPO

9.5.1. CARGA DE COMBUSTIBLES LEÑOSOS POR TIEMPO DE RETARDO

En el presente trabajo las cargas totales medias fueron de $7.099 \pm 1.78 \text{ t ha}^{-1}$ para el área quemada, mientras que en el área no quemada alcanzaron $31.726 \pm 11.93 \text{ t ha}^{-1}$, registrando menor carga debido a la pérdida de individuos o biomasa súbita después de un disturbio como es el fuego Lloret (2004), las cargas se dividieron primeramente por el tiempo de retardo en horas y después se desglosaron por tipo de material.

Condición quemada. Los combustibles leñosos por tiempo de retardo se distribuyeron de la siguiente manera (Figura 2); los de 1h de TR representan un 12.03%, con $0.85 \pm 0.73 \text{ t ha}^{-1}$; los combustibles de 10 h TR con $0.26 \pm 0.2 \text{ t ha}^{-1}$, correspondiente al 3.71%; los combustibles de 100 h TR con $4.56 \pm 1.02 \text{ t ha}^{-1}$ y 64.29%; los combustibles de 1000 h TR firmes con $0.88 \pm 0.19 \text{ t ha}^{-1}$, equivalentes al 12.37%; y, por último, los podridos con 1000 h TR, con $0.54 \pm 0.08 \text{ t ha}^{-1}$, equivalentes al 7.60 % (Figura 35).

Condición no quemada. Los combustibles por tiempo de retardo se dividen de la siguiente manera; los de 1 h TR aportan un 5.27%, con $1.67 \pm 1.71 \text{ t ha}^{-1}$; los combustibles de 10 h TR un 1.94%, con $0.62 \pm 0.54 \text{ t ha}^{-1}$; los de 100 h TR 11.72% y $3.72 \pm 4.43 \text{ t ha}^{-1}$; mientras que los de 1000 h TR podridos aportaron el 81.07% con $25.72 \pm 32.40 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 35).

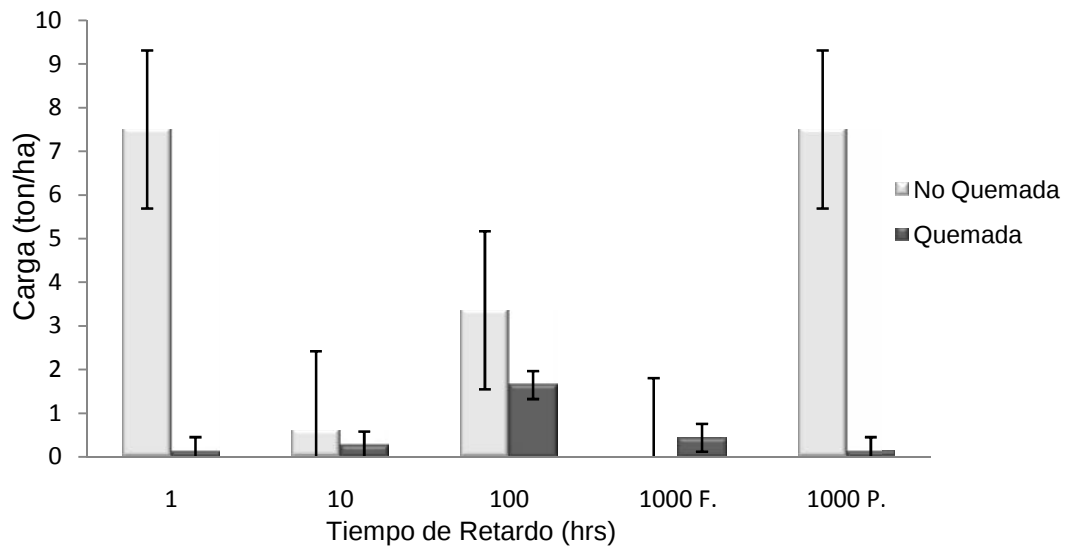


Figura 35. Comparación de combustibles por tiempo de retardo. Las barras de error representan la desviación estándar.

Cuadro 11. Valores promedio (ton/ha) por tiempo de retardo

TR	Quemada	No Quemada
1	0.14	7.50
10	0.27	0.61
100	1.65	3.36
1000 Firmes	0.44	0.00
1000 Podridos	0.14	7.50
<i>TOTAL</i>	2.62	18.98
σ	0.64	3.61

TR: Tiempo de retardo en horas.

Como se puede ver en los Cuadros 12 y 13, existen efectos significativos del factor tratamientos, concluyendo que las cargas son estadísticamente diferentes para los combustibles de 1 h, 10 h, 100 h y 1000 h firmes de tiempo de retardo en condición quemada y no quemada. De manera general, podemos decir que el peso de los combustibles forestales es mayor si no se ha presentado algún tipo de disturbio y que la cantidad presente en cada condición, guarda una estrecha relación con el estado de la vegetación al momento de la evaluación,

así mismo, con el tipo, intensidad y el tiempo transcurrido con el ultimo evento de perturbación ocurrido (Contreras y Ángeles, 2007), siendo la estimación de los combustibles forestales indispensable para poder predecir la intensidad de incendios futuros y poder evaluar los efectos del fuego.

Cuadro 12. Valores-P para los estadísticos de prueba en MANOVA para dos tratamientos (Quemado y no quemado) y cuatro variables respuesta (combustibles de 1 h, 10 h, 100 h y 1000 h de tiempo de retardo).

Estadístico	F-Valor	Pr>F
Wilks' Lambda	11.84	< 0.0001
Pillai's Trace	11.84	< 0.0001
Hotelling-Lawley Trace	11.84	< 0.0001
Roy's Greatest Root	11.84	< 0.0001

Cuadro 13. Valores-P para las variables respuesta en MANOVA para dos tratamientos (Quemado y no quemado).

Variable Respuesta	Valor de P
1 hora	0.0258
10 horas	0.0030
100 horas	0.0009
1000 horas firmes	0.0097
1000 horas podridos	0.0171

9.5.2. ARBUSTOS

La especie dominante para este combustible fue *Quercus repanda*, con 43.76 arbustos/m², una cobertura promedio de 21.17% y una carga media total de 0.60±0.26 ton/ha; mientras que para el área no quemada recientemente se encontraron 19.76 arbustos/m², una cobertura promedio de 12.82% y una carga de 1.04±0.75 ton/ha, sin diferencias significativas entre condiciones (p= 0.9187) (Figura 3).

Los valores mínimo y máximo para este tipo de combustible se encontraron en el área no quemada con 0.12 y 2.41 ton/ha respectivamente. En el área quemada recientemente se encontraron 43.76 arbustos/m² con una cobertura promedio de 21.17 %, mientras que para el área no quemada recientemente se encontraron 19.76 arbustos/m² con una cobertura promedio de 12.82 %. En ambas condiciones la especie dominante en este estrato es *Quercus repanda* (Figura 36).

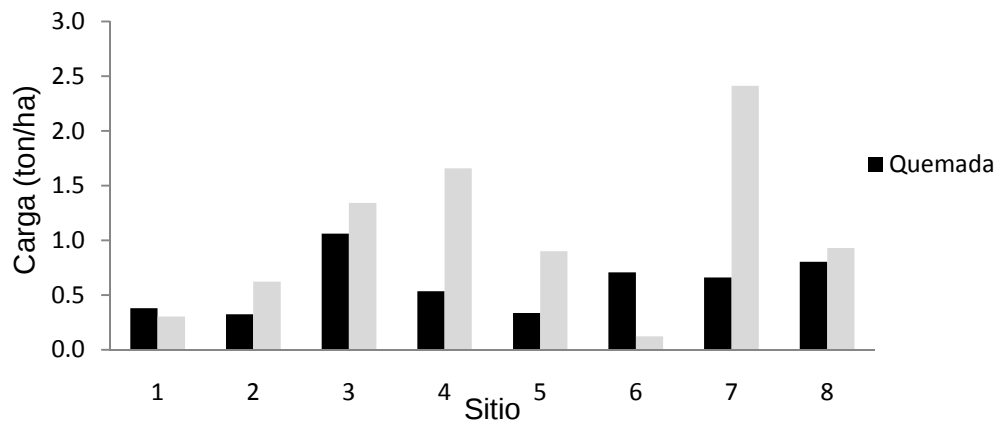


Figura 36. Carga promedio por sitio y condición para arbustos.

La carga promedio para el área quemada recientemente es de 0.60 ± 0.26 ton/ha, mientras que en los sitios no quemados es de 1.04 ± 0.75 ton/ha, sin diferencias significativas (0.9187).

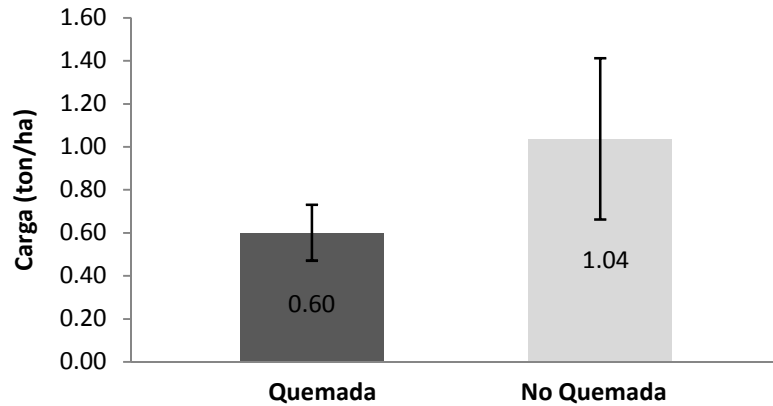


Figura 37. Carga promedio por condición para arbustos. Las barras de error representan la desviación estándar.

9.5.3. CAPA DE FERMENTACIÓN

Este tipo de combustible fue el que presentó una mayor variación entre una condición y otra (Figura 38). En el área quemada recientemente sólo se encontró capa de fermentación en un sitio, con una profundidad promedio de 2.7 cm. En el área no quemada se tuvo un valor mínimo de 1.75 ton/ha y un máximo de 13.10 ton/ha, con la profundidad promedio 3.14 cm. Para ambas condiciones el porcentaje de cobertura es de 100%.

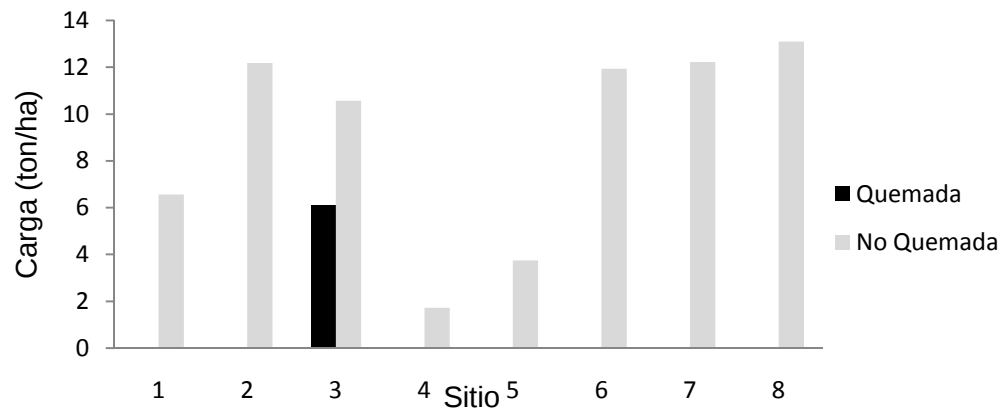


Figura 38. Carga promedio por sitio y condición para capa de fermentación.

El valor promedio para la capa de fermentación calculada fue de 0.76 ± 2.15 ton/ha para los sitios quemados recientemente, mientras que en la zona no

quemada fue de 9 ± 4.39 ton/ha, concluyéndose que hay diferencias estadísticas significativas entre ambas condiciones ($p < 0.0001$).

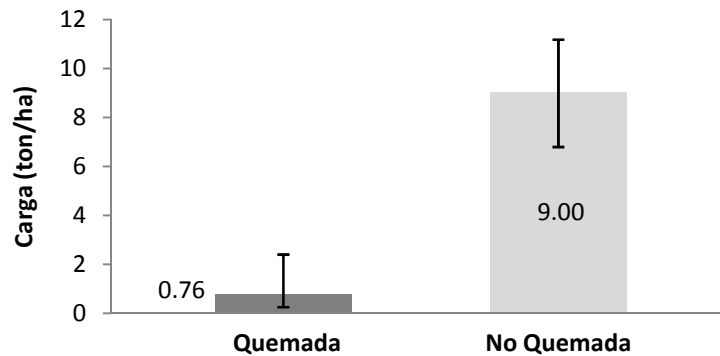


Figura 39. Carga promedio por condición para la capa de fermentación. Las barras de error representan la desviación estándar.

9.5.4. HOJARASCA

En la capa de hojarasca las cargas variaron de 3.26 a 8.45 ton/ha, en el área quemada, mientras que en el área no quemada se tuvo un mínimo de 6.41 ton/ha y un máximo de 14.19 ton/ha (Figura 40). La cobertura de la capa de hojarasca en los sitios muestreados en el área quemada fue de 61.08% con una profundidad de 4.25 cm. En el área no quemada fue de 89.58% y 3.76 cm.

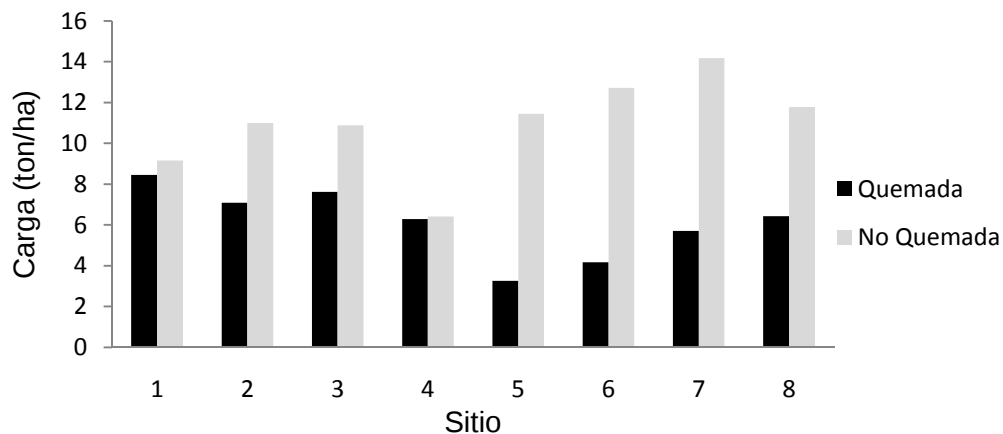


Figura 40. Carga promedio por sitio y condición para hojarasca.

La carga promedio de la capa de hojarasca por condición presente en el área quemada fue de 6.13 ± 1.73 ton/ha y en la zona no quemada resulto igual a 10.95 ± 2.34 ton/ha. Los datos del experimento muestran evidencia significativa

de que existe diferencia significativa entre las cargas de promedio de hojarasca por sitio para las condiciones de quemada y no quemada ($p = 0.0004$).

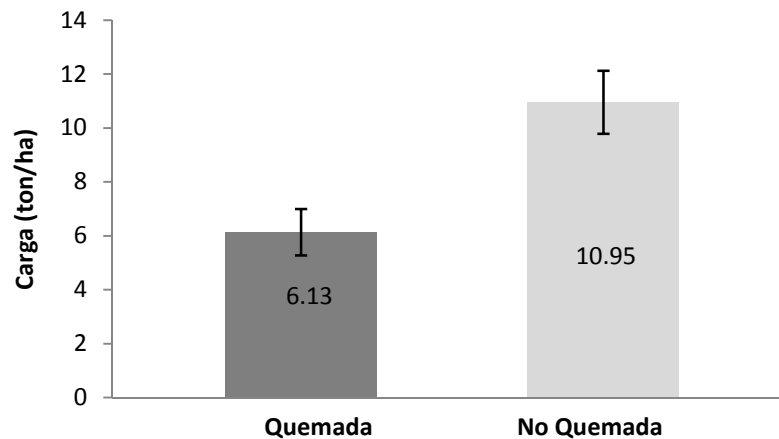


Figura 41. Carga promedio por condición para la capa de hojarasca.

Estos valores son similares a los de Rocha y Ramírez (2009), que reportan una carga de 6.58 ± 0.27 ton/ha para bosques de encino en Chiapas; Correa (1981), para bosques en Xalapa, Veracruz una producción de 9.2 ± 2.5 ton/ha/año. Algunos otros autores reportan menores cargas para este combustible tal es el caso de Návar y Jurado (2009), reportan en Nuevo León para *Pinus pseudostrobus* una carga de 3.42 ± 0.92 ton/ha/año y para *Quercus* spp. carga media de 3.01 ± 1.39 ton/ha/año. Generalmente la producción anual de hojarasca varía entre 9 y 15 ton/ha/año (Martínez, 1980).

9.5.5. HERBÁCEAS

La tendencia es muy parecida a la de los combustibles anteriores. En el área quemada la carga mínima fue de 0.10 ton/ha un valor máximo de 0.75 ton/ha, para la no quemada el valor mínimo fue 0, mientras que el máximo alcanzó 1.19 ton/ha.

La altura promedio de los individuos encontrados en el área quemada fue de 29.3 cm con cobertura de 20%; en el área no quemada la altura promedio fue de 25.6 con 10% de cobertura.

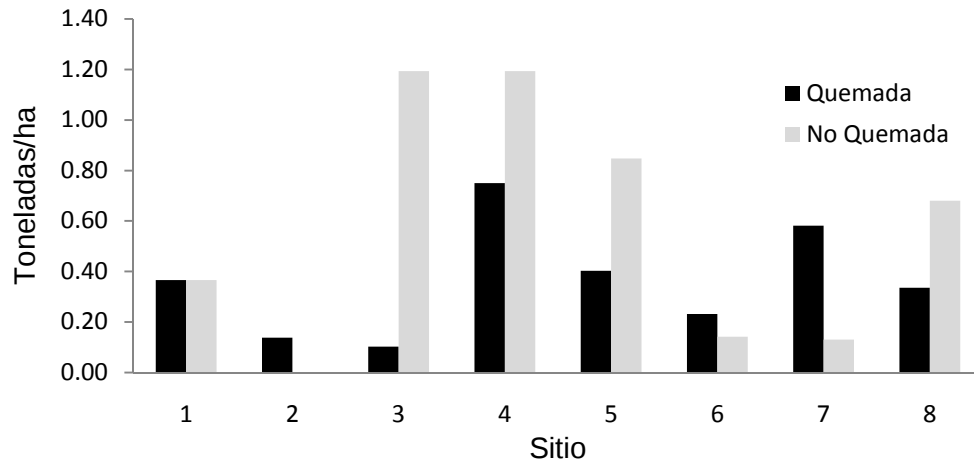


Figura 42. Carga promedio por sitio y condición para herbáceas.

La cantidad promedio de herbáceas en la condición quemada es de 0.36 ± 0.57 ton/ha, mientras que en la zona no quemada es de 0.22 ± 0.48 ton/ha (Figura 43), por lo que se dice que no hay diferencia significativa entre tratamientos ($p = 0.4050$).

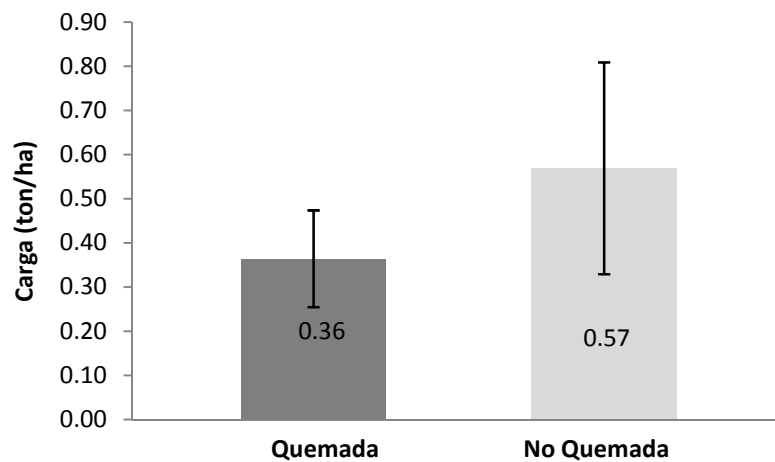


Figura 43. Carga promedio por condición para herbáceas.

Martínez *et al.* (2008), mencionan que el uso del fuego mediante quemas prescritas de baja intensidad promueve la diversidad y riqueza de especies en el sotobosque de *P. hartwegii*, sin embargo en la zona se presentaron incendios de alta intensidad lo que sugiere una muerte del banco de semillas, repercutiendo en la carga de este combustible.

9.5.6. RENVUEVO

El renuevo estuvo presente de manera importante en el área quemada, con un máximo de 0.09 ton/ha el promedio de altura fue de 6.11 cm con una cobertura de 1.4%, mientras que en el área quemada su presencia fue casi nula encontrándose solo en un sitio con 0.01 ton/ha con una altura promedio de 5 cm y una cobertura de 1% (Figura 44).

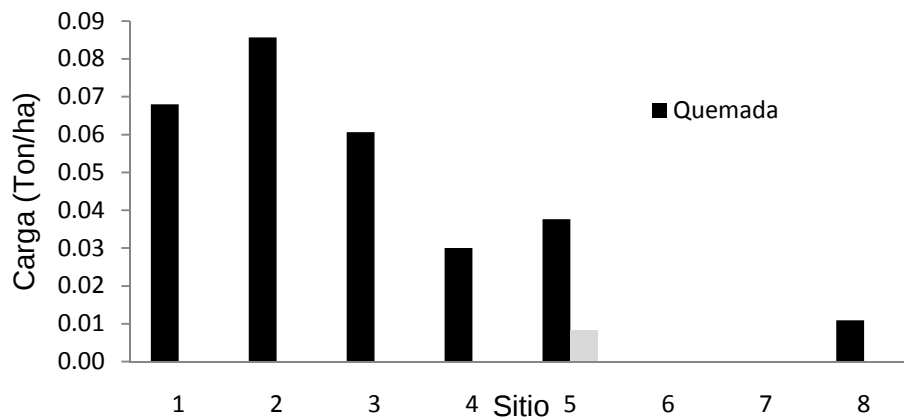


Figura 44. Carga promedio por sitio y condición para renuevo.

La cantidad promedio del renuevo en la condición quemada es de 0.37 ± 0.32 ton/ha, mientras que en la zona no quemada es de 0.001 ± 0.003 ton/ha (Figura 43). Con el experimento se demostró que hay una diferencia significativa entre las cargas de promedio del renuevo en los sitios de ambas condiciones ($p=0.0010$).

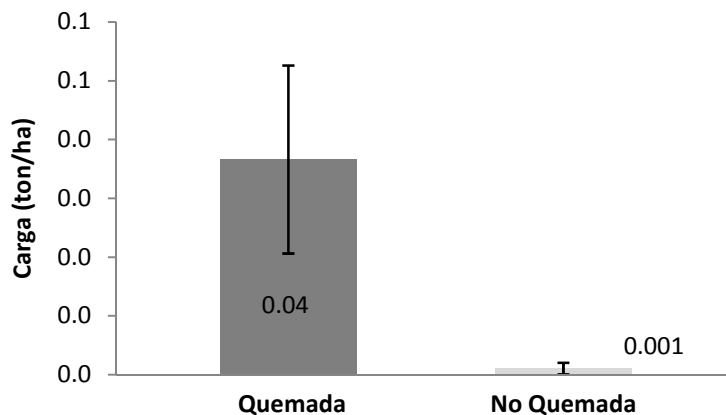


Figura 45. Carga promedio por condición para el renuevo.

En general la carga de combustibles forestales por condición fue mayor en el área no quemada, excepto para este combustible, esto se debe a que los incendios periódicos en un bosque de encino de clima templado favorecen la presencia y dominancia de especies de *Quercus* (Zavala, 2000), siendo está considerada como “especie rebrotadora”, que cuyas poblaciones son capaces de sobrevivir y crecer tras un incendio (Lloret, 2004).

9.5.7. ARBOLADO

Para el arbolado en el área quemada la carga mínima fue de 0.51 ton/ha un valor máximo de 3.57 ton/ha, para la no quemada el valor mínimo fue 7.67, mientras que el máximo alcanzó 16.48 ton/ha (Figura 46).

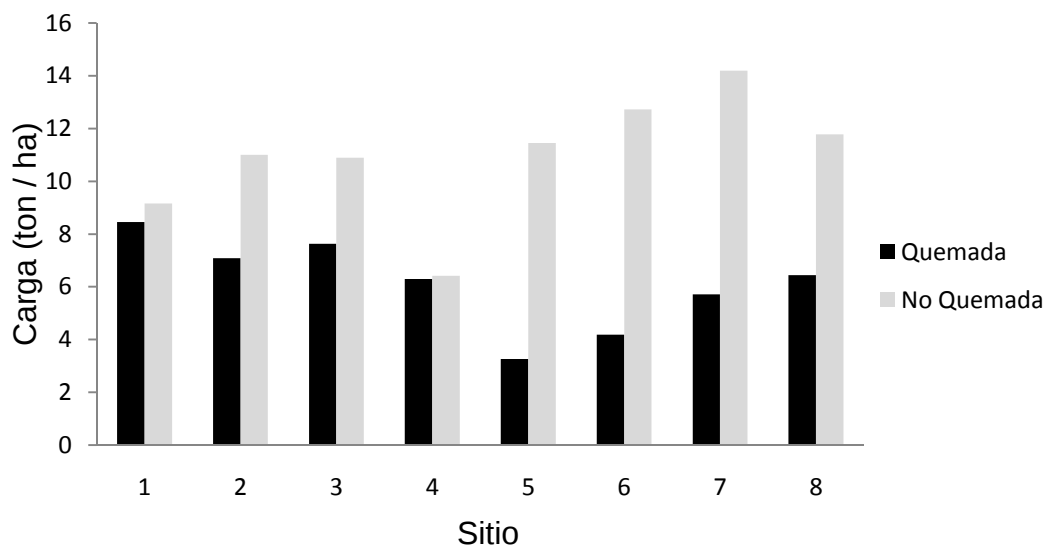


Figura 46.Carga promedio por sitio y condición para arbolado.

Las cargas promedio para este combustible fueron de 1.10 ton/ha para el área quemada, mientras que en el área no quemada 3.21 ton/ha. El valor calculado de $p=0.9676$, lo que muestra que los datos utilizados muestran diferencias significativas entre las condiciones (Figura 47).

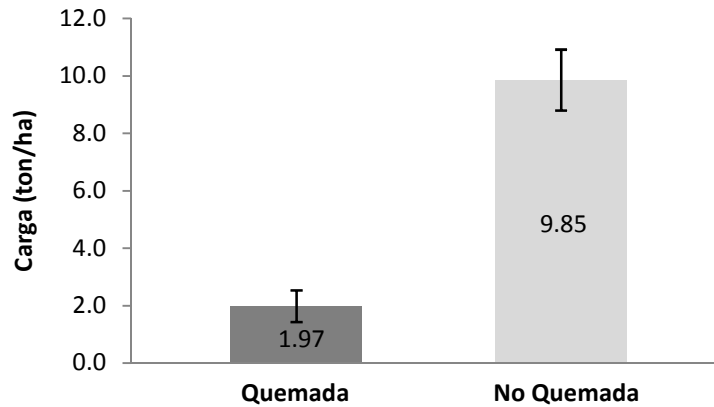


Figura 47. Carga promedio por condición para el arbolado.

Acorde con los datos del cuadro 12, se puede ver que existen efectos significativos del factor tratamientos ($\alpha=0.01$). Lo anterior significa que los vectores de medias correspondientes a los dos tratamientos observados (quema y no quema) son estadísticamente diferentes; es decir el vector de medias para las variables (combustibles de 1 h, 10 h, 100 h y 1000 h de tiempo de retardo) es estadísticamente diferente para la condición “quemada” que aquel que le corresponde a las mismas variables, pero bajo la condición de “no quemada”.

Como se esperaba, se encontró menor carga de combustibles en el área quemada y que está respondiera al tratamiento, es decir al incendio ocurrido. El siguiente paso fue realizar un análisis de varianza individual para cada respuesta analizada, para observar su comportamiento (Cuadro 14).

Cuadro 14. Valores-P para los estadísticos de prueba en análisis de varianza para dos tratamientos.

Estadístico	F-Valor	Pr>F
Wilk's Lambda	9.08	< 0.0001
Pillai's Trace	9.08	< 0.0001
Hotelling-Lawley Trace	9.08	< 0.0001
Roy's Greatest Root	0.08	< 0.0001

Con este análisis encontramos diferencias significativas por efecto de los tratamientos, excepto para capa de fermentación y hojarasca, debido a la rápida reposición de los mismos en el bosque (Cuadro 15).

Cuadro 15. Valores-P para el análisis de varianza individual con dos tratamientos.

Variable Respuesta	Valor-P
Capa de Fermentación	< 0.0001
Hojarasca	0.0004
Herbáceas	0.4050
Arbustos	0.9187
Renuevo	0.0010
1	0.0163
10	0.0050
100	0.0016

9.6. DINÁMICA DE COMBUSTIBLES

La dinámica de combustibles finos incluida en esta sección se conforma por capa de hojarasca y capa de fermentación encontradas en el área, las carga media total fue de 3.44 ton/ha para el área quemada y 9.97 ton/ha para el área no quemada, a continuación se hace referencia a resultados encontrados por otros autores en diferentes ecosistemas.

Correa (1981), reporto para bosques en Xalapa, Veracruz una producción de 9.2 ± 2.5 ton/ha/año del cual el 66% lo aportaron hojas, el 15.4 % ramas , el 12.6 % organos reproductivos y la fracción restante a heces fecales y corteza de árbol.

Martínez (1980), menciona que producción anual de hojarasca varia entre 9 y 15 ton/ha/año. En bosques templados entre 4 y 8 ton/ha/año, en bosques fríos de 1 a 6 ton/ha/año.

Návar y Jurado (2009), mencionan en un estudio realizado en Nuevo León que la productividad de hojarasca promedio para bosques de *Pinus pseudostrobus*

es de $3.42 \pm 0.92 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que para *Quercus* spp. presentaron una productividad promedio $3.01 \pm 1.39 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, en contraste Johnson y Risser (1974), reportan una producción total promedio de 5.4 ton/ha en bosques de *Quercus stellata* y *Quercus marilandica*, en Oklahoma.

En Nigeria se realizó un estudio 14 años después de que un incendio superficial destruyó el bosque, reportándose una producción media total de hojarasca de 12.5 ton/ha/año, 8.2 ton/ha de hojas, 2.8 ton/ha de ramas <3.1 cm diámetro, 0.9 ton/ha de partes reproductivas: frutos y flores y 0.6 ton/ha de varios materiales en el área quemada, y una producción media total de 9.9 ton/ha/año, 6.3 ton/ha de hojas, 1.9 ton/ha de ramas <3.1 cm diámetro, 1.1 ton/ha de partes reproductivas y 0.6 ton/ha de varios materiales en el área no quemada (Odiwe y Muoghalu 2003).

Los resultados de estudios anteriores nos muestran que la producción de hojarasca suele ser diferente en cada ecosistema, Martínez (1980) refiere que la caída anual de hojarasca decrece progresivamente con la latitud.

Esta cantidad de hojarasca producida en dichos ecosistemas repercutirá directamente en las tasas de descomposición, para este caso en la de los combustibles forestales finos, en el bosque de esta investigación las tasas de descomposición fueron; para el área no quemada obtuvo un promedio contenido de humedad de 74.8% para el año 2009 y para el año 2010 un 46.45%. La tasa de descomposición ($\bar{X} = 0.383$) varió de 0.322 a 0.494, mientras que el tiempo de retorno tiene un promedio de 2.682 años, con un mínimo y máximo de 2.02 a 3.10 años.

En el área quemada el promedio de contenido de humedad para el año 2009 fue de 105.8%, para el 2010 de 269.56%. La tasa de descomposición (K) va de 0.375 a 0.778 promediando 0.532, mientras el periodo de retorno de 1.285 a 2.667 años, con un promedio de 1.981 años.

En el cuadro 16, se muestran los pesos húmedos y pesos secos para cada una de las tres muestras por condición. Estas muestras fueron traídas de la zona de estudio en octubre del 2010, es decir en la primer visita de campo.

Cuadro 16. Características de muestras traídas del campo.

Condición	Peso húmedo	Peso seco	Contenido humedad %	Contenido humedad $\bar{X}$	Factor de humedad
No quemada	29.46	17.6	67.38	74.80	1.748
	24.79	14.2	74.57		
	33.39	18.3	82.45		
Quemada	18.6	8.94	108.05	105.81	2.058
	28.07	13.1	114.27		
	17.13	8.78	95.10		

En la primera columna puede verse que la condición en la que fueron dejadas las muestras, en la segunda el peso húmedo obtenido en campo, después el peso seco obtenido en el laboratorio luego de un proceso de secado, el porcentaje de humedad calculado, la humedad promedio para condición y el factor de humedad.

Para el área no quemada el porcentaje promedio de contenido de humedad fue de 74.85%, mientras que para el área quemada recientemente fue de 105.81%.

El factor de humedad se utilizó para construir los siguientes cuadros, donde se aprecia para el área quemada y no quemada, respectivamente, el número de muestra, el peso húmedo obtenido en campo en octubre del 2009, el peso seco obtenido con la división del peso húmedo de octubre del 2009 entre el factor para la condición (1.748 o 2.058 según sea el caso), luego el peso húmedo y peso seco para noviembre del 2010, la tasa de descomposición (K) calculada con el peso seco del 2009 y el 2010 y finalmente el tiempo de retorno (TRE) Cuadros 17 y 18:

Cuadro 17. Obtención de tasa de descomposición (K) y tiempo de retorno (TRE) en el área no quemada.

No quemada						
Muestra	Peso húmedo 2009 (g)	Peso Seco 2009 (g)	Peso Húmedo 2010 (g)	Peso Seco 2010 (g)	K	TRE (años)
1	24.66	14.10	10.39	9.14	0.352	2.840
2	22.2	12.70	10.6	7.19	0.434	2.305
3	24.29	13.89	9.36	8.14	0.414	2.414
4	30	17.16	21.6	10.53	0.386	2.588
5	38.99	22.30	19.87	16.02	0.282	3.549
6	30.3	17.33	11.25	8.77	0.494	2.024
7	24.19	13.83	-	-	-	-
8	23.14	13.23	12.74	7.58	0.427	2.340
9	27.48	15.72	21.16	10.43	0.337	2.971
10	19.73	11.28	8.69	7.65	0.322	3.103
$\bar{X}$	26.50	15.15	12.57	8.55	0.34	2.41
S	5.51	3.15	6.69	3.95	0.14	0.96

Cuadro 18. Obtención de Tasa de Descomposición (K) y tiempo de retorno (TRE) en área quemada.

Quemada						
Muestra	Peso húmedo 2009 (g)	Peso Seco 2009 (g)	Peso Húmedo 2010 (g)	Peso Seco 2010 (g)	K	TRE (años)
1	19.03	9.24	10.86	5.78	0.375	2.667
2	19.47	9.46	18	4.79	0.494	2.026
3	17.84	8.66	16.1	4.78	0.449	2.229
4	18.63	9.05	-	-	-	-
5	22.66	11.01	18.14	4.7	0.573	1.745
6	13.87	6.74	9.83	2.38	0.647	1.546
7	17.06	8.290	15.66	5.1	0.385	2.599
8	20.23	9.830	19.56	5.06	0.485	2.061
9	27.44	13.333	17.09	2.96	0.778	1.285
10	18.77	9.121	12.98	3.65	0.600	1.667
$\bar{X}$	19.50	9.47	13.82	3.92	0.48	1.78
S	3.58	1.74	5.82	1.73	0.21	0.77

Las muestras número 7 para el área no quemada y la número 4 para el área Quemada, no fueron encontradas debido a un error de colocación ya que en algunos sitios se dejaron un poco más lejos de la curva de nivel por cuestiones topográficas haciendo más difícil su recuperación.

Como vimos anteriormente la tasa de descomposición de la materia orgánica depende de varios factores. Entre ellos, destacan la temperatura, la humedad, las características químicas del material, la cantidad de micro y macro fauna y el tipo de suelo (Waring y Schlessinger, 1985).

Respecto a la temperatura, en las áreas más cálidas tiende a ser más rápida la descomposición, un ejemplo de la importancia de la temperatura en la descomposición, es la mayor velocidad con que ésta se presenta en los trópicos. Por ejemplo, Barajas (1996) encontró que la hojarasca de *Ficus yoponensis*, en 20 días perdió 70% de su masa original. De manera similar Álvarez (1984) reporta un tiempo de 3 meses para la desaparición de la hojarasca por el proceso de descomposición en la selva alta perennifolia en los Tuxtlas. En cambio Nuñez (1998) para el desierto Sonorense reporta pérdidas del 50 al 90% de descomposición de hojarasca en los primeros 6 meses, en contraste en el presente estudio se encontró que la descomposición de hojarasca en la condición no quemada tardaría casi tres años (2.682), indicando que al haber menor temperatura el proceso de descomposición es más lento.

La temperatura también puede explicar la tasa de descomposición más rápida en el área quemada ($k=0.532$), ya que en las áreas incendiadas, con los colores negros de las cenizas, absorben más radiación infrarroja, más calor, por lo menos durante las horas con sol, lo cual puede contribuir a la actividad microbiana y a una mayor descomposición, un resultado similar es mencionado por Odiwe y Muoghalu (2003), refieren que las mayores tasas de descomposición (k) se encontraron en el área quemada con 1.3 en la carga total, 2.1 en hojas, 0.7 en ramas menores a 3.1 cm diámetro, 4.5 en estructuras reproductivas y 0.5 en varios materiales, mientras que en el área no quemada hace 14 años se encontró una tasa de descomposición (k) menor con 1.2 en la carga total, 1.8 en hojas, 0.7 en ramas menores a 3.1 cm diámetro, 2.8 en estructuras reproductivas y 0.4 en varios materiales.

Connor (2004) registró una tendencia similar para bosque en Carolina del Sur, de pino-encino donde la tasa de descomposición de la hojarasca en rodales quemados fue de 0.088, en rodales de control fue de 0.093 y en rodales de entresaca 0.077

Si bien la temperatura es un factor importante no podría interactuar sola en la mayoría de estudios de descomposición de hojarasca se asocia fuertemente a la humedad, en los resultados en este trabajo arrojaron una mayor tasa de descomposición ($k=0.532$) en el área quemada con respecto a la no quemada ($k= 0.383$), relacionándose con las condiciones más húmedas que se tienen en la misma, pues el promedio de contenido de humedad en combustibles finos determinado en el 2009, arrojó 105% y 76% para el sitio afectado por el fuego y para el control, respectivamente.

En este contexto, Gallardo y Pino (1988), estudiaron dos sitios con clima y suelo bien diferenciados encontrando tasas de descomposición dos veces más altas en el ecosistema con mayor precipitación en *Quercus suber* y *Fraxinus angustifolia* y *Salix atrocinerea*, concluyendo al factor humedad como el factor más importante, aun sobre el efecto de la temperatura en la descomposición de la hojarasca.

A su vez Villegas (2008), observo en cacaotales de Bolivia una disminución en el peso remanente a partir del día 84 en la época seca, mientras que en la época húmeda este peso llego a ser igual o inferior a los 113 días, asociado a la conservación de humedad por algunas especies, manteniendo así la actividad de la biota del suelo y su contribución en el proceso de descomposición.

Huang *et al.* (2007), para bosques de latifoliadas en China mencionan que la hojarasca tiende a descomponerse rápidamente en los primeros 6 meses, habiendo una mayor tasa de descomposición en verano cuando la temperatura y la humedad propiciaban la actividad microbiana, contrastando los resultados encontrados en el bosque templado de este trabajo, que refiere que el tiempo

de descomposición de la hojarasca está entre 1.98 años en el área quemada y 2.682 años en el área no quemada.

En conjunto la temperatura y la humedad son un soporte para la biota encargada de la descomposición, sin embargo puede haber diferencia en la velocidad de este proceso debido a las propiedades físicas y químicas de las especies, Villegas (2008), menciona que algunas especies se descomponen más rápido que bajo condiciones húmedas, mientras que otras lo hacen en época seca, la variación se liga a la capacidad de retención de humedad, la consistencia física y las características químicas de las hojas.

Arango (2006), por su parte encontró tasas de descomposición directamente relacionadas a la dureza de las especies que estudio; *Verbesina virgata* con una dureza de $3333 \pm 410 \text{ kg F/cm}^2$, *D. coccínea* de $22873 \pm 457 \text{ kgF/cm}^2$, *Buddleia cordata* con $1216 \pm 92 \text{ kg F/cm}^2$, reflejándose el mismo orden para la tasa de descomposición.

En China la una tasa de descomposición para especies de hoja caduca como; *Castanea mollissima*, *Quercus fabri* y *Liquidambar formosana* fue de $k=2.45$, para especies perennes latifoliadas con vida útil de la hoja $<1,5$ años como; *Elaeocarpus decipiens*, *Vaccinium mandarinorum*, *Castanopsis sclerophylla* de $k=1.33$ y para especies perennes latifoliadas con vida útil de la hoja $>1,5$ años; *Neolitsea aurata* var. *chekiangensis*, *Photinia glabra*, *Meliosma oldhamii*) de $k=2.30$ (Huang *et al.*, 2007).

Otra observación referente a las características de la hojarasca es la de Flores (2001), que reportó diferentes respuestas al agua en hojarasca de eucalipto, pino y encino, la primera debido a su superficie plana y forma lisa incrementaba la velocidad de escurrimiento, las hojas de pino por su forma acicular tendía a represarse en la hojarasca y para las hojas de encino el agua permanecía en forma de gotas debido a su rugosidad, situación que se vio reflejada en la

colonización de descomponedores (bacterias, hongos, actinomicetos y celulíticos), habiendo mayor población en las hojas de encino, seguida de la de pino y finalmente la de eucalipto.

Otra posible causa de importantes pérdidas de peso en el material en descomposición se debe al proceso de intemperización como, pues se cree que durante la época seca del año las hojas superficiales del mantillo se desecan de tal forma que la acción abrasiva del viento, provoca que estas se fracturen y rompan en los que se favorecerá el desarrollo de poblaciones que se alimentaran de este material (Martínez, 1980), correspondiendo a que en el área quemada se encontró menor cantidad de hojarasca y mantillo por lo que las muestras quedaron mayormente expuestas, siendo intemperizadas con más facilidad.

Finalmente, para comparar la tasa de descomposición en ambas condiciones se realizó una prueba de t en el programa SAS considerando normalidad en los datos, en la que se comparo el tiempo de retorno (TRE). Se obtuvo un $Pr>F$ 0.8593 indicando varianzas no diferentes y un valor de $Pr>|t|$ t de 0.0016, que indica que las medias no son iguales, debido a un efecto de tratamiento (Cuadro 19).

Cuadro 19. Comparación de tasa de descomposición de combustibles finos entre tratamientos.

Variable	Método	Valor de t	$Pr> t $
K	Pooled	3.79	0.0016
K	Satterthwaite	3.83	0.0016

X. CONCLUSIONES GENERALES

En general caracterización de combustibles estuvo definida por el fuego, guardando una estrecha relación de cargas menores en la condición de quemada, previniendo incendios desastrosos y de mayor intensidad en la zona posteriormente.

Es de mencionar que la capacidad de rebrotes y regeneración de la especies en este bosque nos ayudan a comprender la función ecológica del fuego, para el mantenimiento en los ecosistemas.

Otra ventaja del incendio es la rápida tasa de descomposición de los combustibles finos en el área quemada, reduciendo la cantidad de combustibles de este tipo en otros incendios, además de contribuir al mejor reciclado de nutrientes.

La comprensión del funcionamiento de los combustibles en los ecosistemas del país se ha enfocado principalmente a la estimación de cargas, mientras el estudio de las tasas descomposición de hojarasca se ha hecho con fines biológicos, lo que representa algunos vacíos en la interacción del fuego, combustibles forestales y la tasa de descomposición, abriendo la posibilidad a nuevas investigaciones.

XI. LITERATURA CITADA

Almonte H., F. 1992. Estudio de manejo integral forestal del Ejido Llano Grande Chignahuapan, Puebla. Memoria de experiencia profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.

Álvarez, S., F. J. 1984. Dinámica de la hojarasca en una selva alta perennifolia: los Tuxtlas, Veracruz. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 147 p.

Arango G., A. 2006. Heterogeneidad espacial y dinámica de la descomposición de hojarasca de cuatro especies abundantes en la Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 67 p.

Ayala C., F. J. y Cubillo N., S. 2002. Funciones ecológicas, económicas y evolutivas de los desastres y calamidades naturales. In: Ayala, C., F. J. y Olcina, C., J. Riesgos Naturales. Ariel (eds.). Barcelona, España. pp 89-97.

Barajas, G., M. G. 1996. Influencia de la meso y macrofauna en la descomposición de la fracción foliar de la hojarasca de especies arbóreas en una selva húmeda tropical. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 102 p.

Barton, M., A. 2001. Intense wildfire in southeastern Arizona: transformation of a Madrean oak–pine forest to oak woodland. *Forest Ecology and Management* 165: 205-212.

Bosco, I., J., Blanco, J.A. y Castillo, F. J. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. In: Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 479-506.

Brown, J. K. 1974. Handbook for inventorying downed woody material. USDA Forest Service. General Technical Report INT – 16. Utah, USA. 24 p.

Carnevale, N. J. y Lewis, J. P. 2000. Litterfall and organic matter decomposition in a seasonal forest of the eastern Chaco (Argentina). *Revista de biología tropical*. 49(1). 203-212 p.

Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., Williams, D. 1983. Fire in Forestry (Vol. 1): Fire behavior and effects. John Wiley & Sons, Inc. Publisher. Fire & Atmosph. Sci. Res., USDA For. Serv., Washington, DC, USA. pp. 129-170; 255-291.

CONAFOR, 2008. Reporta inédito características del incendio en Chignahuapan, Puebla.

CONAFOR. 2006. Los incendios forestales en México 2005. Comisión Nacional Forestal. Jalisco, México. 150 p.

CONAFOR. 2010. Combate de Incendios: Campaña Nacional. Comisión Nacional Forestal. <http://www.conafor.gob.mx>. 19/06/2010.

Connor, K. F. 2004. Proceedings of the 12th biennial southern silvicultural research conference. Gen. Tech. Rep. SRS-71. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 594 p.

Conover, W., J., e Iman, R., L (1981). Rank transformations as a bridge between parametric and nonparametric statistics. *The American Statistician*, 35(3): 124-129.

Correa P., C. 1981. Cuantificación de la producción de hojarasca en un bosque caducifolio de Xalapa, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 126 p.

Encina D., J. A., Zárate L., A., Castellón E., E., Valdés R., J y Villarreal Q., J. A. 2009. Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botánica Mexicana*. Instituto de Ecología. Universidad del Estado de México. México. 86: 71-108.

Estrada C., I. y Ángeles R., E. 2007. Evaluación de combustibles forestales en el Parque Nacional "El Chico", Hidalgo. 4th International Wildland Fire Conference. Sevilla, España. 19 p.

Flores, G., J. G. 2004. Simulación del comportamiento del fuego con base en la estimación geoestadística de la variación espacial de combustibles. In: Villers, R., L. y López, B., J. 2004. Incendios Forestales en México. Métodos de evaluación. Universidad Nacional Autónoma de México. pp 150.

Fuentes S., M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas, de importancia en la construcción. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 4(1): 221-229.

Gallardo, A. y Pino, J. 1988. Importancia del medio físico en la descomposición de la hoja de especies arbóreas. *Lagascalia* 15: 541-547 p.

Guillermo, J., Castillo, E. Pedernera, P. 2003. Modelación de combustibles Laboratorio de Incendios Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Chile. 17 p.

Hernández, H., E. Aspectos morfométricos y dinámica de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de *Pinus spp* de la región de El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico del Salto. Durango, México. 85 p.

Hernández, R., R, y Ramírez, M., U. 2010. Evaluación del material combustible en la Estación Experimental Zoquiapan. Tesis Profesional Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.

Hernández, U., I, Hernández, A., J.A., Rodríguez, A., B. Fleitas, C., Y., Rodríguez, R., R. Y Martínez, B., W. 2010. Impacto del material combustible en el comportamiento del fuego en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet var. *Caribaea* en la zona de Cajálbana, Cuba. Revista Forestal Baracoa 29 (1): 59-67.

Huang, J., Wang, X., Yan, E. 2007. Leaf nutrient concentration, nutrient resorption and litter decomposition in an evergreen broad-leaved forest in eastern China. Forest Ecology and Management. 239: 150–158 p.

INEGI. 2008. Anuario Estadístico Puebla. Tomó I, II, III. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Aguascalientes, México. 1815 p.

INIFAP. 2006. Manual para el inventario de combustibles forestales. Sitios de muestreo para el modelaje de combustibles forestales. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. (SIMMCOF). 40 p.

Jardel P., J. E. 2006. Curso Internacional "Métodos de Evaluación y Manejo de Combustibles Forestales". Comunidad de aprendizaje de Manejo del Fuego (CAMAFU). 40 p.

Johnson, F., L. y Risser, P., G. 1974. biomass, annual net primary production and dynamics of six mineral elements in a post oak-blackjack oak forest. Ecology 55, 1246; 1258 p.

Lloret, F. 2004. Régimen de incendios y regeneración. In: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. pp. 101-126.

Márquez, L. M. A., E. Jurado Y C. López G. 2005. Efecto del fuego en el establecimiento de *Arctostaphylos pungens* Hbk. en ecosistemas templados sub-húmedos de Durango, México. Madera y Bosques 2 (11): 35-44.

Martínez, Y., A. 1980. Tasas de descomposición de materia orgánica foliar de especies arbóreas de selvas en clima estacional. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.. 126 p.

Myers L., R. 2006. Convivir con el fuego; Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. The Nature Conservancy. 36 p.

Nájera L., J. A. y Hernández, E. H. 2007. Estimación de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de la región de El Salto, Durango. Tesis de Ingeniería. Instituto Tecnológico de El Salto. 4 p.

Nájera, D., A., Cal, J.A., Trinidad, M., Ramos, R., M. P. 2006. Uso del fuego en el manejo de combustibles forestales en la Sierra Zapalinamé, Coahuila, México. 19 p.

Návar, C., J. de J. y Jurado, Y., E. 2009. Productividad foliar y radicular en ecosistemas forestales del Noreste de México. Ciencia forestal en México. 34 n.106.

Núñez, Q., S. 1998. Producción de hojarasca, dinámica del mantillo, descomposición foliar y potencial microbiano del suelo, en tres comunidades contrastantes del desierto sonorense. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 102 p.

Odiwe, A.I. y Muoghalu, J.I. 2003. Litterfall dynamics and forest floor litter as influenced by fire in a secondary lowland rain forest in Nigeria. Tropical Ecology 44(2): 243-251.

Ortega P., N. 1990. Evaluación de áreas de regeneración de pino en la región Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.

Patiño, A., M. C. 1990. Variación espacial y temporal de la capa de hojarasca (mantillo) en una selva baja caducifolia en Chamela, Jal., México. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.. 78 p.

Pyne, S. J., Andrews, P. L and Laven, R. D.. 1996. Introduction to Wildland Fire. 2nd ed. J. Wiley. New York. 769 p.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

Rocha, L., A. G. y Ramírez M., N. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. Sociedad Botánica de México, A.C. México 84: 1-12 p.

Rodríguez T., D. A. 1996. Incendios forestales. Mundi Prensa-UACH-INIFAP. México, DF. 630 p.

Rodríguez T., D. A. and Fulé P, Z. 2003. Fire ecology of Mexican pines and fire management proposal. *Int. J. Wildland Fire* 12: 23-37.

Rodríguez, T., D. A, Rodríguez, A., M., Fernández S., F. S. J. Pyne. 2002. *Educación e Incendios Forestales*. 2^a ed. Mundi Prensa. México, D. F. 201 p.

Rzedowski, J. 1986. *Vegetación de México*. Ed. Limusa 432 p.

Sánchez C., J. y Zerecero L., G. 1983. Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. Nota Divulgativa Número 9. CIFONOR – INIF, SFF. SARH. México. 11 p.

Sánchez, R., G. 1989. Producción de hojarasca en una selva húmeda tropical : vegetación primaria y secundaria. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.. 78 p.

Sánchez, S., I. 2010. Producción de hojarasca y descomposición de materia orgánica de cuatro especies arbóreas de selva baja caducifolia en una plantación de Zacatepec, Morelos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F.. 80 p.

SAS/STAT ® Software: Changes and Enhancements through Release 6.12, Cary, NC:SAS. Insitute Inc., 1997.

Shlisky, A., Waugh, J., González, P., González, M., Manta, M., Santoso, H., Alvarado, E., Ainuddin Nuruddin, A., Rodríguez, T., D. A., Swaty, R., Schmidt, D., Kaufmann, M., Myers, R., Alencar, A., Kearns, F., Johnson, D., Smith, J., Zollner, D. y Fulks. W. 2007. El Fuego, estrategias para la conservación global de la biodiversidad. Informe Técnico de la Iniciativa Global para el Manejo del Fuego. The Nature Conservancy. Arlington, VA. 28p.

The Nature Conservancy (TNC). 2010. Northern Shawangunk Ridge Fire Management Plan. Interagency Fire Management Plan for Minnewaska State Park preserve, Sam's point preserve, Mohonk preserve and Witch's Holes State Forest. 165 p.

Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. 583 p.

Vetaas, O., R. 2000. The effect of environmental factors on the regeneration of *Quercus semecarpifolia* Sm. in central Himalayan, Nepal. *Plant Ecology* (146): 137- 144 p.

Waring, R.H. and W.H. Schlesinger. 1985. *Forest Ecosystems: Concepts and Management*. Academic Press, San Diego. 338 p.

Wong G., J. C. y Villers R., M. de L. 2007. Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, (62): 87-103.

Zavala, C., F. 2000. El fuego y la presencia de encinos. Revista *Ciencia Ergosum*. (7) 3. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México. 269-276 p.

ANEXO I

ANEXO 1.1. INVENTARIO DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Fecha: _____ Sitio no.: _____ Estado: _____ Municipio: _____ Región: _____

Localidad (paraje): _____ Predio: _____ Altitud: _____ msnm

Lat. N _____ Long. W _____ UTM: 14Q _____ , _____

Posición Topográfica: Fondo de valle o depresión _____ Llanura _____ Pie de monte _____ Ladera: B M A Meseta _____

Exposición: N S E W NE NW SE SW

Exposición:

Número de sitio	Pendiente %	Número de intersecciones			Material de diámetro > 7.5 cm Ø						Profundidad Materia Orgánica (cm)				Altura Material Combustible (m)		
		0 - .6Øcm	.6 - 2.5Ø cm	2.5 - 7.5Ø cm	Bueno	Bueno	Bueno	Podrido	Podrido	Podrido	1°	2°	3°	4°	1°	2°	3°

Continuidad combustibles: horizontal _____ vertical _____ Arbolado muerto: Tirado _____ En pie _____

Observaciones: _____

ANEXO 1.2. INVENTARIO FORESTAL

Tipo de Vegetación: _____
 Especies: _____
 Incendio: SUBT SUP COPA Observ.: _____
 Agentes de disturbio: GAN PLA ENF

[illegible]

	Número de Brinzales
--	---------------------

ANEXO II

ANEXO 2.1. PROGRAMA SAS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA MULTIVARIADO BASADO EN LA TRANSFORMACIÓN DE RANGOS.

```
data probarangos;
input y1-y4 trat;
cards;
```

1	10	100	1000f	1000p	Tratamiento
1.12	0.16	0.00	0.00	0.00	1
1.12	0.16	0.00	0.00	0.00	1
0.32	0.16	0.00	0.00	0.00	1
0.96	0.48	0.00	1.11	0.00	1
0.48	0.16	0.00	0.00	0.00	1
1.92	0.48	5.08	0.00	0.00	1
2.88	0.48	0.00	0.00	0.00	1
0.80	0.32	0.00	0.00	0.00	1
2.40	0.48	5.08	0.00	0.00	1
0.32	0.16	5.08	0.00	0.00	1
0.24	0.00	3.03	0.60	10.75	1
0.64	0.16	0.08	0.00	0.62	1
1.16	0.17	0.00	0.00	0.48	1
0.17	0.00	0.00	0.48	6.75	1
0.17	0.17	0.00	0.77	0.00	1
0.83	0.50	0.00	0.00	0.00	1
0.66	0.17	0.00	0.70	0.00	1
1.00	0.50	0.00	0.00	0.00	1
0.35	0.17	0.00	0.00	0.00	1
0.69	0.17	0.00	0.00	0.00	1
0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	1
0.16	0.16	0.00	0.94	0.00	1
0.32	0.32	0.00	0.00	0.00	1
1.60	0.80	0.00	0.00	0.00	1
8.01	2.24	15.23	0.00	0.00	0
1.92	1.60	6.06	0.00	96.79	0
3.68	0.32	10.15	0.00	0.00	0
2.72	0.48	5.08	0.00	0.00	0
1.28	0.48	0.00	0.00	4.78	0
0.48	1.44	10.15	0.00	16.07	0
0.64	0.32	10.15	0.00	0.00	0
4.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0
0.96	0.48	10.15	0.00	0.00	0
2.08	0.32	0.00	0.00	0.00	0
0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0

0.48	1.12	0.00	0.00	2.69	0
1.76	0.64	5.08	0.00	20.07	0
0.00	0.32	0.00	0.00	13.28	0
1.28	0.64	5.08	0.00	0.00	0
1.82	0.30	4.79	0.00	0.00	0
1.51	0.91	2.86	0.00	0.00	0
0.30	0.61	9.59	0.00	0.00	0
0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0
0.30	0.45	5.72	0.00	26.36	0
1.21	0.91	0.00	0.00	0.00	0
1.44	0.32	0.00	0.00	0.00	0
0.96	0.80	5.08	0.00	0.00	0

;

```
proc rank;
var y1 y2 y3 y4;
run;
```

```
proc glm;
class trat;
model y1 y2 y3 y4=trat;
manova h=trat;
```

ANEXO 2.2. PROGRAMA SAS PARA EL ANÁLISIS DE VARIANZA

MULTIVARIADO DE LAS VARIABLES (Capa de fermentación, hojarasca, herbáceas, arbustos, combustibles de 1h, 10h, 100 h y 1000 h de tiempo de retardo)

data sitios;

input capaferm hojarasca herbáceas arbustos uno diez cien arbolado renuevo trat;

cards ;

0	19.3	0.2	0.8	1.1	0.2	0	61.9	0.05	0
0	4.9	0.7	0	1.1	0.2	0	119.3	0.02	0
0	1.2	0.2	0.4	0.3	0.2	0	128.6	0.12	0
0	6.3	0.1	0.2	1	0.5	0	15.1	0	0
0	7.3	0	0.1	0.5	0.2	0	90.9	0.25	0
0	7.7	0.3	0.6	1.9	0.5	5.1	63.5	0	0
0	13.6	0.2	1.2	2.9	0.5	0	35.3	0.11	0
9	2.8	0	1.8	0.8	0.3	0	58.1	0	0
9.3	6.6	0.1	0.2	2.4	0.5	5.1	129.3	0.06	0
0	3.7	0.1	1.3	0.3	0.2	5.1	233.8	0.06	0
0	5.8	0.1	0.2	0.2	0	3	139.1	0.02	0
0	9.3	2	0.1	0.6	0.2	0.1	320.2	0	0
0	2.7	0.4	0.1	1.2	0.2	0	87.7	0	0
0	2.1	0.2	0.5	0.2	0	0	97.8	0.11	0
0	4.9	0.6	0.4	0.2	0.2	0	53.9	0	0
0	4	0.1	1.2	0.8	0.5	0	77.7	0	0
0	3.9	0.5	0.2	0.7	0.2	0	83.4	0	0
0	4.6	0.1	0.8	1	0.5	0	9	0	0
0	5.2	0.7	0.8	0.3	0.2	0	115.8	0	0
0	6.6	1	0.8	0.7	0.2	0	188.2	0	0
0	5.3	0	0.4	0.2	0	0	72.4	0	0
0	6.7	0	1.2	0.2	0.2	0	180.5	0	0
0	6.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0	26.5	0.03	0
0	6.3	0.6	0.9	1.6	0.8	0	171	0	0
10.8	7.2	0.2	0	8	2.2	15.2	149	0	1
0	6.8	0.7	0	1.9	1.6	6.1	172.1	0	1
8.9	13.6	0.2	0.6	3.7	0.3	10.2	214.6	0	1
8.7	13.6	0	0.1	2.7	0.5	5.1	104.9	0	1
15.1	13.7	0	0.5	1.3	0.5	0	67.8	0	1
12.8	5.6	0	1.2	0.5	1.4	10.2	217.5	0	1
9.5	9.2	0.7	0.3	0.6	0.3	10.2	74.3	0	1
9.3	20.1	2.9	1.6	4.5	0	0	66.1	0	1
12.9	3.4	0	2.2	1	0.5	10.2	81.5	0	1
0	2.9	1	5	2.1	0.3	0	12	0	1
0	3	2	0	0.8	0	0	46.4	0	1
5.2	13.4	0.6	0	0.5	1.1	0	18	0	1
0	15.4	1	1.2	1.8	0.6	5.1	59.1	0.025	1
0	3.9	1.3	1.3	0	0.3	0	54.7	0	1
11.2	15.1	0.3	0.2	1.3	0.6	5.1	41.2	0	1
9.3	16.7	0.1	0.2	1.8	0.3	4.8	45.8	0	1
17.5	11.1	0.1	0	1.5	0.9	2.9	136.1	0	1

9	10.3	0.2	0.2	0.3	0.6	9.6	89.8	0	1
12.3	12.5	0.1	6	0.9	0	0	589	0	1
9.8	13.7	0.3	1.2	0.3	0.5	5.7	148.3	0	1
14.5	16.4	0	0	1.2	0.9	0	47.2	0	1
0	9.8	0.9	1.5	1.4	0.3	0	88.7	0	1
20	14.5	0.9	0	1	0.8	5.1	229.5	0	1
19.3	11	0.2	1.3	1.1	0	0	186.1	0	1

```

;
proc rank;
var capaferm hojarasca herbáceas arbustos uno diez cien arbolado renuevo;
run;
proc glm;
class trat;
model capaferm hojarasca herbáceas arbustos uno diez cien arbolado renuevo=trat;
manova h=trat;
run;

```