UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

División de Ciencias Forestales
Coordinación General de Estudios de Posgrado

PROPIEDADES FÍSICAS Y DINÁMICA DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Tesis de investigación

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

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

Presenta:
Juan Leyver Martínez Villa

Bajo supervisión de:
Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2016.

PROPIEDADES FÍSICAS Y DINÁMICA DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Tesis realizada por el **Ing. Juan Leyver Martínez Villa** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____

DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

CO-DIRECTOR: _____

DR. GABRIEL ARCÁNGEL RODRIGUEZ YAM

ASESORA: _____

DRA. MARÍA AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

CONTENIDO

CONTENIDO ii
LISTA DE CUADROS v
LISTA DE FIGURAS vi
DEDICATORIA vii
AGRADECIMIENTOS ix
DATOS BIOGRÁFICOS xi
Resumen General 12
Abstract 13
1. INTRODUCCIÓN GENERAL 14
1.1. Objetivos 16
1.1.1 Objetivo general 16
1.1.2 Objetivos particulares: 16
2. REVISIÓN DE LITERATURA 17
2.1 Ecología del fuego en los encinares 17
2.2 Propiedades físicas de combustibles forestales 18
2.2.1 Densidad básica 19
2.2.2 Relación superficie/volumen 19
2.2.3 Contenido de humedad 20
2.2.4 Tiempo de retardo 20
2.2.5 Carga 20
2.3 Literatura citada 21

3. INFLUENCIA DE DENSIDADES BÁSICAS Y DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE COMBUSTIBLES LEÑOSOS EN LA ESTIMACIÓN DE CARGAS 24

Resumen 24

3.1 Introducción 26

3.2 Materiales y Métodos 27

3.2.1 Carga de combustibles 28

3.2.2 Densidad básica por tiempo de retardo 33

3.2.3 Compensación por densidad básica de bibliografía 34

3.2.4 Análisis de la distribución horizontal 35

3.3 Resultados y discusión 36

3.3.1 Densidad básica de los combustibles leñosos 36

3.3.2 Variación de la carga combustibles forestales 39

3.3.3 Influencia de la distribución horizontal 40

3.4 Conclusiones 42

3.5 Literatura citada 43

4. DINÁMICA Y HUMEDAD DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN LA TEMPORADA DE INCENDIOS 46

Resumen 46

4.1 Introducción 48

4.2 Materiales y métodos 50

4.2.1 Estimación de la incorporación de los combustibles forestales 52

4.2.2 Descomposición de hojarasca y ramas 55

4.2.3 Degradación de las ramas de 100 h TR 60

4.2.4 Humedad de combustibles leñosos 61
4.2.1 Resultados y discusión 62
4.2.2 Humedad de combustibles leñosos 62
4.2.3 Incorporación de combustible forestal 63
4.2.4 Tasas de descomposición 66
4.2.5 Densidades básicas de combustibles leñosos 70
4.2.6 Dinámica de combustibles 72
4.3 Conclusiones 73
4.4 Recomendación 74
4.5 Agradecimientos 74
4.6 Literatura citada 74

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Fórmulas de Brown (1974) para estimación de cargas 31
Cuadro 2. Densidad básica reportada para las especies presentes en el encinar. 34
Cuadro 3. Densidad básica determinada por TR 37
Cuadro 4. Densidades básicas estimadas y compensadas (g cm^{-3}), y DCP usados para la estimación de cargas 39
Cuadro 5. Variación de las cargas de los combustibles leñosos (Mg ha^{-1}) por densidad empleada 40
Cuadro 6. Frecuencia de materiales interceptados en las líneas permanentes. 41
Cuadro 7. Variabilidad de carga (Mg ha^{-1}) de los materiales leñosos para un mismo sitio en la temporada seca 41
Cuadro 8. Georreferenciación de las trampas, coordenadas UTM (14Q, m). ... 53
Cuadro 9. Muestras con 1 h TR enviadas a campo 56
Cuadro 10. Muestras con 10 h TR enviadas a campo 56
Cuadro 11. Contenido de humedad (%) del material leñoso 62
Cuadro 12. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en el trimestre Noviembre-febrero. 63
Cuadro 13. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en el trimestre febrero-mayo 64
Cuadro 14. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en la temporada seca del año. 65
Cuadro 15. Tasa de descomposición de la hojarasca 67
Cuadro 16. Tasa de descomposición para materiales de 1 h y 10 h de tiempo de retardo 67
Cuadro 17. Densidades de combustibles de 100 h TR. 70
Cuadro 18. Dinámica de combustible 72
Cuadro 19. Dinámica de hojarasca por condición de ladera. 72

Cuadro 20. Dinámica de leñas finas por condición de la ladera. 73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de San Pablo Ixayoc (INEGI, 2005). 27
Figura 2. Representación gráfica del conglomerado de muestreo. 29
Figura 3. Ejemplificación del conglomerado fijo para análisis de distribución horizontal. 36
Figura 4. Panorámica de las laderas noreste y suroeste. 51
Figura 5. Trampas de hojarasca 52
Figura 6. Material combustible recolectado por las trampas. 53
Figura 7. Separación de los materiales por tipo de combustible. 54
Figura 8. Preparación de bolsas de detritos 55
Figura 9. Pesajes en fresco de hojarasca. 55
Figura 10. Obtención de peso fresco en campo. 61
Figura 11. Biomasa (Mg ha^{-1}) por clase en dos épocas 65
Figura 12. Porcentaje por tipo de material de la biomasa total incorporada en el estiaje. 66
Figura 13. Gráfica de interacción ladera-cobertura forestal 70

DEDICATORIA

A Nelly, mi motor de lucha y vida, por ser quien me impulsa a seguir viviendo y gozando de la vida, por amarme incondicionalmente, por esperarme cada vacación con la mejor sonrisa y con la alegría de verme.

A Lolita Villa, ejemplo de vida y perseverancia, mujer tlapaneca y amorosa madre.

A Rossy, Rubí, Kristal, Violeta, Luz, Omar, Manuel y Brandon: “Yo tengo tantos hermanos, que no los puedo contar, en el valle, la montaña, en la pampa y en el mar. Cada cual con sus trabajos, con sus sueños cada cual, con la esperanza delante, con los recuerdos, detrás" (de Atahualpa Yupanqui).

A Juan Martínez, mi padre.

Al pueblo de México y a mi gente Me’phaa de la montaña de Guerrero.

A Las Hermanas de María-Villa de los Niños y la Universidad Autónoma Chapingo.

A “La Maestra Pulido”, por sus más de 30 años al servicio y formación de agrónomos de Chapingo, cultura de mentes, siempre apegándose a la cultura, nunca anhelando el espectáculo. Formadora de carácter de ingenieros integrales y multiculturales, agrónoma del campo de la danza, forjadora de disciplina y pasión.

A la memoria de Mercedes Sosa “la Negra”, la voz de Latinoamérica.

NELLY, MI FLOR DE CACALOSÚCHIL

Cacalosúchil de aroma embriagadora
blanca o rosa, de belleza encantadora
adornas los cuellos de tus mandatarios,
adornas tus dioses, santos y comisarios.

Nelly, tú eres mi flor de cacalosúchil
bella y encantadora, esencia hermosa
pero débil y frágil perla preciosa
que el refulgente sol destroza.

Nelly es vida y perseverancia,
es debilidad, quebranto y sollozo,
es fuente de fortaleza y gratitud,
de luz, hermandad, unión y virtud.

Eres cacalosúchil que en monte estás,
eres cacalosúchil que a la iglesia vas,
eres cacalosúchil en manos de una mixteca,
eres cacalosúchil de mi sangre tlapaneca...

Juan L. Martínez Villa

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la vida, por los dones, virtudes y defectos que me condescienden vivir la vida y disfrutar de la ciencia.

Al pueblo de México por permitirme seguir empapándome de saberes científicos y culturales, por hacer posible culminar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para la realización de estudios de posgrado.

A mi madre, Teodora Villa, por su amor incondicional, y por su incansable apoyo moral y económico en los momentos de tribulaciones.

A mis hermanos y a mi padre por estar siempre y en todo momento conmigo.

Al M.C. León Jorge Castaño y su amada esposa Matilde, por ser ejemplo de vida y perseverancia, por alentarme a seguir haciendo las cosas con ética y profesionalismo, por amar la silvicultura y las ciencias forestales, por conocerlos y aprender de ellos.

Al Dr. Dante, por acobijarme y formarme como científico. Por su paciencia y gentileza, y por ser el ejemplo de profesionista que todo chapinguero debería ser.

Al Dr. Yam, y la Dra. Amparo, por su paciencia y dedicación hacia mí, por su respaldo en la investigación, y su amabilidad para conmigo.

A mis compañeros y amigos del Posgrado en Ciencias Forestales: Fabián Macías, Renata Calderón, René Olvera, Adriana González, Liliana Jacobo, César Ortiz, Maribel López y Sonia Jiménez, por su hermandad.

A todos los amigos que hecho durante esta corta vida.

A Azucena, Mayra, Sandra, Jesús, Mabel, Itzel, Teresa, Pamela, Valeria, Diana y Daniel; porque a pesar de los años y el cambio de vida, siempre siguen estando a mi lado, para seguir compartiendo su vida.

A Ramón Aguirre por su apoyo incondicional y desinteresado, por compartir conmigo innumerables batallas, tristezas y alegrías, durante los estudios de maestría.

A Edgardo González, Argelia Luna, Jorge Piliado, José Becerra y Antonio Vázquez Mota, por su apoyo incondicional y desinteresado durante la etapa de campo de investigación.

A Ma. de la Luz Tulia Pulido Salas por sus sabios consejos.

A Julio Márquez y al equipo de halterofilia 2014-2016, por su apoyo para seguir creciendo deportivamente.

¡GRACIAS, INFINITAMENTE GRACIAS!

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: **JUAN LEYVER MARTÍNEZ VILLA**

Fecha de nacimiento: **27 DE AGOSTO DE 1989**

Lugar de nacimiento: **Pascala del Oro, Mpio. San Luis Acatlán, Guerrero.**

CURP: **MAVJ890827HGRRLN08**

Profesión: **INGENIERO FORESTAL**

Cédula profesional: **08741261**

Desarrollo académico:

Bachillerato: **Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.**

Licenciatura**: Ingeniero Forestal en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.**

Desarrollo laboral: Profesor-investigador en la Universidad Intercultural del Estado de Guerrero, Unidad Académica Ayutla.

RESUMEN GENERAL

PROPIEDADES FÍSICAS Y DINÁMICA DE COMBUSTIBLES FORESTALES

Se evaluaron y analizaron propiedades físicas de combustibles forestales para un encinar del Estado de México. Tales propiedades son de importancia en la estimación del comportamiento del fuego. La evaluación se realizó durante la temporada seca del año, por ser el periodo de incendios forestales en el centro de México. Se estimó: i) carga de combustibles por tres enfoques; ii) densidad básica de los combustibles leñosos de acuerdo con el tiempo de retardo; iii) la humedad de los combustibles leñosos; iv) variación de los elementos leñosos en la cama de combustible; v) incorporación de los combustibles y los principales elementos que se agregan al piso forestal; y vi) la degradación de hojarasca y los combustibles leñosos de 1, 10 y 100 h de tiempo de retardo. Las densidades básicas de los materiales presentaron una tendencia decreciente a mayores tiempos de retardo: 1 h = 0.585 g cm^{-3}, 10 h = 0.478 g cm^{-3} y 100 h = 0.412 g cm^{-3}. La incorporación de material combustible fue de 40.532 Mg ha^{-1}, para hojarasca correspondió el 62.89% (25.491 Mg ha^{-1}) y para leñas el 18.76% (7.603 Mg ha^{-1}). La tasa de descomposición (*k*) durante la temporada de incendios forestales en hojarasca fue de 0.0827, en leñas de 1 h de tiempo de retardo fue de 0.0861 y en combustibles de 10 h TR fue de 0.0404. La pérdida de la carga inicial por descomposición fue de 3.04 Mg ha^{-1} en hojarasca y 0.22 Mg ha^{-1} en leñosos finos. Esta descomposición equivale a una disminución de 6.13% de la carga inicial de los combustibles leñosos, y 7.94% en hojarasca. La entrada de biomasa al piso forestal incrementó la carga acumulada en 204.98% para ramillas de 1 y 10 h TR, mientras que la hojarasca lo hizo en un 58.68%.

Palabras clave: acumulación, densidad básica, descomposición, incendios.

ABSTRACT

PHYSICAL PROPIERTIES AND DYNAMICS OF FOREST FUELS

In this work were analyzed and evaluated physical properties of forest fuels in an oak forest at the Estado de México, México. Such properties are relevant in estimations of fire behaviour. The evaluation was conducted along the forest fires season in Central Mexico. It was estimated: i) the forest fuel load in three ways; ii) the basic density of woody fuels by timelag; iii) the humidity content of woody fuels during the dry season; iv) the variation of woody fuels in the fuel bed during the dry season; v) the incorporation of forest fuels and the main types of fuels that incorporate into the fuelbed; and vi) the decomposition rate of leaf litter and 1, 10 and 100 h timelag woody fuels. The basic densities of the fuels in the study site followed a decreasing tendency: 1h = 0.585 g cm^{-3}, 10 h = 0.478 g cm^{-3}, and 100 h= 0.412 g cm^{-3}. The incorporation rate of fuels was equal to 40.532 Mg ha^{-1}, along the fire season, with 62.89% (25.491 Mg ha^{-1}) for leaf litter, and 18.76% (7.603 Mg ha^{-1}) for woody fuels. The decomposition rate (*k*) during the fire season was of 0.0827 for leaf litter, 0.0861 for 1 h timelag woody fuels, and 0.0404 for 10 h timelag woody fuels. This decomposition is equivalent to a 6.13% decrease form the initial load of woody fuels and 7.94% in litter. The entry of biomass to the forest floor increased the accumulated load in 204.98% for twigs of 1 and 10 h TR, while in the litter it was in 58.68%.

Keywords: decomposition, basic density, forest fires, forest fuel.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El rol ecológico del fuego en el funcionamiento y mantenimiento de ecosistemas, ha sido ensombrecido por los enormes desastres que ha provocado su inadecuado uso (Castillo, Pedernera, & Peña, 2003). En el siglo XX, el fuego se percibió como una amenaza a la gente y a los recursos naturales, muchos países desarrollaron programas sofisticados de prevención de incendios y crearon organizaciones para la supresión de los mismos, el resultado fue una vegetación cambiada que proveyó combustible a incendios más intensos en años excepcionalmente secos (Myers, 2006). De aquí que suprimir el fuego sin tener conocimiento de su relación con los ecosistemas no ha sido la opción adecuada, surge entonces el manejo del fuego como componente del manejo de ecosistemas (Jardel Peláez, 2010). La protección contra los incendios forestales se convirtió en una de las actividades más importantes para los países que poseen recursos forestales (Flores Garnica, Rodríguez Chávez, Meléndez Gómez, & Rosas Aceves, 2008).

En una de las definiciones sobre manejo del fuego se le refiere como el proceso de intervenciones técnicas, institucionales y comunicativas, dirigidas a lograr objetivos de conservación, aprovechamiento sustentable o restauración, a través de mantener o restaurar los regímenes de incendios, utilizar el fuego como herramienta de manejo en estructura y composición del bosque, y en prevenir o mitigar los impactos ambientales negativos de los incendios forestales (Jardel Peláez, 2010).

Durante el manejo y combate de los incendios forestales es necesario el conocimiento de las propiedades físicas de los combustibles, pues éstos aportan datos necesarios para la evaluación y modelaje del comportamiento y los efectos potenciales del fuego en los incendios forestales (Sandberg, Ottmar, & Cushon, 2001). El comportamiento del fuego puede visualizarse como todo lo que el fuego hace, es resultado de las interacciones de las características físicas y químicas

del complejo de combustibles con los diferentes componentes del complejo atmosférico y la topografía (Rodríguez Trejo, 2015).

La necesidad de entender las propiedades físicas y su relativa significancia en la combustión es esencial en la descomposición de los materiales gruesos, pues con la descomposición se experimenta cambios físicos y químicos que afectan el consumo por el fuego (Hyde, Smith, Ottmar, Alvarado, & Morgan, 2011). Los materiales en descomposición contienen una alta proporción de lignina que entra en combustión con menos facilidad (Pyne, Andrews, & Laven, 1996).

Se presentan a continuación dos capítulos que contienen la investigación de tesis de maestría “Propiedades físicas y dinámica de combustibles forestales” realizada en la vertiente del río “Los Hornos”, perteneciente a la cuenca del Río Texcoco, localizado en el Municipio de Texcoco, al oriente del Estado de México.

En el primer capítulo titulado “Influencia de densidades básicas y distribución horizontal de combustibles leñosos en la estimación de cargas”, se determinó la densidad de los combustibles leñosos por su tiempo de retardo, y se analizó la variación de los combustibles leñosos en un mismo sitio durante la temporada de incendios forestales. Los datos recabados se emplearon para estimar la carga de combustible leñosos mediante tres variantes del método de Van Wagner (1982).

El balance entre la entrada de combustibles y la descomposición heterotrófica es vital para el almacén de carbono y los ciclos de nutrientes en los bosques. Los materiales combustibles son sumideros de los mismos, pero una lenta descomposición puede provocar la acumulación de grandes cantidades de biomasa en los ecosistemas, siendo así un peligro en la temporada incendios forestales. El segundo capítulo “Dinámica y humedad de combustibles forestales en la temporada de incendios”, presenta la tasa de descomposición y la acumulación de los principales materiales combustibles durante la temporada de incendios forestales.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar y analizar las propiedades físicas de los combustibles forestales de un encinar, las cuales intervienen en la estimación del comportamiento del fuego, así como la dinámica de incorporación y descomposición de los mismos durante la temporada de incendios forestales.

1.1.2 Objetivos particulares:

a) Estimar la densidad de combustibles leñosos presentes en la cama de combustible.

b) Estimar la carga de los combustibles bajo tres variantes de estimación con el método de Van Wagner (1968): por fórmula de Brown (1974), método de Van Wagner (1982) usando densidad básica de literatura, y Van Wagner (1982) usando densidad básica estimada.

c) Analizar la disposición horizontal de los materiales leñosos durante la temporada de incendios.

d) Determinar la humedad de los combustibles leñosos durante la temporada seca del año.

e) Evaluar la dinámica de los combustibles forestales durante la temporada de incendios forestales, estimando incorporación y descomposición de principales los materiales combustibles.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Ecología del fuego en los encinares

El presente estudio se realizó en uno de los ecosistemas más importantes y extensos de México, los bosques de encinos.

Los bosques de encino o encinar son comunidades vegetales características de las zonas montañosas, junto con los pinares constituyen la mayor parte de la cubierta vegetal de áreas de clima templado y semihúmedo. Amplias extensiones de encinares se aprovechan con fines ganaderos y con el objeto de estimular la producción de brotes tiernos de plantas herbáceas y arbustivas, en muchas partes del país se acostumbra someterlos a la acción periódica del fuego. Estos incendios se producen durante el periodo más seco y caluroso del año, época en que más fácilmente se propagan y en que más falta hace el forraje para el ganado (Rzedowski, 2006).

Muchos encinares de México son ecosistemas dependientes del fuego (Rodríguez Trejo, 2014), lo que significa que gran parte de la ecofisiología de las especies que lo conforman, dependen de él para mantener su ciclo de vida y la salud del bosque. La ausencia del fuego por largos periodos (15 a 25 años, o más), ha permitido que la composición y estructura de los bosques de encino del sur de los Apalaches, cambiara a una condición donde los encinos no pueden dominar en los mejores sitios; la eliminación del fuego ha permitido la presencia de especies mésicas tanto arbustivas como arbóreas, para ocupar sitios donde los incendios fueron alguna vez más frecuentes y los encinos más dominantes (Zavala Chávez, 2000). Los encinos que conviven con el fuego son tolerantes, más que resistentes, aunque muestran características de resistencia: corteza gruesa, enraizamientos profundos, espaciamiento, follaje vivo resistente, buena poda natural, y rebrotes basales, epicórmicos y de rizomas (Rodríguez Trejo, 2014).

2.2 Propiedades físicas de combustibles forestales

Combustible forestal es todo material que puede entrar en combustión durante el paso de los incendios forestales. En el contexto ecológico, estos materiales son la materia orgánica viva o muerta que los ecólogos llama biomasa (Keane, 2015).

Los combustibles en principio son clasificados en vivos o muertos, de los cuales surgen otras clasificaciones; como por ejemplo, los combustibles muertos se clasifican en hojarasca y material leñoso, este último a su vez se clasifica en leñoso fino y leñoso grueso. Harmon et al. (1986) considera que los combustibles leñosos finos serán aquellos con diámetro menores a 2.5 cm, mayores a este diámetro se consideran combustibles leñosos gruesos; de acuerdo con la clasificación de Fosberg (1970) los primeros corresponden a combustibles de 1 y 10 h de tiempo de retardo (TR) y los segundos a 100 y 1000 h TR.

Como puede apreciarse, ciertas clasificaciones de los combustibles forestales se deben a sus propiedades físicas, debido la importancia de éstas en la combustión.

Una propiedad física es aquella característica de la materia que al ser observada o medida no altera su composición química. En los combustibles forestales, la medición de estas propiedades es de importancia en la estimación del comportamiento del fuego durante la planeación, manejo y combate de los incendios forestales; ejemplo de ellas son: disposición de los materiales combustibles (superficial, subterránea o aérea), continuidad horizontal y vertical, peso, estado de descomposición, tiempo de retardo (TR), carga, tamaño de combustible (diámetro), relación superficie/volumen (σ), compactación, contenido de humedad, densidad básica, entre otras. A continuación se describen algunas propiedades físicas de los combustibles forestales que se abordaran frecuentemente durante el desarrollo de la investigación.

2.2.1 Densidad básica

La densidad básica es la relación entre el peso seco o anhidro y su volumen. Cuanto mayor sea la densidad de los combustibles más tarda en inflamarse, pero una vez que lo hace, el desprendimiento de calor es mayor (Pyne et al., 1996). Esta propiedad es ampliamente estudiada por los tecnólogos de la madera para determinar usos potenciales de especies maderables. En los incendios forestales, la densidad básica juega un papel importante al relacionarse positivamente con la conductividad térmica (Byram, Fons, Sauer, & Arnold, 1952), consecuencia de ello, los científicos del fuego han desarrollado diversos estudios analíticos sobre esta propiedad (Brown, 1974; Sackett, 1980; Van Wagtendonk, Benedict, & Sydoriak, 1996). Sacket (1980), Adams y Owens (2001) y Müller-Using y Bartsch (2009) desarrollaron estudios sobre la densidad básica de combustibles leñosos y su relación con los niveles de descomposición. En México, Morfin-Ríos, Jardel Peláez, Alvarado Celestino, y Michel-Fuentes (2012) conjuntaron resultados de estudios relacionados con la densidad básica de combustibles forestales de distintos ecosistemas.

2.2.2 Relación superficie/volumen

La relación superficie/volumen (σ) se define como el área de la superficie de una partícula (m^2) dividida por el volumen de esa partícula (m^3) (Keane, 2015). Los combustibles con alta σ son más inflamables y más fáciles de entrar en combustión que los combustibles con baja σ (Pyne et al., 1996). La estimación de la relación superficie/volumen sentó sus bases con los estudios hechos por Brown (1970). Su importancia en el comportamiento del fuego ha sido resaltada por muchas investigaciones, pero pocos estudios se centran en su estimación. Algunas investigación de interés se pueden encontrar las hechas por y Hernando, Guijarro, y De los Santos (1995) y Fernandes y Rego (1998) en España, donde desarrollaron métodos para su estimación. En México, hay una propuesta para determinar esta propiedad en hojarasca de un encinar mexicano (Martinez Villa, 2013).

2.2.3 Contenido de humedad

El contenido de humedad (%CH), definida como la masa de agua por unidad de masa de material seco, expresado en porcentaje. Es la propiedad más dinámica de la mayoría de los tipos de combustibles forestales e influye en casi todos los procesos de incendios, especialmente en la ignición, combustión y combustión latente (Keane, 2015). Altos contenidos de humedad provocan lentas tasas de propagación del fuego (Byram et al., 1952). Esta propiedad fue analizada por Fosberg (1970) y con ella clasificó los combustibles en tiempos de retardo, después de esto desarrolló más estudios en conjunto con otros científicos del fuego. Ruiz González y Vega Hidalgo (2007) presentan una compilación sobre los distintos métodos de estimación del contenido de humedad, acompañado de un análisis comparativo de los mismos y su aplicabilidad.

2.2.4 Tiempo de retardo

El tiempo de retardo (TR) es el tiempo que tarda un combustible forestal muerto en ganar o perder, dos terceras partes de la diferencia entre su contenido de humedad inicial y su contenido de humedad de equilibrio con respecto al ambiente (Fosberg, 1970), físicamente está determinado por el diámetro o grosor de los materiales leñosos, los menores a 0.6 cm corresponden a combustibles de 1 h TR, de 0.6 a 2.5 cm a 10 h TR, de 2.5 a 7.5 cm a 100 h TR, y mayores a 7.5 cm son combustibles de 1000 h TR.

2.2.5 Carga

La carga es el peso seco de la biomasa orgánica inflamable por unidad de área, para cualquier componente de combustible (Keane, 2015; Rodríguez Trejo, 2015), generalmente representado en Mg ha^{-1}. Factores como mayor precipitación, suelos profundos, no pedregosos, partes medias y bajas de montañas donde las temperaturas no son bajas, y exposiciones norte, propician una mayor productividad forestal, y por ende una mayor producción de combustibles forestales (Rodríguez Trejo, 2015). Los estudios para la estimación de carga por el método de intersecciones planares comenzaron a mediados de

la década de 1960's (Brown, 1974; Van Wagner, 1968, 1982; Warren & Olsen, 1964). En México Sánchez Córdova y Zerecero Leal (1983) adecuaron el método a unidades métricas y su traducción al español. Recientemente han surgido nuevas propuestas metodológicas, adecuadas a las condiciones de México (Flores Garnica et al., 2008; Morfin-Ríos et al., 2012). Los estudios sobre inventarios de carga son más numerosos en los ecosistemas mexicanos, la mayoría de ellos bajo lo descrito por Brown (1974).

El conocimiento de las propiedades físicas de los combustibles aporta datos que son necesarios para la evaluación y modelaje del comportamiento del fuego y sus efectos potenciales en los incendios forestales, la planificación de tratamientos de quema prescrita y control mecánico de combustibles, así como la toma de decisiones en combate de incendios forestales, y en la evaluación y monitoreo de almacenes de biomasa y carbono en el contexto de mitigación del cambio climático (Morfin-Ríos et al., 2012).

2.3 Literatura citada

Adams, M. B., & Owens, D. R. (2001). Specific gravity of coarse woody debris for some central Appalachian hardwood forest species. *USFS Res. Pap. NE-716*.

Brown, J. K. (1970). *Physical fuel properties of ponderosa pine forest floors and cheatgrass. Research Paper INT-74*. *USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT.* Ogden, Utah.

Brown, J. K. (1974). *Handbook for Inventorying Downed Woody Material. General Technical Report INT-16*. *USDA Forest Service*. Ogden, Utah.

Byram, G. M., Fons, W. L., Sauer, F. M., & Arnold, R. K. (1952). Thermal properties of forest fuels. *AFSWP (ITR)-404, California Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California*.

Castillo, M., Pedernera, P., & Peña, E. (2003). Incendios forestales y medio ambiente: una síntesis global. *Revista Ambiente y Desarrollo de CIPMA*, *XIX*(1), 44–53. http://doi.org/10.1002/hyp.9647

Fernandes, P. M., & Rego, F. C. (1998). A new method to estimate fuel surface areato-volume ratio using water immersion. *International Journal of Wildland Fire*, *8*(3), 121. http://doi.org/10.1071/WF9980121

Flores Garnica, J. G., Rodríguez Chávez, O. G., Meléndez Gómez, M., & Rosas Aceves, O. G. (2008). *Sitios de muestreo para monitoreo de combustibles forestales (SIMMCOF)*. Guadalajara, Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Fosberg, M. A. (1970). Drying rates of heartwood below fiber saturation. *Forest Science*, *16*(1), 57–63.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Cummins, K. W. (1986). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. En *Advances in Ecological Research* (Vol. 15, pp. 132–276). http://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4

Hernando, C., Guijarro, M., & De los Santos, J. A. (1995). Determinacion de la relacion superficie/volumen de las aciculas muertas. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*.

Hyde, J. C., Smith, A. M. S., Ottmar, R. D., Alvarado, E. C., & Morgan, P. (2011). The combustion of sound and rotten coarse woody debris: a review. *International Journal of Wildland Fire*, *20*, 163–174.

Jardel Peláez, E. J. (2010). *Planificación del Manejo del Fuego*. Autlán, Jalisco, México.

Keane, R. (2015). *Wildland Fuels Fundamentals and Applications*. New York: Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-319-09015-3

Martinez Villa, J. L. (2013). *Evaluación de las propiedades físicas de combustibles en encinares del oriente del Estado de México*. Universidad Autónoma Chapingo.

Morfin-Ríos, J. E., Jardel Peláez, E. J., Alvarado Celestino, E., & Michel-Fuentes, J. M. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. *Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México*.

Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2009). Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *European Journal of Forest Research*, *128*(3), 287–296. http://doi.org/10.1007/s10342009-0264-8

Myers, R. L. (2006). Convivir con el fuego: Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. *The Nature Conservancy*, 28.

Pyne, S. J., Andrews, P. L., & Laven, R. D. (1996). *Introduction to wildland fire* (2nd ed.). New York, New York, USA: John Wiley and Sons, Inc.

Rodríguez Trejo, D. A. (2014). Bosques de encino. En *Incendios de Vegetación: Su ecología, manejo e historia (vol.1)* (1a ed., pp. 241–322). Guadalajara, Jalisco, México: Biblioteca Básica de Agricultura.

Rodríguez Trejo, D. A. (2015). *Incendios de Vegetación: Su ecología, manejo e historia (Vol. 2)*. Guadalajara, Jalisco, México: Biblioteca Básica de Agricultura.

Ruiz González, A. D., & Vega Hidalgo, J. A. (2007). *Modelos de predicción de la humedad de los combustibles muertos: fundamentos y aplicación*. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.

Rzedowski, J. (2006). Bosque de *Quercus*. En *Vegetación de México* (Ed.digital, pp. 274–294). México: Comisión Nacional para la Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Sackett, S. S. (1980). *Woody fuel particle size and specific gravity of southwestern tree species. Research Note RN-389*. *USDA Forest Service*. Tempe, Arizona.

Sánchez Córdova, J., & Zerecero Leal, G. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. CIFONOR.

Sandberg, D. V., Ottmar, R. D., & Cushon, G. H. (2001). Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire*, *10*(3 and 4), 381–387. http://doi.org/10.1071/WF01036

Van Wagner, C. E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, *14*(1), 20–26.

Van Wagner, C. E. (1982). *Practical aspects of the line intersect method*. *Canadian Forest Service*. Chalk River, Ontario, Canada.

Van Wagtendonk, J. W., Benedict, J. M., & Sydoriak, W. M. (1996). Physical properties of woody fuel particles of Sierra Nevada conifers. *International Journal of Wildland Fire*, *6*(3), 117–123. http://doi.org/10.1071/WF9960117

Warren, W. G., & Olsen, P. F. (1964). Line intersect technique for assessing logging waste. *Forest Science*, *10*(3), 267–276.

Zavala Chávez, F. (2000). El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo*, *7*(3), 269–176.

3. INFLUENCIA DE DENSIDADES BÁSICAS Y DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE COMBUSTIBLES LEÑOSOS EN LA ESTIMACIÓN DE CARGAS

Resumen

Se estimaron las cargas de los combustibles forestales presentes en un bosque de encinos del oriente del Estado de México. Se determinó la densidad básica de los combustibles leñosos por su tiempo de retardo. El método de Van Wagner (1982) se empleó para la estimación de la carga de los combustibles leñosos, comparando tres variantes del método: usando densidades básicas de los materiales obtenidos en laboratorio, densidades básicas reportadas en bibliografía y densidades básicas de coníferas de los Estados Unidos. Con líneas de intersecciones planares fijas, se estimó la carga de combustible en tres momentos diferentes, durante la temporada de incendios, esto permitió observar la variación de la disposición horizontal de los combustibles leñosos y su efecto en la estimación de la carga. Las densidades básicas de los materiales del encinar de estudio, presentaron una tendencia decreciente a mayores tiempos de retardo: 1 h = 0.585 g cm^{-3}, 10 h = 0.478 g cm^{-3} y 100 h = 0.412 g cm^{-3}. La carga de combustibles finos fue de 38.262 Mg ha^{-1}, mientras que los combustibles vivos alcanzó 7.126 Mg ha^{-1}. La carga de los combustibles leñosos estimada con la densidad obtenida del material recolectado en campo, fue la menor: 11.63% menos con respecto al valor obtenido usando densidades básicas de coníferas, y 42.63% menos al usar la densidad básica de bibliografía. La variación en la disposición horizontal de los combustibles leñosos provocó variación en las cargas del material leñoso para el sitio; un aumento en febrero con respecto a noviembre, pero un decremento a finales de la temporada de incendios.

Palabras clave: encino, intersección planar, tiempo de retardo, Van Wagner.

Abstract

In this chapter was estimated the forest fuels load, for an oak forest from the west of Mexico State. It was estimated the basic density of woody fuels by timelag. It was employed Van Wagner's method for the estimation of the woody fuels load. Also were compared the woody fuels load obtained from three variants of the method: determination of specific gravity of the woody materials in the lab, specific gravity of the species reported in bibliography, and specific gravity from North American conifers. In the forest, a fixed planar intersections method was utilized to estimate the woody fuels load in three different times during the fire season. This allowed to observe the variation of the horizontal arrangement of the woody fuels and their effect in the estimation of the load. The specific gravities of the fuels in the study site followed a decreasing tendency: 1h = 0.585 g cm^{-3}, 10 h = 0.478 g cm^{-3}, and 100 h= 0.412 g cm^{-3}. The fine forest fuel load was 38.262 Mg ha^{-1}, while the live forest fuels load reached 7.126 Mg ha^{-1}. The woody fuel load estimated with specific gravities from the collected material was the lowest: 11.63% less than the value obtained using conifers' specific gravities, and 43% less than using the specific gravities from bibliography. The variation in the horizontal arrangement of the woody fuels caused variation in the woody fuels load for the site; an increase in February related to November, but a decrease at the end of the fire season.

Keywords: oak, planar intersect, timelag, Van Wagner.

3.1 Introducción

Los materiales leñosos son componentes importantes de los ecosistemas forestales ya que influyen en gran medida en el ciclo de nutrientes, la formación de humus, el carbón almacenado, el ciclo del agua y la frecuencia de incendios (Liu, Schaefer, Qiao, & Liu, 2013).

La complejidad de los combustibles forestales dificulta una precisa realización del muestreo de su carga. Para un inventario cuantitativo es necesario diseñar un tipo de muestreo que genere la información que se desea obtener (Morfin-Ríos et al., 2012). El muestreo de la carga, para esta investigación, no fue intensivo debido a que el trabajo se direccionó a evaluar propiedades físicas particulares de los combustibles; los sitios seleccionados fueron áreas representativas del encinar. La importancia en determinar la densidad básica de los materiales combustibles estriba en obtener mejores estimaciones en la carga y el comportamiento de los incendios forestales. El método de Brown (1974) para combustibles leñosos se elaboró con base a las densidades básicas de los combustibles de coníferas de los Estados Unidos.

La densidad básica es una de las propiedades físicas que están directamente relacionadas con la dureza, el peso, la resistencia al impacto y a la abrasión de la madera. En modelos de estimación de captura de carbono, la densidad de la madera se ocupa para calcular la biomasa aérea de cada tipo particular de vegetación. El conocimiento de la densidad de la madera, no solo permite darle un mejor uso como recurso natural, sino que adquiere relevancia en la conversión del volumen de las existencias reales (m^3) a biomasa (Mg) y en particular para la estimación del contenido, captura o secuestro de carbono (Ordóñez Díaz et al., 2015). Los investigadores que más han estudiado la densidad básica de la madera son los tecnólogos de la madera, y en años recientes se ha incrementado esta actividad por parte de especialistas en captura de carbono y en incendios forestales (Rodríguez Trejo, 2015). Es bien conocido que la densidad básica de los combustibles leñosos influye en el comportamiento del fuego, ya que las

maderas densas, a pesar que tardan más en arder, lo hacen con mayor intensidad calorífica que las maderas menos densas (Rodríguez Trejo, 2015), debido a que los materiales de baja densidad tienen menores conductividades térmicas (Hyde et al., 2011).

El estudio se realizó durante la temporada seca del año, puesto que en las regiones templado-frías de México, la temporada de incendios incluye los periodos secos de invierno y primavera (Rodríguez Trejo, 2014). La estimación de la densidad básica se hizo para los combustibles muertos disponibles en el piso forestal, no se evaluó la densidad básica de los combustibles vivos.

El objetivo del presente capítulo es analizar la influencia de la densidad básica y la disposición horizontal de los combustibles leñosos durante la estimación de la carga de los combustibles.

3.2 Materiales y Métodos

El encinar de estudio se ubica en la cuenca del Río Texcoco, en los límites de las comunidades de San Pablo Ixayoc y Tequexquináhuac, particularmente en la vertiente del río “Los Hornos”. Caracterizado por un relieve accidentado con laderas escarpadas, lomeríos y cañadas.

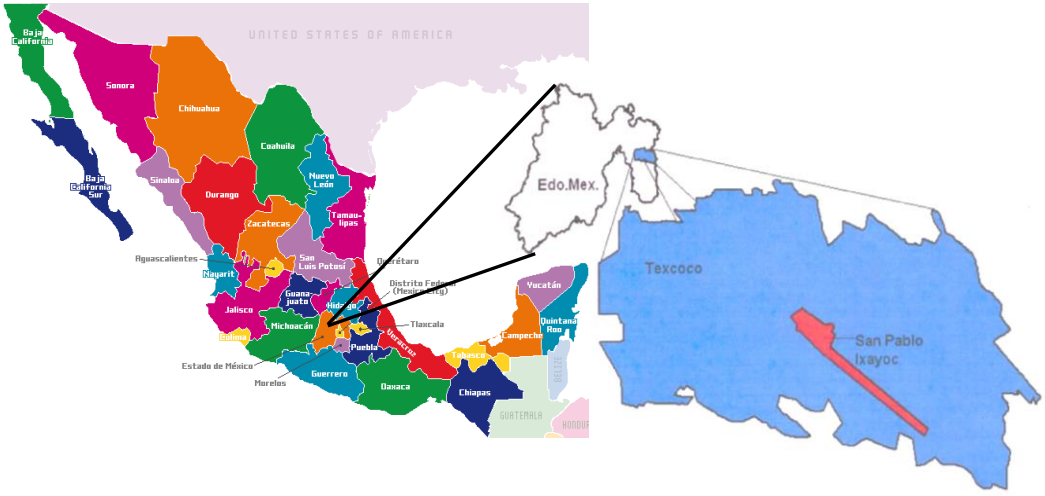

Figura 1. Localización de San Pablo Ixayoc (INEGI, 2005).

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano , con una precipitación promedio anual del rango de 620 a 770 mm (Augustine Molumeli et al., 2008) y una temperatura media anual de 15.9 °C (Adame-Martínez, Oropeza-Mota, Martínez-Ménez, Santoyo-Cortés, & Ramírez-Guzmán, 2000).

En general la cubierta forestal de la cuenca presenta una creciente degradación, resultado de la sobreexplotación y cambio de uso de la tierra, debido a presiones socio-económicas sobre los ejidatarios de la parte alta, y al establecimiento de nuevos asentamientos humanos (Hernández Suárez & Vázquez-García, 2007). El dosel forestal que conformó el área de investigación tenía dominancia de *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Neé y *Q. laeta* Liebm., y menor presencia *Q. laurina* Humb. & Bonpl; además se encontró el encino arbustivo *Q. frutex* Trel. en los espacios abiertos de las cañadas secas. Esta identificación se hizo de acuerdo a las claves dicotómicas de Romero Rangel, Rojas Zenteno y Aguilar Enríquez (2002) para encinos del Estado de México.

Quercus rugosa predominaba sobre la ladera seca, que presentaba una exposición suroeste con mayor radiación y menor cubierta forestal. Mientras que la ladera húmeda con exposición noreste, presentaba mayor cubierta forestal, menores temperatura, mayor humedad ambiental y menor radiación solar, disponía de una mezcla de las otras tres especies. De acuerdo con Zavala Chávez (2000), *Q. crassipes*, *Q. frutex*, y *Q. laeta* son de las especies mexicanas de encino sujetas a incendios relativamente frecuentes.

3.2.1 Carga de combustibles

Se estimó la carga de los principales combustibles forestales del encinar de estudio: carga de combustible leñoso, carga de los combustibles finos (hojarasca) y carga de los combustibles vivos. Los sitios seleccionados correspondieron a áreas representativas de la vertiente, ladera con exposición noreste y ladera con exposición suroeste.

La evaluación *in situ* de la carga de combustibles leñosos se realizó con la metodología de intersecciones planares descritas por Brown (1974), empleando las adecuaciones de Morfin-Ríos et al. (2012), Flores Garnica et al. (2008) y Martinez Villa (2013). En dicha metodología los sitios de muestreo se conformaron de tres líneas: la primera con orientación norte “a”, las otras dos se instalaron a partir del final de la línea, a 120° de separación (b y c). En el centro del sitio se instaló un cuadrante de 1 m^2 para la medición del combustible vivo; al final de cada línea de intersección se colocaron cuadros de 30 x 30 cm, para la medición de combustibles finos.

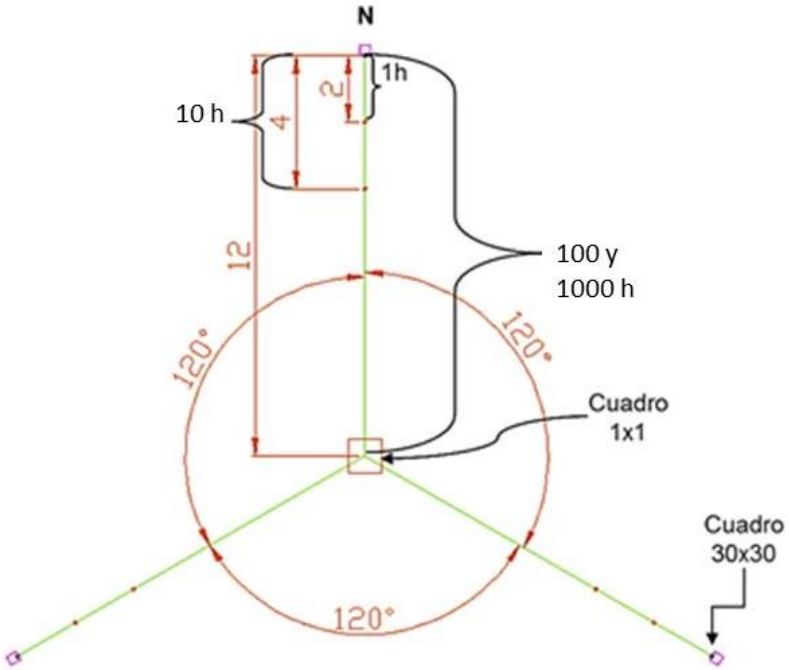

Figura 2. Representación gráfica del conglomerado de muestreo.

Cada línea que conformó el conglomerado de muestreo midió 12 m, segmentada a 2, 4 y 12 m desde el punto externo hacia el interior del conglomerado. Cada segmento sirvió para contar la frecuencia de intersección de los combustibles leñosos según el tiempo de retardo (TR), propuesto por Fosberg (1970): hasta las 2 m combustibles de 1 h TR, en los 4 m combustibles de 10 h TR, y en los12 m combustibles de 100 h TR, también en los 12 m se midieron los diámetros de los combustibles de 1000 h TR que interceptaron la línea, estos últimos separados por su condición en firmes y podridos.

La determinación de la carga de combustible fino (hojarasca) se obtuvo por el peso anhidro de la hojarasca recolectada en los cuadros de 30 x 30 cm, que se instalaron en los extremos de las líneas de intersección. Previo a su ingreso a la estufa de secado, la hojarasca recolectada fue limpiada, eliminando materiales leñosos y de otro tipo. El secado se hizo a temperaturas de 75 a 80 °C, hasta alcanzar el peso constante (tres semanas aproximadamente). La carga es el peso anhidro de los combustibles por unidad de área. El peso anhidro de la hojarasca de un sitio del conglomerado (g), fue relacionado al área (m^2) concentrada en el cuadro de 30 x 30 cm, es decir 0.09 m^2. El valor obtenido fue la carga estimada en g m^{-2}. El promedio de la carga de los tres cuadrantes fue el promedio del conglomerado, este promedio fue extrapolado a Mg ha^{-1}. El promedio aritmético de todos los conglomerados de muestreo que se realizaron, correspondió la carga de los combustibles finos del encinar.

La obtención de la carga de combustibles vivos se hizo de igual forma que los combustibles finos, en campo se recolectó la biomasa viva (arbusto, rebrote o zacate) contenida en el cuadrante central del conglomerado. Se llevó a laboratorio, y se hizo el proceso de secado a 85 °C durante tres semanas aproximadamente, hasta alcanzar su peso constante. El peso anhidro del combustible vivo (g), fue relacionado al área concentrada en el cuadrante (1 m^2), el valor obtenido fue la carga en g/m^2, posteriormente fue extrapolado a Mg ha^{-1}. El promedio aritmético de todos los conglomerados fue la carga de los combustibles vivos del bosque de encino.

El método para determinar carga de combustibles leñosos que presenta Brown (1974) se basa en la base teórica propuesta por Van Wagner (1968), adecuado a materiales leñosos de coníferas de Estados Unidos. Se resalta este punto para no generar controversias, ante el uso como “método de Brown (1974)” a una de las variantes de estimación de carga, durante el desarrollo del trabajo. Van Wagner (1982) posteriormente desglosa más detenidamente la técnica y el

método de estimación de cargas que había postulado con anterioridad. El desarrollo de la investigación se basó en esta última obra.

Durante la limpieza de la hojarasca recolectada, se observó que el material presente en la ladera seca tenía más de la mitad de sus componentes finos con alto grado de pudrición, sin embargo sus materiales leñosos aún eran firmes. No así para la exposición húmeda, pues aquí ambos componentes mostraron alto grado de descomposición, escasas eran las ramas firmes. La presencia de ramillas carbonizadas en ambas laderas denotan el paso de un incendio en años anteriores.

La estimación de la carga en el material leños (Mg ha^{-1}) se hizo con las fórmulas de Brown de 1974 (Cuadro 1) y Van Wagner (1982), la primera es de amplio uso en el muestreo de combustibles forestales y se cimienta en la base teórica de la segunda, sólo que compensada a densidades de coníferas. La estimación con Van Wagner (1982) se hizo con lo descrito por Morfin-Ríos et al. (2012), empleando la densidad básica reportada en bibliografías para las especies presentes en el área de estudio y la densidad básica determinada en laboratorio a partir de materiales del encinar.

Cuadro 1. Fórmulas de Brown (1974) para estimación de cargas

Clase	Diámetro (cm)	Fórmula para calcular la carga
1 h	0-0.6	$P = \frac{0.484\, n\, \bar{c}}{N\, l}$
10 h	0.6-2.5	$P = \frac{3.369\, n\, \bar{c}}{N\, l}$
100 h	2.5-7.5	$P = \frac{36.808\, n\, \bar{c}}{N\, l}$
1000 h	>de 7.5 (firme)	$P = \frac{1.46\, \sum d^2\, \bar{c}}{N\, l}$
	>de 7.5 (podrido)	$P = \frac{1.21\, \sum d^2\, \bar{c}}{N\, l}$

De acuerdo con Sánchez Córdova y Zerecero Leal (1983) y Van Wagner (1982) cada variable corresponde a:

P= peso de los combustibles en Mg ha^{-1},

n= frecuencia o número de intersecciones totales del conglomerado,

$\overline{c}$= "C" ponderada, obtenido con la siguiente fórmula $\overline{c}= \sum C_n \eta_n / n$; donde η= es la frecuencia del combustible en una línea del conglomerado, n= es la sumatoria de η o el número de intersecciones totales, C es el factor de corrección por pendiente

$$c = \sqrt{1 + (\frac{\%\ de\ pendiente^2}{100})}$$

Donde d^2= suma de los cuadrados de los diámetros de las ramas o trozas, y

Nl= longitud total de la línea de muestreo o suma de las longitudes de las líneas dado en pies.

Cómo se había mencionado anteriormente, este método se basa en los fundamentos de Van Wagner (1968), pero compensado a densidades básicas de leñas de coníferas estadounidenses. La densidad básica de la madera del encino es mayor, las fórmulas de Van Wagner (1982) permiten el uso de estas densidades para la estimación de la carga de cada combustible. La fórmula Van Wagner (1982) para la estimación de la carga de combustibles de para 1, 10 y 100 h de retardo es:

$$\mathrm{C} = \frac{(\mathrm{k})\ \mathrm{DB}\ (\mathrm{DCP})\ (\mathrm{f})\ (\mathrm{c})}{L}$$

donde,

C = Carga de combustible (Mg ha^{-1}),

k = derivada de la densidad del agua y de factores de conversión para obtener la carga en Mg ha^{-1} (1.234),

DB = Densidad específica o gravedad específica de la madera (g cm^{-3}),

DCP = Diámetro cuadrático promedio (cm) de cada categoría (1, 10 o 100 h),

f = Frecuencia de las partículas intersectadas (1, 10 o 100 h),

c = Factor de corrección de la pendiente,

L= longitud de líneas de muestreo empleadas.

Para los combustibles de 1000 h de tiempo de retardo, se emplea:

$$C = \frac{(k)\ DB\ (\Sigma\ DC\ )\ (c)}{L}$$

donde, ΣDC es la sumatoria de los diámetros cuadráticos de los materiales intersectados.

La suma de la carga de los distintos materiales leñosos correspondió a la carga de una línea de intersección del conglomerado, el promedio de las cargas de los transeptos del conglomerado correspondió a la carga de un sitio. El promedio de las cargas de los sitios fue la carga promedio del encinar.

3.2.2 Densidad básica por tiempo de retardo

En la determinación de la densidad básica de combustibles leñosos por tiempo de retardo, se emplearon 270 ramillas de 1 h TR, 93 ramillas de 10 h TR y 18 ramas de 100 h TR. Estos materiales fueron recolectados de los conglomerados de muestreos para estimación de carga. La densidad básica se determinó para cada tiempo de retardo, a partir del peso anhidro entre el volumen de los materiales, este último obtenido por el método de Arquímedes (desplazamiento de agua). El peso anhidro de los materiales leñosos se obtuvo en estufas de secado a temperaturas de 85 °C, hasta alcanzar su peso constante (un mes aproximadamente). El volumen por principio de Arquímedes se realizó poniendo un recipiente con agua sobre una báscula digital (con 0.001 de precisión). Acto seguido se taró la báscula. Con valores en cero, se sumergió la leña apoyado de una aguja de disección. Los gramos reportados por la báscula correspondieron a los cm^3 del volumen de los cuerpos.

Como un punto extra al trabajo, se tomó el material leñoso recolectado por una trampa de hojarasca, en el primer trimestre, y se determinó la densidad básica de todas las ramillas presentes. Fueron 19 ramillas de 1 h TR, y cuatro de 10 h TR.

3.2.3 Compensación por densidad básica de bibliografía

Estudios hechos por tecnólogos de la madera han reportado densidades básicas de varias especies de encino, pues esta propiedad es de importancia en la determinación de usos potenciales de la madera.

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el fin de recopilar las densidades básicas reportadas para las distintas especies presentes en el encinar de estudio (Cuadro 2). De ellas se obtuvo una densidad promedio para emplearlo en la adecuación del método de Van Wagner (1982).

Cuadro 2. Densidad básica reportada para las especies presentes en el encinar.

Especie	Densidad básica (g cm^{-3})	Fuente
Q. crassipes	0.631	Dávalos-Sotelo, Pérez-Olvera y Bárcenas Pazos (2010)
	0.611	Dávalos-Sotelo et al. 2010)
Q. rugosa	0.688	Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008)
	0.72	Honorato Salazar y Fuentes López (2001)
	0.69	Ordoñez Díaz et al. (2015)
Q. laurina	0.60	Honorato Salazar y Fuentes López (2001)
	0.652	Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008)
	0.642	Dávalos-Sotelo et al. (2010)
	0.617	Dávalos-Sotelo et al. (2010)
	0.638	Dávalos-Sotelo et al. (2010)
	0.65	Ordóñez Díaz et al. (2015)
Q. laeta	0.746	Pérez-Olvera y Dávalos-Sotelo (2008)
	0.75	Ordoñez Díaz et al. (2015)
	0.68	Nájera Luna et al. (2005), general
Promedio	0.665	

Considerando que el promedio obtenido (0.665 g cm^{-3}) equivale al valor de los combustibles de 1000 h TR, se asumió que es el mismo valor para los materiales

de 100 h TR, siendo este último el de mayor tiempo de retardo con el que se trabajó. A partir de esto se obtuvo la densidad básica para los tiempos de retardo de 1 y 10 h TR, tal y como sugiere Rodríguez Trejo (2015). Primeramente se obtuvo un factor de conversión, en este ejemplo para1 h:

$$F_1=DB_1/DB_{1000}$$

donde:

F_1= es el factor de conversión para combustibles de 1 h TR.

DB_1= Densidad básica determinada de los combustibles de 1 h TR.

DB_{1000}= Densidad básica determinada de los combustibles 1000 h TR.

La densidad básica compensada para 1h TR se obtiene entonces multiplicando F_1 por la densidad básica reportada por la bibliografía (0.665). La densidad básica que se empleó para la estimación de cargas compensada por bibliografía fue, un valor mayor a 0.63 g cm^{-3} que reporta (Ordóñez Díaz et al., 2015) para los bosques de encino, obtenido a partir del promedio de un rango más amplio de especies de encino, y que la mayoría de ellos no están presentes a en el sitio de estudio.

3.2.4 Análisis de la distribución horizontal

Para observar la dinámica de la distribución horizontal de los combustibles leñosos se estableció un conglomerado fijo, con tres líneas de intersección similar al conglomerado de muestreo que se utilizó para la estimación de la carga. Se estableció en la parte media de la ladera húmeda con una cerrada cubierta forestal, el objetivo fue demostrar la variación de presencia de los combustibles leñosos en tres momentos de la estación seca del año. La primera línea de intersección se estableció transversal a la pendiente, la segunda perpendicular y la tercera en diagonal, a 0 %, 100% y 60% de pendiente (Figura 3).

La carga del conglomerado se obtuvo promediando las cargas de las líneas de intersección, con las tres variantes de estimación de carga. El primer conteo de

los materiales intersectados se hizo el 20 de noviembre de 2015, las posteriores fueron el 20 de febrero y 20 mayo de 2016.

Figura 3. Ejemplificación del conglomerado fijo para análisis de distribución horizontal.

3.3 Resultados y discusión

3.3.1 Densidad básica de los combustibles leñosos

Durante la determinación de la densidad se separaron materiales firmes y podridos (Cuadro 3), de ello se obtuvo las densidades básicas para cada condición (podrido o firme) y en general para cada tiempo de retardo, este último se empleó para la determinación de la carga.

La prueba t de Student arrojó diferencias estadísticamente significativas para las medias de las densidades básicas entre materiales firmes y podridos. Se tuvo una $P < 0.0001$, para combustibles con 1 y 10 h TR, y $P = 0.0021$, para aquellos con TR 100 h. La densidad básica estuvo inversamente relacionada al tiempo de retardo. Como se esperaba, los materiales podridos tienen menor densidad.

Cuadro 3. Densidad básica determinada por TR

Tiempo de retardo	Densidad básica (g cm^{-3})	Desviación estándar
1 h (promedio)	0.585	0.1133
podridos	0.472	0.0578
firmes	0.659	0.0725
10 h (promedio)	0.478	0.0960
podridos	0.427	0.0567
firmes	0.584	0.0701
100 h (promedio)	0.412	0.0632
podridos	0.379	0.0433
firmes	0.464	0.0549

La tendencia que muestra la densidad básica de estos combustibles es de valores decrecientes a mayores tiempos de retardos, similar a la que encontró y usó Brown (1974) para combustibles leñosos de especies de coníferas norteamericanas, 0.48 g cm^{-3} para combustibles de 1 y 10 h, 0.40 g cm^{-3} para 100 y 1000 h; y Morfin-Ríos et al. (2012) en los bosques de pino-encino. En las densidades dadas por Brown (1974), los materiales de 1 y 10 h TR, exceden en 20% las densidades básicas de los materiales con 100 y 1000 h TR. En cambio en el presente trabajo con *Quercus*, los materiales firmes de 1 h TR excedieron en 22.38% a los de 10 h TR, en 42% a los de 100 h TR. Aún tomando el promedio de los materiales leñosos de 1 y 10 h TR, resultan 29% más densos que aquellos con TR de 100 h.

Los resultados del presente trabajo dejan ver que la densidad básica de los materiales leñosos de encinos, como se esperaba, es mayor que la de coníferas. Al igual que estas últimas, en encinos la densidad es menor en materiales leñosos más gruesos. La proporción de cambio resultó mayor que la que se puede calcular de Brown (1974). Al parecer, las altas densidades básicas en los materiales de 1 h TR, obedece a una compensación de contar mayor resistencia en el sostenimiento de otros órganos vegetales, pese a su delgadez (Rodríguez

Trejo, 2015).

Esta variación pude deberse también a que una vez terminado el proceso de abscisión, las ramillas de 1 h de tiempo de retardo caen y se descomponen rápido, pero como se depositan constantemente abundan materiales con este TR sin descomponer o con menor nivel de degradación. En cambio las ramas más gruesas se mantienen adheridas al árbol donde continúan su proceso descomposición, y al incorporarse al piso forestal ya llevan cierto grado de pudrición.

Schowalter (1992) observó durante dos años la descomposición de troncos vivos y muertos, las densidad básica inicial de los troncos muertos fue de 0.67 g cm^{-3}, al término de este lapso encontró materiales 0.39 g cm^{-3}, poco menos de la densidad que presentaban los combustibles de 100 h TR del bosque de estudio. Haciendo una comparación con las densidades básicas reportadas por Adams y Owens (2001), para combustibles gruesos según su nivel de descomposición. Los combustibles leñosos de 100 h TR recolectados en el área de estudio, presentan de alto nivel de descomposición, según los datos reportados para especies de *Quercus*. Estos estudios nos permiten aseverar pues que las bajas densidades de los materiales combustibles leñosos gruesos, obtenidas en esta investigación, se deben a un nivel avanzado de descomposición.

Las densidades básicas determinadas en materiales leñosos colectados de las trampas de hojarasca, promediaron 0.74 y 0.60 g cm^{-3} para 1 y 10 h, respectivamente. Siendo mayores en 26.5% y 25.5% con respecto a las densidades de ramillas 1 y 10 h TR colectadas del mantillo.

Las densidades básicas obtenidas de ramillas de 1 h TR de trampas, son similares a los reportado para *Q. laeta* por Ordóñez Díaz et al. (2015). Esto exhibe pues, que los materiales de 1 h TR se incorporan al piso forestal sin ningún, o escaso, nivel de descomposición, a diferencia de los materiales de mayor TR.

3.3.2 Variación de la carga combustibles forestales

La carga promedio estimada para la hojarasca fue 38.262 Mg ha^{-1} y para los combustibles vivos 7.126 Mg ha^{-1}.

Los materiales más pesados y accesibles que se encontraron en los conglomerados de muestreo, fueron los 100 h TR. Por ello se consideró que tanto estos materiales, como los de 1000 h TR, les correspondía una densidad de 0.665 g cm^{-3}, densidad básica promedio obtenida de bibliografía. Con ello se compensaron las densidades para 1 y 10 h TR, tal y como se mencionó en la metodología. Las densidades básicas (determinadas y por bibliografía) según su TR se presentan en el Cuadro 4, así como los diámetros cuadráticos promedios (DCP) para los materiales de 1, 10 y 10 h TR.

Cuadro 4. Densidades básicas estimadas y compensadas (g cm^{-3}), y DCP usados para la estimación de cargas

Tiempo de retardo	Densidad básica determinada	Densidad básica compensada	Diámetros cuadráticos promedio (DCP)
1 h	0.585	0.944	0.162
10 h	0.478	0.772	1.5317
100 h	0.412	0.665	16.1378
1000 h	0.412	0.665	
1000 h (podrido)	0.379	0.611	

Con estas densidades básicas se estimó las cargas de los combustibles bajo las tres variantes del método Van Wagner (1968): método de Brown (1974) sin cambiar la densidad que él emplea para coníferas, método de Van Wagner (1982) usando densidad básica de literatura, y Van Wagner (1982) utilizando densidad básica estimada en el presente experimento (Cuadro 5).

La carga de combustibles leñosos estimada con la fórmula de Van Wagner (1982) y usando densidad básica determinada del material recolectado en campo, fue la menor. Un 11.63% menos que el valor obtenido con la variante de Brown (1974)

para coníferas, y un 42.63% menos respecto a Van Wagner (1982) con densidad básica reportada.

Cuadro 5. Variación de las cargas de los combustibles leñosos (Mg ha^{-1}) por densidad empleada

Líneas de intersección	Brown (1974)		Van Wagner (1984) (densidad determinada)		Van Wagner (1984) (densidad de bibliografía)	
	Ladera seca	Ladera húmeda	Ladera seca	Ladera húmeda	Ladera seca	Ladera húmeda
a	4.450	16.765	3.544	13.393	5.722	21.617
b	10.051	7.686	7.844	5.658	12.664	9.132
c	6.409	21.381	5.071	23.466	8.185	37.876
Carga promedio por sitio	6.970	15.277	5.487	14.172	8.857	22.875
Carga promedio del encinar		11.124		9.829		15.866

Comparando las medias de las cargas, con la prueba de t de Student, con respecto a la exposición, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas. Los valores de P fueron: 0.1284 para el método de Brown (1972), 0.1771 para el de Van Wagner (1982) con determinación de densidad básica en laboratorio, y 0.1771 para el mismo pero con densidades obtenida de la literatura.

3.3.3 Influencia de la distribución horizontal

En la evaluación de la distribución horizontal de los combustibles leñosos, se observó variaciones en la presencia de los materiales de 1, 10 y 100 h TR, siendo los materiales de 1000 h TR los menos dinámicos (Cuadro 6). Cada momento de evaluación se identificó con un número romano, siendo I el registro correspondiente a noviembre de 2015, II a febrero, y III a mayo de 2016. Las letras a, b y c refieren a las líneas de intersección, tal y como se identificaron durante el levantamiento de cargas.

Cuadro 6. Frecuencia de materiales interceptados en las líneas permanentes.

		Tiempo de Retardo			
Toma	Sitio	1h	10 h	100 h	1000 h
I (20 de noviembre)	a	81	9	0	0
	b	12	2	1	0
	c	61	8	4	1
II (20 de febrero)	a	71	11	0	0
	b	44	7	2	0
	c	12	1	1	2
III (20 de mayo)	a	51	7	0	0
	b	3	2	1	0
	c	62	8	1	2

Con estas frecuencias de intercepción se estimó la carga de los combustibles bajo los tres enfoques anteriormente usadas, en los distintos momentos de la temporada de evaluación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Variabilidad de carga (Mg ha^{-1}) de los materiales leñosos para un mismo sitio en la temporada seca

Toma	Brown (1974)	Van Wagner (1984) (densidad determinada)	Van Wagner (1984) (densidad de bibliografía)
I (20 de noviembre)	10.231	9.052	14.610
II (20 de febrero)	10.385	9.866	15.925
III (20 de mayo)	9.460	8.942	14.434

La inestabilidad de los combustibles leñosos en el mismo sitio generó diferentes cargas en los tres momentos de la evaluación. Se observa un aumento de la carga en febrero con respecto a noviembre, pero un decremento a finales de la temporada de incendios.

Con la fórmula propuesta por Brown (1974), se observa una incremento en febrero del 1.5 % con respecto noviembre, pero en mayo hay una reducción de

la carga del 7.5 % con respecto a noviembre. Empleando el método original de Van Wagner (1984), pero usando densidades básicas determinada con materiales del bosque, se observó un incremento en febrero del 9.3% respecto a noviembre, y una reducción de 1.21% en mayo, similar a lo obtenido usando densidades básicas reportadas, 9% de incremento en febrero y 1.2% de reducción de la carga en mayo, con respecto a noviembre.

Dicho aumento parece obedecer a una mayor caída de materiales durante el mes de febrero, cuando se presentan fuertes vientos en la región y a la estacionalidad de la especie. La eventual reducción de la carga en mayo refleja la descomposición de materiales.

Durante el transcurso de los meses de abril y mayo, se presentaron lluvias esporádicas, que sin lugar a duda, movilizaron los materiales leñosos, deslizándolos a las partes bajas de la pendiente.

3.4 Conclusiones

Las distintas metodologías usadas para la estimación de los combustibles, arrojan diferencias en la estimación de la carga. A pesar de que el uso de las densidades básicas de los materiales leñosos determinadas en la cama de hojarasca arroja menor carga, ésta debe considerarse como la carga del encinar de estudio, pues se hizo con base a las propiedades de los combustibles forestales del sitio.

La densidad básica estimada es menor a la densidad básica reportada, porque las densidades reportadas se han obtenido a partir de materiales completamente firmes con poco o nulo grado de descomposición; los materiales presentes en el mantillo del bosque tienen ya diferentes grados de descomposición.

La baja densidad de los combustibles leñosos gruesos se debe a un avanzado nivel de descomposición. En general Los materiales presentes en el mantillo del bosque presentan un avanzado grado de descomposición.

La carga de los combustibles, para un mismo sitio, fueron diferentes durante la temporada seca del año, sólo los combustibles de 1000 h se mantuvieron mayormente constantes.

Hay una variabilidad de hasta el 9.3 % en la carga de combustibles forestales a lo largo de la temporada de incendios.

En Quercus, de acuerdo a lo obtenido en el presente trabajo, los materiales leñosos finos son más densos que los materiales gruesos. La tendencia descendente de la densidad básica a mayor TR, puede deberse a una rápida tasa de incorporación de los combustibles de 1 h TR en el piso forestal.

3.5 Literatura citada

Adame-Martínez, S., Oropeza-Mota, J. L., Martínez-Ménez, M. R., Santoyo-Cortés, V. H., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2000). Evaluación económica del proyecto de rehabilitación de suelos en la cuenca del río Texcoco. *Agrociencia*, *34*, 509–521.

Adams, M. B., & Owens, D. R. (2001). Specific gravity of coarse woody debris for some central Appalachian hardwood forest species. *USFS Res. Pap. NE-716*.

Augustine Molumeli, P., Espinosa Hernández, V., Ehsan, M., Benedicto Valdez, S., Ojeda Trejo, E., Cetina Álcala, V. M., & Santamaría Delgado, K. (2008). Lupines-invaded pine forest and cultivated scrublands in volcanic ash soils in Mexico: Dry-sieved aggregation and instability indices. *International Journal of Botany*, *4*(4), 390–405.

Brown, J. K. (1974). *Handbook for Inventorying Downed Woody Material. General Technical Report INT-16*. *USDA Forest Service*. Ogden, Utah.

Dávalos-Sotelo, R., Pérez-Olvera, C. D. L. P., & Bárcenas Pazos, G. M. (2010). Resistencia al impacto de la madera de diez encinos (*Quercus*) mexicanos. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *XVI*(2), 215–226. http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.10.039

Flores Garnica, J. G., Rodríguez Chávez, O. G., Meléndez Gómez, M., & Rosas Aceves, O. G. (2008). *Sitios de muestreo para monitoreo de combustibles*

forestales (SIMMCOF). Guadalajara, Jalisco, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Fosberg, M. A. (1970). Drying rates of heartwood below fiber saturation. *Forest Science*, *16*(1), 57–63.

Hernández Suárez, C., & Vázquez-García, V. (2007). La problemática socioambiental de la cuenca del Río Texcoco. Una revisión de literatura. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *4*(1), 39–52.

Honorato Salazar, J. A., & Fuentes López, M. E. (2001). Propiedades físico-mecánicas de la madera de cinco especies de encinos del estado de Guanajuato.pdf. *Revista Ciencia Forestal en México*, *26*(90), 5–28.

Hyde, J. C., Smith, A. M. S., Ottmar, R. D., Alvarado, E. C., & Morgan, P. (2011). The combustion of sound and rotten coarse woody debris: a review. *International Journal of Wildland Fire*, *20*, 163–174.

INEGI. (2005). *Censo de Población y Vivienda. Principales resultados por localidad (ITER)*. México.

Liu, W., Schaefer, D., Qiao, L., & Liu, X. (2013). What controls the variability of wood-decay rates? *Forest Ecology and Management*, *310*, 623–631. http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.013

Martinez Villa, J. L. (2013). *Evaluación de las propiedades físicas de combustibles en encinares del oriente del Estado de México*. Universidad Autónoma Chapingo.

Morfin-Ríos, J. E., Jardel Peláez, E. J., Alvarado Celestino, E., & Michel-Fuentes, J. M. (2012). *Caracterización y cuantificación de combustibles forestales*. *Comisión Nacional Forestal-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México*.

Nájera Luna, J. A., Vargas Antonio, Z., Méndez González, J., & Graciano Luna, J. de J. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Durango. *Ra Ximhai*, *1*(3), 559–576.

Ordóñez Díaz, J. A. B., Galicia Naranjo, A., Venegas Mancera, N. J., Hernández Tejeda, T., Ordóñez Díaz, M. de J., & Dávalos-Sotelo, R. (2015). Densidad de las maderas mexicanas. *Madera y Bosques*, *21*, 77–126.

Pérez-Olvera, C. de la P., & Dávalos-Sotelo, R. (2008). Algunas características anatómicas y tecnológicas de la madera de 24 especies de *Quercus* (encinos) de México. *Madera y Bosques*, *14*(3), 43–80.

Rodríguez Trejo, D. A. (2014). Bosques de encino. En *Incendios de Vegetación: Su ecología, manejo e historia (vol.1)* (1a ed., pp. 241–322). Guadalajara, Jalisco, México: Biblioteca Básica de Agricultura.

Rodríguez Trejo, D. A. (2015). *Incendios de Vegetación: Su ecología, manejo e historia (Vol. 2)*. Guadalajara, Jalisco, México: Biblioteca Básica de Agricultura.

Romero Rangel, S., Rojas Zenteno, E. C., & Aguilar Enríquez, M. de L. (2002). El Género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, *89*(4), 551–593.

Sánchez Córdova, J., & Zerecero Leal, G. (1983). Método práctico para calcular la cantidad de combustibles leñosos y hojarasca. CIFONOR.

Schowalter, T. (1992). Heterogeneity of decomposition and nutrient dynamics of oak (*Quercus*) logs during the first 2 years of decomposition. *Canadian*

Journal of Forest Research, *22*, 161–166. http://doi.org/10.1139/x92-021
Van Wagner, C. E. (1968). The line intersect method in forest fuel sampling. *Forest Science*, *14*(1), 20–26.
Van Wagner, C. E. (1982). *Practical aspects of the line intersect method*. *Canadian Forest Service*. Chalk River, Ontario, Canada.
Zavala Chávez, F. (2000). El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo*, *7*(3), 269–176.

4. DINÁMICA Y HUMEDAD DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN LA TEMPORADA DE INCENDIOS

Resumen

El balance de entrada y descomposición heterotrófica de combustibles forestales, es importante en la determinación del carbono almacenado en el piso forestal, la nutrición de los árboles y su disponibilidad en la temporada de incendios forestales. En este capítulo: 1) se evaluó la carga de los materiales combustibles que se agregaron al piso forestal durante la temporada de incendios forestales; 2) se estimó la tasa de descomposición de la hojarasca y combustibles leñosos de 1 y 10 h tiempo de retardo, para estimar la pérdida de material durante el estiaje; 3) se analizó el comportamiento de la densidad básica de los combustibles leñosos por efecto de la descomposición; y 4) se estimó la humedad de los materiales leñosos en la temporada de incendios forestales. La carga total de combustibles forestales incorporados al piso forestal fue 40.532 Mg ha^{-1}, durante la temporada de incendios. De lo cual, la hojarasca conformó un 63.89% (25.491 Mg ha^{-1}), seguido de ramas y ramillas con 18.76% (7.603 Mg ha^{-1}). La tasa de descomposición (*k*) para hojarasca fue 0.0827, para leñas 1 h TR= 0.0861 y para los combustibles de 10 h TR = 0.0404. La carga inicial fue 38.26 y 3.6 Mg ha^{-1}, para hojarasca y leñas de 1 y 10 h TR, respectivamente. La carga acumulada incrementó 204.98% en leñas, y 58.68% en hojarasca. Las densidades básicas de los materiales decrecieron un 17.45% al final de la temporada. Respecto a la humedad de los combustibles leñosos, en febrero se determinó la menor humedad de los materiales.

Palabras clave: Acumulación, descomposición, hojarasca, tiempo de retardo.

Abstract

The balance between the dead biomass input and the heterotrophic decomposition of forest fuels, is important in the determination of the carbon stored in the forest floor, the nutrition of the trees and their availability in the forest fire season. In this chapter: 1) was evaluated the dead biomass input during the fire season; 2) the decomposition rate for the leaf litter and fine woody fuels (1 and 10 h timelag) was estimated to assess the losses of mass during the dry season; 3) was analyzed the specific gravity behavior of coarse woody debris (100 h timelag) by effect of decomposition; and 4) was evaluated the moisture content of woody fuels along the dry season. The incorporation rate of fuels was equal to 40.532 Mg ha^{-1}, along the fire season, with 62.89% (25.491 Mg ha^{-1}) for leaf litter, and 18.76% (7.603 Mg ha^{-1}) for woody fuels. The decomposition rate (*k*) during the fire season was of 0.0827 for leaf litter, 0.0861 for woody fuels with 1 h timelag, and 0.0404 for 10 h timelag. The entry of biomass to the forest floor increased the accumulated load in 204.98% for twigs of 1 and 10 h timelag woody fuels, while for the leaf litter reached 58.68%. About the moisture content of the woody fuels, in February was determined the lower humidity content of the materials.

Keywords: Acumulation, decay, leaf litter, timelag.

4.1 Introducción

La dinámica de combustibles forestales comprende el proceso de incorporación y descomposición de los materiales que potencialmente pueden entrar en ignición. El balance entre la entrada de materia orgánica y la descomposición heterotrófica influye en el carbono almacenado del piso forestal y la nutrición de los árboles (Karberg, Scott, & Giardina, 2008). Esto último es importante en los ecosistemas, debido a que los requerimientos de nutrientes anuales, en la mayoría de los bosques, son satisfechos por la liberación de nutrientes durante la descomposición de la materia orgánica (Landsberg & Gower, 1997).

La descomposición de la materia orgánica consta de tres etapas principales: trituración, lixiviación y catabolismo o degradación química por microbios (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003; Landsberg & Gower, 1997). Ésta puede evaluarse a través de la tasa de descomposición. En la hojarasca, esta tasa indica la rapidez con que la hojarasca recién caída se transforma física y químicamente para incorporarse al suelo (Gallardo, Covelo, Morillas, & Delgado, 2009).

La importancia ecológica de cuantificar las tasas de descomposición del material combustible es, sobre todo, para la caracterización precisa de la dinámica de carbono forestal (Karberg et al., 2008). Existen diversos métodos e indicadores para determinarla, destacando la estimación por dióxido de carbono, ya que éste es el último producto del rompimiento de la materia orgánica en el suelo (Killham, 1994). Particularmente, para estimar la tasa de descomposición de la hojarasca se emplean tasas de liberación de nutrientes, como la relación C/N, que permite realizar estimaciones generales al considerarse un índice de calidad de la hojarasca (Heal, Anderson, & Swift, 1997). Si hay más C en la hojarasca quiere decir que hay menos N disponible en el suelo, el cual podría ser inmovilizado por bacterias y, por lo tanto, habría menos N disponible para las plantas y viceversa (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003).

La descomposición de los combustibles forestales depende de las condiciones ambientales, la composición química del material, los organismos descomponedores y las características del suelo (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003). Esta complejidad hace pues, que las tasas de descomposición varíen en los diferentes ecosistemas y regiones del mundo.

En ecosistemas estacionales, como los bosques templados de encino, la descomposición varía por las temporadas del año, siendo pues en la época de lluvias donde se presenta la mayor tasa de descomposición (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003; Martinez-Yrizar & Sarukhan, 1993).

Los estudios de descomposición de combustibles forestales en México se han hecho principalmente en hojarasca, a través del método de masas remanentes. Poca atención ha sido dada a la degradación de los materiales leñosos.

La descomposición de la madera, como la hojarasca, influye de igual forma en los ciclos de nutrientes y la dinámica del carbono en la atmósfera (Aerts, 1997). El CO_2 que retorna a la atmósfera, a partir de los restos leñosos en descomposición, es comparable con la magnitud de la actual combustión global de los combustibles fósiles (Le Quéré et al., 2013).

Los combustibles leñosos presentes en los ecosistemas contribuyen en la salud de los bosques con la creación de hábitats para la fauna, algunas plantas y microorganismos (Tainter & McMinn, 1999). Los desechos maderables tienen el potencial de secuestrar enormes cantidades de C, en algunos ecosistemas comprende más de la mitad del carbono almacenado, aunque en la mayoría solo abarca del 5 al 10% del total (Hyde et al., 2011). La acumulación de estos materiales en los bosques es de gran importancia durante la temporada de incendios forestales, pues a pesar de que son los combustibles que tardan más en arder, una vez que lo logran, lo hacen con mayor intensidad.

La descomposición de los materiales leñosos es menor a la descomposición de la hojarasca, su tasa exponencial (*k*, año^{-1}) ha sido estimada en muchas regiones y va de 0.024 en bosques boreales a 0.167 en bosques tropicales húmedos (Liu et al., 2013).

El tamaño de los materiales leñosos es de suma importancia en el proceso de degradación, pues interviene de manera negativa ante la descomposición; siendo los materiales gruesos más resistentes a la pudrición que los delgados. En un bosque de *Fagus sylvatica* L. en Alemania, se estimó que el proceso de descomposición de los materiales menores a 1 cm de diámetro (1 y 10 h TR) toma 4 años; para los combustibles de 1 a 10 cm (10 y 100 h, y leñas delgadas de 1000 h) se tarda 16 años, y para los leñosos gruesos (mayores a 10 cm) 35 años, aproximadamente (Müller-Using & Bartsch, 2009).

El fuego es de importancia en el balance de la materia orgánica para aquellos ecosistemas dependientes de él. En estos ecosistemas es necesaria la restauración de los regímenes naturales del fuego, ya que forman parte de la dinámica de los combustibles. La mortandad de árboles y la ruptura de ramas, así como las actividades de aprovechamiento forestal, aumentan la cantidad de restos leñosos mientras que el fuego los remueve o transforma (Tainter y McMinn 1999).

El objetivo de la investigación fue evaluar la dinámica de los combustibles forestales durante la temporada de incendios forestales, estimando incorporación y descomposición de los principales materiales combustibles; también se estimó la humedad de los combustibles leñosos presentes en el encinar de estudio.

4.2 Materiales y métodos

El área de estudio se ubica en la vertiente del río “Los Hornos” que atraviesa la comunidad de San Pablo Ixayoc, perteneciente a la cuenca del Río Texcoco, en

el oriente del Estado de México. Se caracteriza por un relieve accidentado, representado por laderas escarpadas, lomeríos y cañadas. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano , la precipitación promedio anual va en el rango de 620 a 770 mm (Augustine Molumeli et al., 2008) y una temperatura media anual de 15.9 °C (Adame-Martínez et al., 2000).

El dosel forestal que conformó el área de investigación tenía dominancia de *Quercus crassipes* Humb. & Bonpl., *Q. rugosa* Neé y *Q. laeta* Liebm., y menor presencia *Q. laurina* Humb. & Bonpl; además se encontró el encino arbustivo *Q. frutex* Trel. en los espacios abiertos de las cañadas secas. Esta identificación se hizo de acuerdo a las claves dicotómicas de Romero Rangel, Rojas Zenteno y Aguilar Enríquez (2002) para encinos del Estado de México. *Quercus rugosa* predominaba sobre la ladera seca, que presentaba una exposición suroeste con mayor radiación y menor cubierta forestal. Mientras que la ladera húmeda, con exposición noreste, presentaba mayor cubierta forestal, menores temperatura, mayor humedad ambiental y menor radiación solar, disponía de una mezcla de las otras tres especies (Figura 4).

Figura 4. Panorámica de las laderas noreste y suroeste.

4.2.1 Estimación de la incorporación de los combustibles forestales

La estimación de la carga de incorporación o deposición de los materiales combustibles en el encinar se realizó con el uso de trampas de hojarasca. Estas trampas tienen la finalidad de recolectar las hojas, ramas y otros materiales que caen de la copa de los árboles.

Se construyeron con bastidores de madera y tul, de 1 m^2 de área y 40 cm de fondo (Figura 5). Se confeccionaron manualmente, cosidas con hilo de cáñamo, en forma de pirámide invertida. Se unió al cuadrante de madera, de 1m^2 al interior, con grapas de 24 mm.

Figura 5. Trampas de hojarasca

El día 5 de noviembre de 2015 se instalaron 12 trampas en diferentes sitios y condiciones de la cuenca, buscando cubrir las distintas orientaciones de las laderas y cubiertas arbóreas (Cuadro 8).

Cuadro 8. Georreferenciación de las trampas, coordenadas UTM (14Q, m).

Sitios	X	Y	Altitud	Condición
1	522851	2152070	2747	Húmeda
2	522836	2152049	2752	Seca
3	523095	2151889	2765	Seca
4	523192	2151723	2724	Seca
5	522436	2151393	NR	Húmeda
6	523314	2151575	2728	Seca
7	523345	2151543	2737	Húmeda
8	523297	2151536	2748	Húmeda
9	523323	2151522	2758	Húmeda
10	523384	2151486	2754	Seca
11	523401	2151525	2727	Seca
12	522991	2151969	2759	Seca

NR= no reportado

El material atrapado en las trampas (Figura 6), fue recolectado y llevado a laboratorio. La recolección del material fue hecha en dos ocasiones durante el periodo de secas (cada tres meses, en seis meses). La primera recolección se hizo el 5 de febrero y la última recolección el 20 de mayo del 2016.

Figura 6. Material combustible recolectado por las trampas.

En laboratorio el material combustible recolectado, se separó por: leñas, hojarasca, frutos, semillas, entre otras (Figura 7), antes de ser metidas a la estufa de secado. No se encontraron materiales leñosos superiores a 10 h TR.

Figura 7. Separación de los materiales por tipo de combustible.

El secado se hizo a temperaturas de 75 a 80°C, hasta alcanzar un peso constante, que correspondió al peso anhidro. La determinación de la carga por tipo de combustible, se obtuvo dividiendo el peso de cada material en g por el área de la trampa de hojarasca (1 m^2). El resultado fue la carga de combustible en g m^{-2}, posteriormente fue extrapolado a Mg ha^{-1}. La carga se reportó por trimestre y por tipo de material combustible.

La suma de la carga de los dos trimestres, según el tipo de material combustible, fue la biomasa total incorporada en el sitio de la trampa durante el periodo de estudio. El promedio de la biomasa de todas las trampas, fue la biomasa promedio incorporada de un determinado combustible. La suma de las biomasa promedio de todos los combustibles, fue la biomasa total del material depositado durante la temporada de incendios forestales, para el bosque de encino.

4.2.2 Descomposición de hojarasca y ramas

Para la estimación de la degradación de los combustibles hojarasca se utilizó el método de bolsas de detritos (Bocock & Gilbert, 1957). Se elaboraron 60 bolsas de tul de 10 cm de ancho por 20 cm de largo (Figura 8). De ellas 29 se dispusieron para contener materiales de 1 h TR, 20 para 10 h TR, y 11 para determinar el peso anhidro de la hojarasca.

Figura 8. Preparación de bolsas de detritos

Todas las bolsas contenían 15 g de hojarasca, peso fresco (Figura 9).

Figura 9. Pesajes en fresco de hojarasca.

En la evaluación de la descomposición de los materiales leñosos de 1 y 10 h TR, se agruparon segmentos de leña a un peso fresco estándar, denominados clase. Las ramillas eran ajustadas al peso estandarizado recortando extremos, hasta

acertar con el peso de alguna de las clases. Los materiales se introdujeron en las bolsas de detritos, identificando la clase a la que pertenecían, por el color del hilo cáñamo con la que fueron sellados. Fueron 149 ramillas de 1 h TR agrupadas en las siguientes clases de pesos estandarizados: 0.1, 0.2, 0.3 0.5, 1 y 2 g (Cuadro 9).

Cuadro 9. Muestras con 1 h TR enviadas a campo

Clase	Cantidad de leñas por bolsa	Cantidad de bolsas por clase	Total de leñas	Color de hilo que selló la bolsa
0.1	10	5	50	Amarillo
0.2	10	6	60	Rosa
0.3	10	5	50	Negro
0.5	10	6	60	Amarillo (sintético)
1	5	5	25	Amarillo
2	2	2	4	Rosa

Para combustibles leñosos con 10 h TR se obtuvieron 73 ramillas agrupados en las siguientes clases de peso fresco: 0.3, 0.4, 0.5, 1, 3, 5, 10, y 9 y 30 g (Cuadro 10).

Cuadro 10. Muestras con 10 h TR enviadas a campo

Peso seco	Cantidad de leñas por bolsa	Cantidad de bolsas por clase	Total de leñas	Color de hilo que selló la bolsa
0.3	6	1	8	Amarillo
0.4	8	1	8	Rosa
0.5	6	1	6	Negro
1	4	4	16	Amarillo (sintético)
3	4	4	16	Amarillo
5	4	1	4	Rosa
10	3	3	9	Negro
19	2	3	6	Amarillo (sintético)
30	1	2	2	Amarillo con negro

La hojarasca de las 11 bolsas que no fueron enviadas a campo, se metieron en estufas de secado a una temperatura de 75 °C, hasta alcanzar el peso constante (peso anhidro). El promedio del peso seco de las 11 bolsas fue 13.469 g, este peso fue referido al peso seco con que toda la hojarasca salió a campo.

Muestras de los materiales leñosos finos (32 leñas de 1 h TR y 12 de 10 h TR) se metieron a la estufa de secado, de acuerdo a la clase que pertenecieron. La deshidratación se hizo a 80 °C de temperatura, hasta alcanzar su peso constante (más de tres semanas). Con este proceso se determinó el peso anhidro de los combustibles por clase. De ello se obtuvieron factores de conversión para obtener el peso anhidro a partir del peso fresco de los materiales, de la siguiente forma:

$$Fc = 1 - (\frac{Pfc - PSc}{Pfc})$$

Donde:

F_C= Factor de conversión para determinada clase,

PF_C= Peso fresco de la clase, y

PS_C= peso seco promedio de la clase.

El promedio de los factores por clase fue el factor de conversión por tiempo de retardo. Este valor fue 0.832 para los combustibles de 1 h TR y de 0.874 para los materiales de 10 h TR. Los factores multiplicaron a los pesos frescos de los materiales que salieron a campo para inferir el peso seco inicial. No se consideró conveniente obtener el peso anhidro de la hojarasca y los segmentos de ramas que se enviaron a campo, con la finalidad de no intervenir en el proceso natural de descomposición.

El 15 de diciembre de 2015, las bolsas con material leñoso se instalaron en cuatro sitios del encinar:

- Sitio 1: ladera húmeda con dosel cerrado

- Sitio 2: ladera húmeda con dosel ralo
- Sitio 3: ladera seca con dosel abierto
- Sitio 4 ladera seca con dosel cerrado

Una vez terminada la temporada seca del año, el 20 de mayo de 2016 se recogieron los materiales, y en laboratorio se obtuvieron los pesos secos, procesados por separado según la condición a la cual fue llevada. En hojarascas el secado fue a temperaturas de 75°C, hasta alcanzar el peso constante.

Los materiales leñosos también fueron separados según la condición a la que fueron puestos en campo, y de acuerdo a la clase de peso fresco que correspondieron. Se sometieron a deshidratación para determinar el peso anhidro, a temperaturas de 80°C. Se registró el peso anhidro de cada material, y se reportó el peso anhidro promedio por clase, según la condición a la que pertenecieron.

La estimación de las tasas de descomposición (*k*) de hojarasca y leñas finas, se determinó usando el modelo exponencial negativo simple de Olson (1963). Para ello, primeramente se determinó la masa remanente de los materiales, tal y como lo detallan Petit-Aldana et al. (2012), con la siguiente ecuación:

$$\%MR = \frac{M_t}{M_0}(100)$$

donde:

%MR= porcentaje de masa remanente,

M_t= Peso seco del material remanente en el tiempo t, en este caso al final de la temporada de incendios forestales, y

M_0= Peso inicial del material.

La determinación de las masas remanentes se reportó por sitio. En hojarasca, el peso inicial fue de 13.469 g, el peso final correspondió al peso seco de la hojarasca contenida en cada las bolsas de detrito, para cada condición o sitio. El promedio de las masas remanentes de la hojarasca de un mismo sitio,

correspondió a la masa remanente de esa condición. El promedio de las cuatro condiciones se asumió como la masa remante del encinar.

El peso inicial de los materiales leñosos (M_0) correspondió al producto de multiplicar el factor de conversión, correspondiente para cada TR, con el peso fresco (clase). El peso seco al término de la temporada de incendios (M_t), fue el peso que mantenía cada ramilla una vez terminada la temporada de evaluación. La masa remante del sitio correspondió al promedio aritmético de las masas remanentes de las ramillas. Según el TR se obtuvieron dos masas remantes, una de los materiales de 1 h TR y la otra de las ramillas de 10 h TR. El promedio aritmético de las masas remanentes de los cuatro sitios, correspondió a la masa remanente del encinar según el TR.

Con las masas remanentes de los materiales individualmente, se determinó la constante de descomposición *k*, linealizando el modelo exponencial negativo simple de Olson (1963):

$$Mt = M0\ e^{-k\,t}$$

$$-\ln(\frac{Mt}{M0}) = k\,t$$

Donde

M0= masa en el tiempo 0,

Mt= la masa en el tiempo t,

t = tiempo de incubación, se igualó a uno referido a la temporada de incendios forestales, en la determinación por días, correspondió a 161 días; y

k = constante de descomposición.

Por condición del bosque, se determinó la constante promedio, según el tipo de material (hojarasca, leñas de 1 y 10 h TR). El promedio de las masas remanentes y el promedio de las constantes de descomposición (*k*) de las cuatro condiciones se asumieron como valores del bosque de estudio. Las constantes de descomposición estimadas para el encinar, se emplearon para estimar la descomposición de las cargas de los combustibles al inicio de la temporada de

incendios.

Al comienzo del estiaje, se hizo una estimación de las cargas de combustibles forestales, esta carga está reportada en el capítulo III de la presente investigación. La carga de hojarasca correspondió a 38.26 Mg ha^{-1}. La carga de los combustibles leñosos fue el obtenido con el método de Van Wagner (1982), usando densidades básicas de los materiales presentes en el piso forestal, siendo 9.83 Mg ha^{-1}; de esta cantidad, 3.60 M ha^{-1} correspondió a los combustibles leñosos de 1 y 10 h TR.

Las cargas iniciales multiplicados por la constante *k*, determinaron la masa remanente al término de la temporada de estiaje (Olson, 1963). Para determinar la acumulación de la carga de los combustibles en el área de estudio, a la masa remanente al término de la temporada de incendios, se añadió el material incorporado.

4.2.3 Degradación de las ramas de 100 h TR

Para la evaluación de la degradación de los combustibles de 100 h TR, se analizó la de reducción la densidad al final de la temporada de incendios forestales. Durante el levantamiento del muestreo de carga, se recolectaron 12 piezas de leñas. De estas leñas se fraccionó una pequeña parte que quedó en laboratorio para la obtención de la densidad básica, conforme lo descrito en el capítulo anterior. El resto de muestras se regresó al bosque, y fueron puestas en los sitios donde se instalaron las bolsas de hojarasca.

Al mismo tiempo que con los combustibles leñosos finos y la hojarasca, se recogió el material de 100 h TR. En laboratorio se determinó su volumen por desplazamiento de volumen de agua en probetas, debido a que era imposible determinarlo en la báscula digital. Posteriormente, los materiales se metieron a la estufa de secado a temperaturas 100°C (un mes aproximadamente), hasta alcanzar el peso anhidro.

El peso anhidro entre el volumen dio la densidad de los materiales. El promedio de los materiales se comparó con el promedió de la densidad de las muestras que quedaron en el laboratorio.

4.2.4 Humedad de combustibles leñosos

La humedad de los combustibles leñosos se obtuvo para tres momentos de la época seca del año: 20 de noviembre de 2015, 20 de febrero y 20 de mayo de 2016. Para la selección del material leñoso, se instaló un conglomerado de muestreo, igual al empleado para la estimación de carga de combustible leñoso (Capítulo III).

Cada momento de evaluación le correspondió a una línea de intersección, empezando por la línea con orientación norte y siguiendo en dirección a las manecillas del reloj. El material leñoso que intersectó la línea se pesó en campo, y posteriormente se trasladó a laboratorio en sobres de papel manila (3.5 por 6.5 in) o bolsas de papel (según el tamaño del material) donde se determinó su peso seco (Figura 10). Las tomas se hicieron a las 14:00 horas del día.

Figura 10. Obtención de peso fresco en campo.

La obtención del peso anhidro de los materiales se obtuvo eliminando la humedad en estufas de secado a temperaturas de 80 °C hasta alcanzar el peso constante. La humedad se obtuvo en porcentajes dividiendo la diferencia de pesos por el peso anhidro de los materiales.

4.2.1 Resultados y discusión

4.2.2 Humedad de combustibles leñosos

El contenido de humedad (CH) de los combustibles, de acuerdo con su tiempo de retardo, se muestra en el Cuadro 11. En el conglomerado de muestreo no hubo presencia de material de más de 100 h TR. Los materiales en su mayoría eran conformados por materiales de medio a alto grado de pudrición. Durante la evaluación de febrero y mayo, no se encontraron materiales de 100 h TR.

Cuadro 11. Contenido de humedad (%) del material leñoso

TR	Noviembre	Febrero	Mayo
1 h	36.78	14.15	21.77
10 h	45.78	11.66	42.23
100 h	31.08	N/P	N/P
Promedio general	37.88	12.90	32.00

N/P= no se encontraron

En la evaluación hecha en febrero se presentó la menor humedad en los combustibles leñosos, en el presente trabajo.

Una de las finalidades por la que se realizó esta prueba, era observar el comportamiento del CH en los materiales según el tiempo de retardo. De acuerdo a lo obtenido, no se apreció un patrón. Una de las causas pudo haber sido el no separar los materiales leñosos expuestos en la superficie de los materiales inmersos en la cama de combustibles.

Se hallaron diferencias significativas por el mes en que se realizó la estimación ($P < 0.0001$), no así por tiempo de retardo ($P = 0.0853$) ni para la interacción de ambos factores ($P=0.2027$). La prueba de Tukey arrojó diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las medias de noviembre y mayo, así como entre las de noviembre y febrero, pero no así entre febrero y mayo.

4.2.3 Incorporación de combustible forestal

Durante la separación de los materiales combustibles, no se encontró ramas mayores a 10 h TR. La trampa de hojarasca del sitio seis se cayó y perdió su material recolectado, por lo que para evitar sesgos en la estimación, se omitió en el promedio. La cantidad de combustible forestal (biomasa) incorporado a la carga del mantillo para el primer trimestre fue de 11.926 Mg ha^{-1}. En el Cuadro 12 se presenta el aporte para cada tipo de material combustible.

Cuadro 12. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en el trimestre Noviembre-febrero.

Noviembre-Febrero										
Sitio	Hojarasca	Leñas	Frutos y semillas	Inflorescencias	Cortezas	Herbáceas	Otros	Hojas de otra latifoliada	Acículas	Biomasa promedio
1	14.394	2.612	0.475	0.000	0.000	0.000	0.231	0.000	0.000	17.711
2	1.346	1.648	5.790	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.785
3	4.597	0.711	0.937	0.000	1.590	0.100	0.000	0.000	0.000	7.934
4	2.101	1.201	3.082	0.000	0.363	0.085	0.000	0.000	0.000	6.832
5	1.675	0.915	0.369	0.000	1.318	0.000	0.565	1.465	0.000	6.305
7	2.724	3.068	9.488	0.000	0.000	0.000	0.163	0.000	0.000	15.442
8	2.170	2.290	5.807	0.000	0.000	0.000	0.588	1.519	0.000	12.374
9	1.765	0.156	0.855	0.000	0.091	0.000	0.000	0.000	0.000	2.867
10	1.693	8.531	9.029	0.000	0.561	0.000	0.000	0.000	0.000	19.814
11	17.002	1.135	0.012	0.000	0.009	0.020	0.000	0.000	1.142	19.320
12	11.952	1.703	0.000	0.000	0.150	0.000	0.000	0.000	0.000	13.805
Promedio	**5.583**	**2.179**	**3.259**	**0.000**	**0.371**	**0.019**	**0.141**	**0.271**	**0.104**	**11.926**

En el segundo trimestre se apreció una mayor incorporación de los materiales combustibles (28.606 Mg ha^{-1}). A finales de febrero y el mes de marzo existieron fuertes vientos, que derribaron árboles, lo que favoreció el incremento de los materiales combustibles, aunado a la senescencia de hojas por la estacionalidad (Cuadro 13).

Cuadro 13. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en el trimestre febrero-mayo

Febrero-Mayo										
Sitio	Hojarasca	Leñas	Frutos y semillas	Inflorescencias	Cortezas	Herbáceas	Otros	Hojas de otra latifoliada	Acículas	Biomasa promedio
1	29.763	3.949	0.267	1.389	0.337	0.303	0.712	1.198	0.000	37.917
2	12.390	0.651	0.725	1.308	0.026	0.405	0.000	0.000	0.000	15.504
3	19.663	7.336	0.000	1.380	1.980	0.346	0.988	0.000	0.000	31.693
4	20.852	5.928	0.418	0.287	0.663	0.456	2.406	0.065	0.000	31.075
5	20.669	4.166	0.000	0.103	1.456	0.000	0.000	1.215	0.033	27.643
7	26.124	10.140	0.304	0.000	0.541	0.965	0.000	0.000	0.000	38.074
8	22.923	5.722	0.684	0.309	0.264	0.109	1.328	1.474	0.000	32.813
9	5.537	0.562	0.000	0.052	0.061	0.049	0.086	0.511	0.000	6.857
10	14.446	7.058	0.489	0.223	0.582	0.063	0.657	0.000	0.000	23.517
11	17.893	3.045	0.000	1.711	0.181	0.080	0.321	0.298	0.087	23.616
12	28.723	11.105	0.000	2.257	2.005	0.473	1.391	0.000	0.000	45.954
Promedio	**19.907**	**5.424**	**0.262**	**0.820**	**0.736**	**0.295**	**0.717**	**0.433**	**0.011**	**28.606**

La cantidad total de combustible forestal que se incorporó al mantillo, durante la temporada de incendios forestales, fue 40.532 Mg ha^{-1} (Cuadro 14). Esta alta tasa de entrada se debe a que la evaluación que presente, corresponde únicamente para la temporada seca, época donde hay mayor incorporación de material combustible (Martinez-Yrizar & Sarukhan, 1993). En dos bosques secos de eucalipto en Australia Occidental, las entradas más altas de combustible se estimaron en 1.3 y 2.9 Mg ha^{-1} durante la temporada de incendios veraniegos (Gould et al., 2007).

Cuadro 14. Cantidad de material combustible (Mg ha^{-1}) incorporado al piso forestal en la temporada seca del año.

Sitio	Hojarasca	Leña	Frutos y semillas	Inflorescencias	Cortezas	Herbáceas	Otros	Hojas de otra latifoliada	Acículas	Biomasa promedio
1	44.156	6.561	0.742	1.389	0.337	0.303	0.942	1.198	0.000	55.629
2	13.736	2.299	6.515	1.308	0.026	0.405	0.000	0.000	0.000	24.289
3	24.260	8.047	0.937	1.380	3.570	0.445	0.988	0.000	0.000	39.627
4	22.953	7.129	3.501	0.287	1.026	0.541	2.406	0.065	0.000	37.907
5	22.343	5.081	0.369	0.103	2.774	0.000	0.565	2.680	0.033	33.948
7	28.848	13.208	9.792	0.000	0.541	0.965	0.163	0.000	0.000	53.516
8	25.093	8.012	6.492	0.309	0.264	0.109	1.916	2.993	0.000	45.187
9	7.302	0.718	0.855	0.052	0.152	0.049	0.086	0.511	0.000	9.725
10	16.139	15.589	9.517	0.223	1.143	0.063	0.657	0.000	0.000	43.330
11	34.895	4.180	0.012	1.711	0.190	0.100	0.321	0.298	1.229	42.936
12	40.675	12.809	0.000	2.257	2.155	0.473	1.391	0.000	0.000	59.759
Promedio	**25.491**	**7.603**	**3.521**	**0.820**	**1.107**	**0.314**	**0.858**	**0.704**	**0.115**	**40.532**

La hojarasca es el material que mayormente se incorpora en ambos trimestres; en el trimestre de noviembre los frutos tienen una gran presencia, pero que en febrero ya no, pues coincide con el inicio de la primavera, encontrándose entonces amentos de encinos (Figura 11).

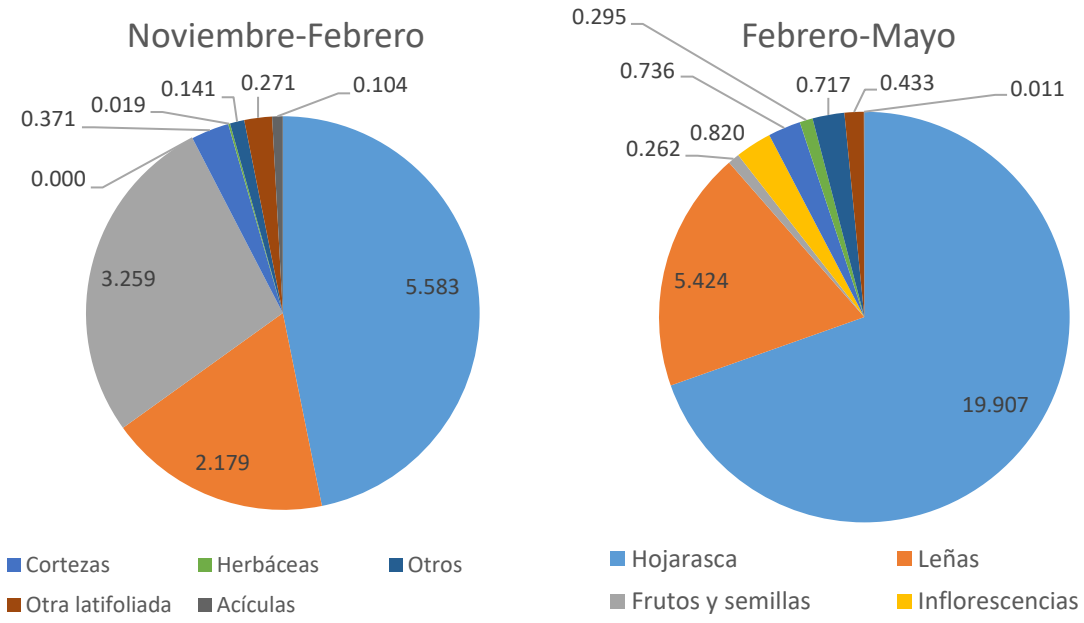

Figura 11. Biomasa (Mg ha^{-1}) por clase en dos épocas

La hojarasca conformó un 62.89% del material combustible que se incorpora en a la carga de combustible del encinar seguido de ramas y ramillas (Figura 12), esto se debió al comportamiento semicaducifolio de las especies que conforman el bosque.

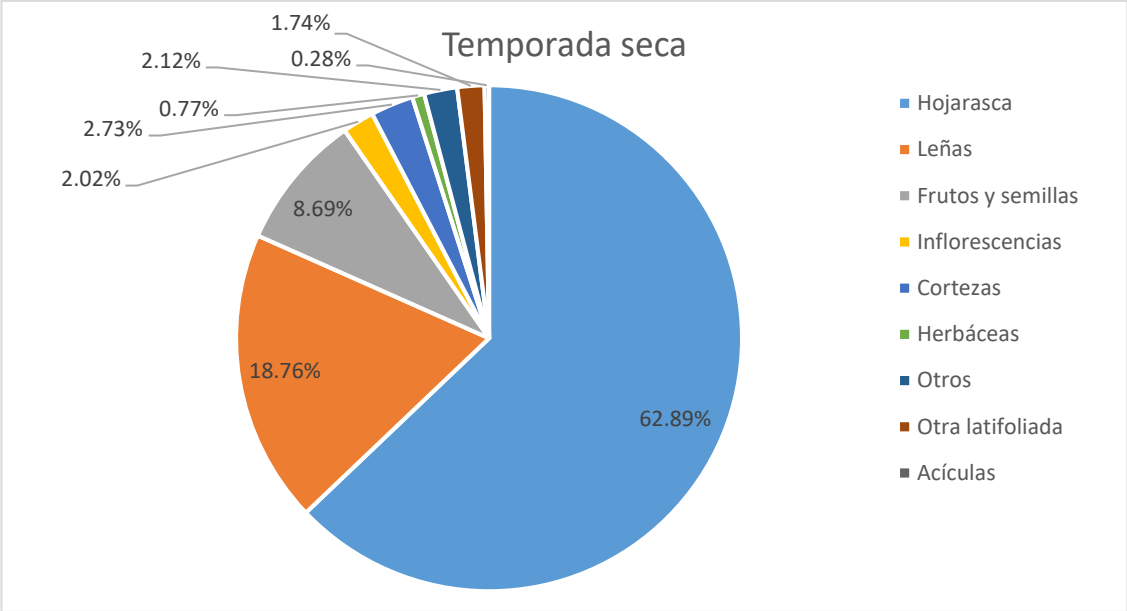

Figura 12. Porcentaje por tipo de material de la biomasa total incorporada en el estiaje.

La entrada promedio de hojarasca en la ladera húmeda fue 25.55 Mg ha^{-1} y en ladera seca alcanzó 25.44 Mg ha^{-1}. No se hallaron diferencias significativas entre ambas laderas (prueba t de Student, P=0.9886).

La entrada promedio de materiales leñosos fue 8.34 Mg ha^{-1} en la ladera seca, y 6.72 Mg ha^{-1} en la ladera húmeda, sin diferencias estadísticamente significativas entre ambas (P=0.5921). La biomasa de entrada reportada para leñas, corresponde a materiales de 1 y 10 TR, pues no se obtuvieron materiales con mayor TR.

4.2.4 Tasas de descomposición

La tasa de descomposición de la hojarasca se obtuvo para los cuatros sitios. La reducción promedio de la masa, para todo el encinar, no fue mayor al 8%, los

sitios húmedos fueron los que presentaron mayor pérdida (10.598% y 7.822%). La estación seca sin cubierta forestal mostró menos pérdida (Cuadro 15). La tasa de descomposición *k*, para el material hojarasca de encino durante la temporada seca del año fue de 0.0819.

Cuadro 15. Tasa de descomposición de la hojarasca

SITIO	%MR	*k*	*k* (días)
I	89.402	0.1144	0.00071
II	92.178	0.0821	0.00051
III	93.717	0.0650	0.00040
IV	93.222	0.0693	0.00043
Promedio	92.130	0.0827	0.00051

%MR= Porcentaje de masa remanente

En el análisis de las tasas de descomposición de hojarasca, solamente el factor ladera resultó significativo, con P=0.0202. No así el factor cobertura (P=0.1783) ni la interacción (P=0.3083).

La tasa de descomposición (*k*) en la temporada de incendios para los combustibles de 1 h fue de 0.0861 y para los combustibles de 10 h fue 0.0404 (Cuadro 16).

Cuadro 16. Tasa de descomposición para materiales de 1 h y 10 h de tiempo de retardo

	Combustibles 1 h TR			Combustibles 10 h TR		
SITIO	%MR	*k*	*k* (días)	%MR	*k*	*k* (días)
I	91.659	0.0928	0.00058	95.287	0.0486	0.00030
II	91.491	0.0939	0.00058	95.371	0.0481	0.00029
III	94.004	0.0712	0.00044	98.480	0.0169	0.00011
IV	92.252	0.0863	0.00054	95.318	0.0481	0.00030
Promedio	92.351	0.0861	0.00053	96.114	0.0404	0.00025

%MR= Porcentaje de masa remanente

De acuerdo con los pesos remanentes al final de la temporada, se encontró mayor deterioro en los combustibles de 1 h TR, perdiendo más del 7 % de su masa, mientras que los combustibles de 10 h TR no alcanzaron el 5 %. Los sitios secos (III y IV) son los que mayormente conservaron la masa inicial.

Las tasas de descomposición son bajas si los comparamos con lo reportado en los bosques deciduos de los Apalaches, en Carolina del Norte, donde la tasa de descomposición anual de *Q. alba* osciló en 0.17 a 0.25 año^{-1} para los combustibles leñosos finos (Fasth, Harmon, & Sexton, 2011). Una de las causas de tener valores de *k* bajos, se atribuye a que la presente investigación tuvo como objetivo únicamente durante la temporada seca del año, siendo pues que la descomposición se efectúa máximo durante la temporada de lluvia (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003).

Que los combustibles de 10 h TR presentaran menores tasas de descomposición pudo deberse al efecto de la relación superficie/volumen de los materiales. Las ramillas de 1 h TR tienen una mayor superficie de contacto, por unidad de volumen, con los agentes degradadores bióticos y abióticos, en comparación con los materiales de 10 h TR. Además de que el grosor de los combustibles de 10 h TR, les confirió mayor resistencia a la descomposición (Herrmann, Kahl, & Bauhus, 2015; Mattson, Swank, & Waide, 1987).

Müller-Using y Bartsch (2009) reportan constantes de descomposición menores en materiales leñosos gruesos, 0.089, comparados con 0.178 de ramas con diámetros entre 1 y 10 cm, y 0.22 de ramillas menores a 1 cm de diámetro; esta variación hizo que la descomposición de ramillas menores a 1 cm ocupara 4 años, un cuarto del tiempo de los materiales menores de 10 cm (16 años).

Otro factor que probablemente intervino en la diferencia de tasas de descomposición, fue el nivel de degradación de los materiales al incorporarse al suelo, siendo pues que la tasa de descomposición es mayor al inicio del proceso

de pudrición y con el tiempo se torna lenta (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003; Killham, 1994; Müller-Using & Bartsch, 2009). Los materiales firmes que se incorporan a la cama de combustible, al principio presentan una acelerada descomposición al entrar en contacto con los microorganismos descomponedores y humedad del suelo, mientras los árboles en pie, incluyendo las ramas muertas retenidas en el árbol, mantienen una lenta descomposición en el aire (Hérault et al., 2010), y una vez que caen, su descomposición continua pero no con la misma tasa.

Cómo se había discutido en el capítulo anterior, las ramillas de 1 h TR, una vez terminado su proceso de abscisión caen al piso, mientras que algunas ramillas de 10 h TR permanecen adheridas al árbol. Este fenómeno puede ser también una de las causas por las que tienen una mayor cantidad de biomasa de incorporación en el piso forestal.

Comparando las diferencias de las tasas de descomposición en combustibles de 1 h TR, por condición de la ladera y cobertura forestal, y usando modelos de efectos, no se encontró diferencias significativas en las tasas de descomposición.

Las tasas de descomposición de combustibles de 10 h TR, arrojaron mejores respuestas empleando los modelos de efectos. No se hallaron diferencias significativas por ladera (P = 0.1260) y cobertura forestal (P=0.1268), pero si con la interacción ladera*cubierta (P=0.0338). Aquí se consideró como covariable el diámetro de los materiales leñosos, pero no resultó significativo (P=0.0574).

La mayor tasa de descomposición (en hojarasca y leñas de 10 h TR) en la ladera húmeda, con respecto a la seca, coincide con lo hallado por Bonilla et al. (2013) para Q. crassifolia Humb. & Bonpl. en Chignahuapan, Puebla.

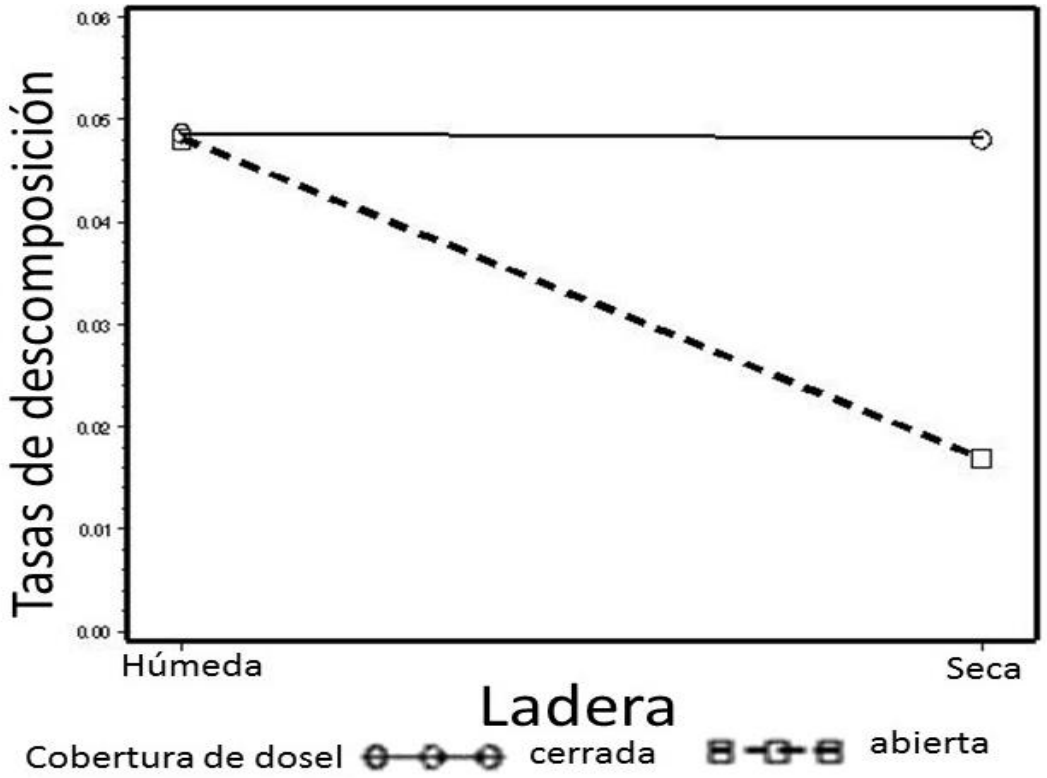

Figura 13. Gráfica de interacción ladera-cobertura forestal

4.2.5 Densidades básicas de combustibles leñosos

En la evaluación de la descomposición de los combustibles de 100 h TR, usando la densidad básica, se obtuvo un decremento mayor al 17% de la densidad inicial, al final de la temporada de incendios (Cuadro 17).

Cuadro 17. Densidades de combustibles de 100 h TR.

TR	Densidad inicial (g cm^{-3})	Densidad final (g cm^{-3})	Decremento (%)	*k*
100 h	0.452	0.373	17.45	0.1932

Las diferencias de densidades al inicio y final de la temporada en combustibles leñosos, son estadísticamente significativas (P=0.0060).

Comparado con datos anuales reportados en diferentes investigaciones, este decremento es sumamente alto para el tiempo de evaluación. Una de las causas

probables pude ser el método de volumetría que se empleó para los materiales de grandes dimensiones. Este porcentaje de decremento en densidad básica, fue similar a lo reportado para un año en latifoliadas del sureste de los Apalaches, en Carolina del Norte (Mattson et al., 1987). En coníferas y eucaliptos de bosques y plantaciones de Australia, este porcentaje de decremento en densidad básica por descomposición natural, se consiguió después de los 2 años (Mackensen & Bauhus, 2003).

Los encinos por naturaleza forman duramen en la madera, por ello se espera que los combustibles de 100 h TR presenten una menor tasa de descomposición. Tainter y McMinn (1999), encontraron que la densidad básica de la albura, evaluada en tres condiciones ambientales, disminuyó con forme pasó el tiempo, pero no fue así en el duramen.

Comparando con las selvas tropicales, donde se espera tener en general altas tasas de descomposición, existen especies que muestran una resistencia a la descomposición. Tal es el caso de los géneros *Gymnates*, *Mastichodendron*, *Drypetes*, *Krugiodendron*, *Manilkara* y *Myrcianthes* (Álvarez-Sánchez & Harmon, 2003). Tamarit-Urias y Fuentes-Salinas (2003) reportan para *Manilkara zapota* (L.) P. Royen una densidad de 0.86 g cm^{-3}, y Fuentes-Salinas et al. (2008) señalan para *Myrcianthes fragrans* (Sw.) McVaugh var. *fragrans* y *Drypetes lateriflora* (Sw.) Drug et Urban una densidad básica de 0.72 g cm^{-3} y *Krugiodendron ferreum* (Vahl) Urban 0.91 g cm^{-3}. Estas especies son clasificadas como duras y densas, al igual que la madera de encino. Podemos afirmar que esta dureza le confiere a los combustibles leñosos de *Quercus*, resistencia a la descomposición, y sea una causante de las lentas tasas de descomposición.

Estimar la tasa de producción y descomposición de combustibles leñosos gruesos (100 h y 1000 h) es difícil de abordar, su estudio requiere largos periodos de observación sobre áreas extensas (Harmon et al., 1986).

4.2.6 Dinámica de combustibles

La constante *k* de los combustibles leñosos 1 y 10 h TR reportados en el Cuadro 18, corresponde al promedio de las constantes generarles para 1 y 10 h TR.

Cuadro 18. Dinámica de combustible

Combustible	Carga inicial (Mg ha^{-1})	*k*	MR (Mg ha^{-1})	Entrada (Mg ha^{-1})	Material acumulado (Mg ha^{-1})	Incremento (%)
Leñas (1 y 10 h TR)	3.60	0.0632	3.38	7.603	10.983	204.98
Hojarasca	38.26	0.0827	35.225	25.491	60.716	58.68

MR= masa remante de la carga inicial al final de la temporada de incendios

La descomposición de hojarasca fue en 3.00 Mg ha^{-1} y la carga de leñas disminuyó en 0.211 Mg ha^{-1}. Esta descomposición equivale a una disminución de 5.86% de la carga inicial de los combustibles leñosos, y 7.86% en hojarasca. La incorporación del nuevo material combustible esta se anexó a la masa remante. Al final de la temporada de estiaje se estimó un incremento de 204.98% en materiales de 1 y 10 h TR, y 58.76%. La carga de combustible forestal es un peligro ante sequias prolongadas y la incidencia de un incendio forestal.

Comparando la dinámica de combustibles entre condiciones húmedas y secas de la vertiente del río los Hornos, se observa menor incorporación de hojarasca en las condiciones secas, sin embargo esta diferencia no es mayor a 0.5 Mg. En esta condición, la baja tasas de descomposición permitió una mayor acumulación de combustible al término de la temporada de incendios, comparada con la ladera húmeda (Cuadro 19).

Cuadro 19. Dinámica de hojarasca por condición de ladera.

Ladera	Carga inicial (Mg ha^{-1})	*k*	MR (Mg ha^{-1})	Entrada (Mg ha^{-1})	Material acumulado (Mg ha^{-1})	Incremento (%)
Seca	38.507	0.0671	36.006	25.442	61.448	59.577
Húmeda	38.016	0.0983	34.459	25.547	60.006	57.842

En combustibles leñosos esta comportamiento fue diferente, la entrada de los materiales leñosos, fue mayor en las condiciones secas del arbolado (Cuadro 20). Siendo la acumulación mayor en la ladera seca. Al final de la temporada se tuvo un incremento de hasta 265.82% en la condición seca.

Cuadro 20. Dinámica de leñas finas por condición de la ladera.

Ladera	Carga inicial (Mg ha^{-1})	*k*	MR (Mg ha^{-1})	Entrada (Mg ha^{-1})	Material acumulado (Mg ha^{-1})	Incremento (%)
seca	3.079	0.0556	2.912	8.342	11.254	265.552
húmeda	4.124	0.0708	3.842	6.716	10.558	156.004

4.3 Conclusiones

La hojarasca presenta la segunda mayor tasa de descomposición, sin embargo es la que mayor tasa de biomasa incorporada al piso forestal.

La acumulación del material combustible al final de la temporada, frente una sequía prolongada, es un peligro catastrófico si se presentara un incendio forestal.

La masa esta un una etapa de acumulación de biomasa muerta sobre el piso forestal.

La alta densidad básica, el grosor y la presencia de duramen en los combustibles leñosos ofrecen resistencia a la descomposición.

Las ramillas de 1 y 10 h TR son las más dinámicas en comparación de los combustibles leñosos, estos últimos no fueron observados en la evaluación de incorporación.

4.4 Recomendación

Necesario también es hacer estudios sobre la producción de bellotas y su viabilidad ante el paso de incendios, para conocer la posibilidad de que algunas de las especies presentes en el encinar de estudio, presente cierta resistencia a la desecación y tolerancia al fuego.

Habrá que hacer la evaluación de la descomposición durante la temporada de lluvias, para hacer una aseveración respecto la dependencia del bosque al fuego en la reducción de cargas y dinámica de nutrientes.

4.5 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico (beca) en los estudios de posgrado, a la Universidad Autónoma Chapingo por acobijar y permitir cumplir la investigación, y al pueblo de México por permitirme este logro.

A Ramón Aguirre, Edgardo González, Argelia Luna, Jorge Piliado, José Becerra, Antonio Vazquez y Mayra Aragón, estudiantes chapingueros, por su desinteresada colaboración durante la etapa de campo, infinitamente gracias.

Al pueblo de San Pablo Ixayoc, por su noble cooperación.

4.6 Literatura citada

Adame-Martínez, S., Oropeza-Mota, J. L., Martínez-Ménez, M. R., Santoyo-Cortés, V. H., & Ramírez-Guzmán, M. E. (2000). Evaluación económica del proyecto de rehabilitación de suelos en la cuenca del río Texcoco. *Agrociencia*, *34*, 509–521.

Aerts, R. (1997). Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos*, *79*(3), 439–449.

Álvarez-Sánchez, J., & Harmon, M. E. (2003). Descomposición de hojarasca: hojas y madera. En J. Álvarez-Sánchez & E. Naranjo-García (Eds.), *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México* (pp. 108–122). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Facultad de Ciencias.

Augustine Molumeli, P., Espinosa Hernández, V., Ehsan, M., Benedicto Valdez, S., Ojeda Trejo, E., Cetina Álcala, V. M., & Santamaría Delgado, K. (2008). Lupines-invaded pine forest and cultivated scrublands in volcanic ash soils in Mexico: Dry-sieved aggregation and instability indices. *International Journal of Botany*, *4*(4), 390–405.

Bocock, K. L., & Gilbert, O. J. W. (1957). The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Plant and Soil*, *9*(2), 179–185. http://doi.org/10.1007/BF01398924

Bonilla P., E., Rodríguez T., D. A., Borja de la Rosa, A., Cíntora G., C., & Santillán P., J. (2013). Dinámica de combustibles en rodales de encino-pino de Chignahuapan, Puebla. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 4(19), 20-33.

Fasth, B. G., Harmon, M. E., & Sexton, J. (2011). Decomposition of fine woody debris North Carolina. *Journal of the Torrey Botanical Society*, *138*(2), 192– 206.

Fuentes-Salinas, M., Correa-Méndez, F., Borja-de la Rosa, A., & Corona-Ambriz, A. (2008). Características tecnológicas de 16 maderas del estado de Tamaulipas, que influyen en la fabricación de tableros de partículas y de fibras. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *14*(1), 65–71.

Gallardo, A., Covelo, F., Morillas, L., & Delgado, M. (2009). Ciclos de nutrientes y procesos edáficos en los ecosistemas terrestres : especificidades del caso mediterráneo y sus implicaciones para las relaciones suelo-planta. *Ecosistemas*, *18*(2), 4–19. http://doi.org/10.7818/re.2014.18-2.00

Gould, J. S., MtCaw, W. L., Cheney, N. P., Ellis, P. F., Knight, I. K., & Sullivan, A. L. (2007). *Project Vesta-Fire in dry Eucalypt forest : fuel structure, fuel dynamics and fire behaviour*. Perth WA: Ensis-CSIRO, Canberra ACT, Departmen of Environmen and Conservation.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., & Cummins, K. W. (1986). Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. En *Advances in Ecological Research* (Vol. 15, pp. 132–276). http://doi.org/10.1016/S0065-2504(03)34002-4

Heal, O. W., Anderson, J. M., & Swift, M. J. (1997). Plant litter quality and decomposition: an historical overview. En G. Cadisch & K. E. Giller (Eds.), *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition* (pp. 3–30). Cambridge, London, UK.: University Press.

Hérault, B., Beauchêne, J., Muller, F., Wagner, F., Baraloto, C., Blanc, L., & Martin, J. M. (2010). Modeling decay rates of dead wood in a neotropical forest. *Oecologia*, *164*(1), 243–251. http://doi.org/10.1007/s00442-010-1602-8

Herrmann, S., Kahl, T., & Bauhus, J. (2015). Decomposition dynamics of coarse woody debris of three important central European tree species. *Forest Ecosystems*, *2*(1), 27. http://doi.org/10.1186/s40663-015-0052-5

Hyde, J. C., Smith, A. M. S., Ottmar, R. D., Alvarado, E. C., & Morgan, P. (2011). The combustion of sound and rotten coarse woody debris: a review. *International Journal of Wildland Fire*, *20*, 163–174.

Karberg, N. J., Scott, N. A., & Giardina, C. P. (2008). Methods for Estimating Litter Decomposition. *Field Measurements for Forest Carbon Monitoring*, 103–111.http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2004.04.016

Killham, K. (1994). *Soil ecology*. Cambridge University Press.

Landsberg, J. J., & Gower, S. T. (1997). *Applications of physiological ecology to forest management*. Academic Press.

Liu, W., Schaefer, D., Qiao, L., & Liu, X. (2013). What controls the variability of wood-decay rates? *Forest Ecology and Management*, *310*, 623–631. http://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.013

Mackensen, J., & Bauhus, J. (2003). Density loss and respiration rates in coarse woody debris of *Pinus radiata*, *Eucalyptus regnans* and *Eucalyptus maculata*. *Soil Biology and Biochemistry*, *35*(1), 177–186. http://doi.org/10.1016/S00380717(02)00255-9

Martinez-Yrizar, A., & Sarukhan, J. (1993). Cambios estacionales del mantillo en el suelo de un bosque tropical caducifolio y uno subcaducifolio en Chamela, Jalisco, México. *Acta Botánica Mexicana*, *21*, 1–6.

Mattson, K., Swank, W., & Waide, J. (1987). Decomposition of woody debris in a regenerating, clear-cut forest in Southern Appalachians. *Canadian Journal of Forest Research*, *17*, 712–721. http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

Müller-Using, S., & Bartsch, N. (2009). Decay dynamic of coarse and fine woody debris of a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Central Germany. *European Journal of Forest Research*, *128*(3), 287–296. http://doi.org/10.1007/s10342009-0264-8

Olson, J. S. (1963). Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, *44*(2), 322–331.

Petit-Aldana, J., Uribe-Valle, G., Casanova-Lugo, F., Solorio-Sánchez, J., & Ramírez-Avilés, L. (2012). Descomposición y liberación de nitrógeno y materia orgánica en hojas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit, *Guazuma ulmifolia* Lam. y *Moringa oleifera* Lam. en un banco mixto de forraje. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *XVIII*(1), 5–25. http://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.03.025

Romero Rangel, S., Rojas Zenteno, E. C., & Aguilar Enríquez, M. de L. (2002). El Género *Quercus* (Fagaceae) en el Estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, *89*(4), 551–593.

Tainter, F. H., & McMinn, J. W. (1999). Early deterioration of coarse woody debris. *Tenth Biennial Southern Silvicultural Research Conference*, 232–237.

Tamarit-Urias, J. C., & Fuentes-Salinas, M. (2003). Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, *9*(2), 155–164.

Zavala Chávez, F. (2000). El fuego y la presencia de encinos. *Ciencia Ergo*, *7*(3), 269–176.