



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL



**EVALUACIÓN DE LA CARGA DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN UN
BOSQUE MIXTO DE LA SIERRA DE COYUCA DE BENÍTEZ, ESTADO DE
GUERRERO, MÉXICO**

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN INGENIERÍA
FORESTAL

ERICK DAVID NARANJO ESQUIVEL

CARTAGO, COSTA RICA
DICIEMBRE, 2014

EVALUACIÓN DE LA CARGA DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN UN BOSQUE MIXTO DE LA SIERRA DE COYUCA DE BENÍTEZ, ESTADO DE GUERRERO, MÉXICO

Resumen

Los bosques mixtos de pino-encino acumulan material orgánico muerto (necromasa) que se traduce en combustible forestal que incrementa el peligro de propiciar incendios forestales, y además es un importante reservorio de carbono forestal. Se realizó una caracterización y cuantificación de las cargas de combustibles forestales de 1 hr, 10 hr, 100 hr 1000 hr firmes, 1000 hr descompuestos utilizando la técnica de intersecciones planares, así como las cargas por hojarasca y horizonte orgánico tomando medidas de profundidad y peso seco para calcular la cantidad de biomasa. Se muestrearon 4 sitios con diferente tiempo transcurrido después de un incendio forestal (tsf) donde se establecieron parcelas de 1 ha en cada sitio y se registró información sobre el arbolado así como la cuantificación de combustibles. Los resultados muestran un incremento de las cargas conforme aumenta el (tfs). La mayor carga correspondió al sitio de referencia (tsf>40 años) con un total de 55,60 Mg ha⁻¹, la menor carga se presentó en el sitio con menor tsf con 19,68 Mg ha⁻¹. La mayor carga se obtuvo en la capa de horizonte orgánico en todos los sitios con hasta el 69,80 % en el sitio 1 y fue la única variable que mostró diferencias significativas entre los 4 tratamientos. Se estimó el carbono capturado por la necromasa en este bosque en un total de 686 121,57 Mg, sin incluir el carbono en suelos ni el contenido en el sistema radical.

Palabras clave: Cama de combustibles, necromasa, piso forestal, bosque pino-encino, incendio forestal, carbono forestal.

EVALUATION OF LOAD FOREST FUELS IN A MIXED FOREST OF SIERRA COYUCA DE BENÍTEZ, STATE OF GUERRERO, MEXICO.

Abstract

The mixed pine-oak forests accumulate dead organic material (necromass) who becomes forest fuel that increases the risk of forest fires promote and represent an important reservoir of forest carbon. Characterization and quantification of forest fuel loads 1 hr, 10 hr, 100 hr firm 1000, 1000 decomposed using the technique planar intersections and loads of litter and organic horizon taking steps deep and dry weight was made calculate the amount of biomass. Four sites with different time after a forest fire (tsf) where plots of 1 ha each site and captured information on the trees and the quantification of fuels were established. The results show an increase in the loads with increasing the time after a forest fire (TFS). The higher load corresponded to reference site (tsf > 40 years) with a total of 55.60 Mg ha⁻¹, the lowest load was presented on the site less tsf with 19.68 Mg ha⁻¹. The highest loading was given by the layer of organic horizon at all sites with up to 69.80% at site 1 and was the only variable that showed significant differences between the four treatments. Carbon captured by necromass in this forest in a total of 364 Mg 156.19, excluding carbon in soils and content in the root system was estimated.

Key Words: Fuel bed, necromass, forest floor, pine-oak forest, forest fire, forest carbon

Esta tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

“Evaluación de la carga de combustibles forestales en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca de Benítez, Estado de Guerrero, México”

Miembros del tribunal




Ing. Edwin Esquivel Segura PhD

Director de tesis



Ing. Alejandro Meza Montoya M.Sc.

Lector



Biol. Carlos Alberto Mora Donjuán M.Sc

Lector

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia que tanto me ha apoyado en esta y todas las etapas de mi vida. A mis padres por regalarme esta herencia tan preciada que es el estudio. Mi querida madre, María Eugenia Esquivel, mi amiga, que siempre se preocupó por mi bienestar, siempre atenta y mostrándome su amor en todo momento. A mi querido padre Fernando Naranjo, que ha estado siempre dándome su apoyo y luchando sin cansancio. A mis hermanos, cada uno de ellos tiene un ejemplo de vida que me motiva a seguir adelante, a no rendirme jamás. En general, les agradezco tanto que cuando los necesité, no me dejaron solo. Todos hacen que seamos la mejor familia de todas. Esto es por ustedes, familia Naranjo Esquivel.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por nunca dejarme solo en este camino.

A mis padres y hermanos por su amor y apoyo sin condiciones.

A mi hermana Karen por confiar en mí y apoyarme a concluir este sueño. Se convirtió en un apoyo vital y por eso y más, siempre estaré agradecido.

A Jose Naranjo por sus consejos y apoyo en todo este tiempo y a Marcela Herrera, por brindarme un espacio en su bella familia y todo el apoyo que he necesitado.

A todos los profesores y personal de la escuela de Ingeniería Forestal, de los que aprendí tantas buenas cosas en este tiempo y me ayudaron a madurar y crecer como profesional.

A todos mis compañeros y amigos de forestal, que en estos años supimos formar una familia estando lejos de casa. Especialmente a Jason, Pedro y Verónica que se volvieron mis hermanos en esta etapa. Muchas gracias por tantos momentos de felicidad, por ayudarme y a veces corregirme.

A los profesores Braulio Vílchez y Dorian Carvajal por sus consejos y apoyo durante la carrera.

A mi asesor, colega y amigo en México; Biol. Carlos Alberto Mora Donjuán M.Sc. por el apoyo brindado en la realización de este proyecto. Así como a su familia por su hospitalidad y ayuda incondicional en mi estadía en Guerrero.

Al profesor Ing. Edwin Esquivel Segura Ph. D. por sus consejos y colaboración para la realización de este proyecto.

Al profesor Ing. Alejandro Meza Montoya M.sc., por sus consejos y apoyo durante toda la carrera y en la mejora de este documento.

A Promotores para la Autogestión y Desarrollo Social (PADS) por el financiamiento del estudio y a todos sus colaboradores.

A Ing. Tatiana Niño Santos por su colaboración y apoyo incondicional, durante la realización del estudio.

Al Ing. Ernesto Rubio Camacho M. Sc. por su valiosa colaboración y sus aportes.

A Michel y Abel Martínez, Marta Rojnik por todos los buenos momentos y su colaboración en el trabajo de campo.

A la profesora Biol. Elizabeth Beltrán M.Sc. de la Universidad Autónoma de Guerrero, por su colaboración y apoyo en el trabajo de laboratorio.

A don Carmelo y a la comunidad de Atoyaquillo y sus habitantes que me brindaron la hospitalidad y todo su apoyo. Así como a los miembros de la cuadrilla que me acompañaron en campo: Esteban, Ángel, Artemio y Silvestre.

A todas y cada una de las personas que me acompañaron y que no nombre en esta pequeña lista, de corazón les digo;

¡Muchas gracias a todos!

CONTENIDO

Resumen	ii
Palabras clave	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIALES Y METODOS	4
Área de Estudio:.....	4
Diseño de muestreo:	4
Determinación de carga de combustible:	5
<i>Material leñoso caído (MLC):</i>	5
<i>Hojarasca (HO) y Horizonte orgánico (Oa)</i>	6
Carbono en necromasa	7
Muestreo de la vegetación	7
Análisis Estadístico	7
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	8
Composición florística y estructura del bosque	8
Cargas de combustibles	15
<i>Carga por material leñoso caído (MLC)</i>	15
<i>Capa de hojarasca (HO) y horizonte orgánico (Oa):</i>	19
<i>Carga total de combustibles</i>	21
Comparación entre parcelas	23
Carbono capturado.....	24
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
5. REFERENCIAS.....	26
6. ANEXOS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidad de muestreo y ubicación de la línea de cuantificación de combustibles forestales	5
Figura 2. Distribución de individuos según categoría diamétrica para cuatro sitios en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.....	9
Figura 3. Distribución según categoría diamétrica de las especies presentes en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.....	10
Figura 4. Porcentaje de árboles presentes en cada estrato en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.....	12
Figura 5. Distribución según clase diamétrica de volumen total (A) y del área basal (B) para cuatro sitios en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.	13
Figura 6. Carga de combustibles leñosos caídos en cuatro sitios de muestreo en un bosque pino-encino, Sierra de Coyuca, Estado de Guerrero, México. 2014. Barras representa error para la media y puntos son valores extremos.....	15
Figura 7. Porcentaje de la carga de combustible de material leñoso caído según el tiempo de retardo TR en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.	17
Figura 8. Valores obtenidos para el combustible fino: capa de hojarasca y horizonte orgánico en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014. 19	
Figura 9. Carga de combustible por acumulación de Ho y Oa en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.....	20
Figura 10. Distribución de cargas totales de combustibles ($Mg\ ha^{-1}$) por sitio y según tiempo de retardo (TR) para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014. F= Firmes, D=Descompuestos, HO=Hojarasca, Oa= Horizonte orgánico.....	22

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Distribución de individuos según categoría diamétrica para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.	8
Cuadro 2. Resumen de las variables dasométricas para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.	11
Cuadro 3. Cargas de combustibles por material leños caído (Mg ha^{-1}) calculadas para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014, de acuerdo a las ecuaciones de Mofín-Rios (2007).....	15
Cuadro 4. Cargas totales de combustibles por categoría para un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014 (Mg ha^{-1})	21
Cuadro 5. Cantidad de carbono almacenado en la necromasa y fuste de un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014 (Mg ha^{-1})	24

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el bosque mixto del ejido Atoyaquillo, Coyuca de Benítez, Guerrero, México. 2014.....	31
--	----

1. INTRODUCCIÓN

El fuego durante millones de años ha tenido el comportamiento de una fuerza evolutiva común que ha definido el tipo de vida en la tierra (Comisión Nacional Forestal-CONAFOR, 2010). Así mismo, el fuego tiene un papel importante dentro del ciclo vital de algunos ecosistemas a tal punto que es vital para su equilibrio (Rodríguez y Fulé, 2003). Según Sandberg; Ottmar; Cushon, (2001) el fuego causa modificaciones en la estructura, diversidad y composición de los bosques, además en bajas intensidades el fuego facilita la regeneración de ciertas especies; sin embargo, un descontrol en el régimen de incendios representa un problema debido a su influencia directa en el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera, afectación a la flora y fauna, así como por su contribución al cambio de uso del suelo y otras consecuencias como la pérdida de suelo por erosión (CONAFOR, 2014).

Un incendio forestal, según Rodríguez (1996) es la propagación libre del fuego sobre la vegetación forestal, por causas naturales o inducidas, con ocurrencia y propagación no controlada. La ocurrencia de los incendios forestales es producto de condiciones climatológicas favorables, acumulación de material combustible y un elemento de ignición (Santiago, Servin, Rodarte y Garfias; 1999)

Los incendios forestales van en incremento a nivel mundial y México no es la excepción ya que actualmente se presentan en promedio ocho mil eventos al año (CONAFOR, 2013), donde la mayoría son influenciados principalmente por las condiciones del clima. Se tiene el registro extraordinario en la temporada de 1998, donde se dieron más de 14 000 incendios afectando a casi un millón de hectáreas. (CONAFOR, 2010).

Las causas que generan los incendios pueden ser naturales o por actividad del hombre, siendo este último el motivo del 99 % de los casos (Díaz-García, 2012), esto ha llevado a establecer estrategias e invertir recursos económicos, materiales y humanos para el combate y prevención de incendios, que incluyen el manejo de los combustibles en las áreas de riesgo para una eficiente mitigación de posibles daños.

Una de estas medidas de prevención son los estudios de cuantificación y caracterización de combustibles forestales, los cuales son uno de los tres componentes básicos del fuego, de manera que cuanto mayor sea la acumulación de combustibles en un sitio, mayor cantidad de calor podrá desprenderse y el incendio podrá ser más intenso causando daños más severos (Flores-Garnica, Rodríguez, Meléndez y Rosas; 2008). Según Pyne *et al.* (1996), otros componentes son el tiempo atmosférico y la topografía; sin embargo, los combustibles son el único componente que puede ser directamente manipulado por el ser humano en la lucha contra el fuego.

En México, por su parte, los incendios forestales en bosques mixtos (asociaciones vegetales de pino-encino) tienen especiales efectos en los ecosistemas debido a lo complejo de estas comunidades vegetales (González, Schwendenmann, Jiménez y Himmelsbach; 2007). Esto puede variar dependiendo de las diferentes respuestas de la vegetación al grado de intensidad del fuego, la temporada en que ocurre y la frecuencia con que se repite. Otra característica de este tipo de ecosistemas es que su composición y proporciones de especies cambian según las condiciones y factores ambientales, se ha descrito que para el estrato arbóreo se registran entre dos y hasta un total de nueve especies (Márquez-Linares, González- Elizondo y Álvarez-Zagoya; 1999), las cuales podrían estar siendo afectadas de diferentes formas.

Por esta razón, surge la necesidad de evaluar los combustibles forestales con el fin de conocer la carga total, calidad, propiedades y su distribución en estos ecosistemas (Mota, 2005). La caracterización de los combustibles es de fundamental importancia para la estimación de la inflamabilidad y el peligro de incendios forestales, la evaluación de los efectos en la ecología, así como facilitar el entendimiento del comportamiento del fuego y la toma de decisiones con respecto al manejo integrado del fuego, que incluyen prácticas como la supresión de incendios o la aplicación de quemas prescritas (Sandberg, Ottmar, Cushon; 2001 y Rodríguez, 1994)).

La metodología para la caracterización y cuantificación de combustible forestales que mejores resultados ha presentado es la descrita por Brown (1974), ya que permite el cálculo de la cantidad de material combustible por medio de la estimación de la biomasa aérea, relacionando su peso con las dimensiones del individuo. Así mismo plantea la técnica de intersecciones planares para los combustibles muertos que componen la necromasa (Flores-Garnica, 2008).

La necromasa, según Araujo-Murakami *et al.* (2011) constituye gran porción de los nutrientes y de la biomasa total de cualquier ecosistema. Por otra parte se sabe que la hojarasca como tal es la responsable del proceso de regeneración del suelo, evita la erosión del mismo, mejora las propiedades físicas y químicas y mantiene su fertilidad; sin dejar de lado que ayuda a sostener la vida de la fauna heterótrofa. Así mismo López-Hernández, González-Rodríguez, Gonzalo, Ramírez-Lozano, Gómez-Meza, Pando-Moreno y Estrada-Castillón (2013); Chao, Phillips, Baker, Peacock, López-González, Vásquez Martínez y Torres-Lezama (2009) y Vitousek, Turner, Parton y Sanford (1994) mencionan que la necromasa también se compone de madera muerta; y que estos restos de madera muerta es un componente crucial de la estructura del bosque y constituye una porción grande del *stock* de carbono sobre el suelo. Por lo que resulta válido hacer estimaciones de la cantidad de necromasa; y con esta determinar la cantidad de carbono que son fijadas en ecosistemas boscosos.

Por lo anterior, el objetivo general de este estudio es caracterizar y evaluar la carga de combustibles forestales por necromasa en un bosque mixto de pino-encino, así como comparar cuatro sitios con diferente tiempo transcurrido después del último incendio forestal. También como objetivos específicos se tienen; determinar si el fuego ha influido en la estructura y composición de especies en el bosque, así como estimar la cantidad de carbono que está siendo capturado en estos bosques.

2. MATERIALES Y METODOS

Área de Estudio:

El estudio se desarrolló en un bosque mixto en el ejido de Atoyaquillo, Municipio Coyuca de Benítez, Estado Guerrero, México (Ver anexo 1). Los bosques forman parte de la Sierra de Coyuca de Benítez, que a su vez son parte de la Sierra Madre del Sur la cual constituye una cadena montañosa localizada en el Sur de México que se extiende a lo largo de 1200 km entre el Sur de Jalisco y el Istmo de Tehuantepec, al oriente de Oaxaca, y que corre paralela a la Costa del Océano Pacífico y al Eje Neovolcánico (Promotores para la Autogestión y Desarrollo social-PADS, 2014).

El predio se ubica en las coordenadas 17° 06' 18" Latitud Norte y 100° 02' 30" Longitud Oeste. La altitud de los sitios de estudio oscila entre 900 y 1100 msnm. La precipitación media anual varía entre 900 y 1200 mm. Se tiene una marcada distinción de la temporada de lluvias, la cual inicia entre los meses de mayo – junio, y termina en octubre. La temperatura promedio anual es de 22,5 °C (PADS, 2014).

La vegetación en estudio corresponde a bosques de tipo mixto donde predominan individuos de los géneros *Pinus* sp y *Quercus* sp, que son representativos de zonas de transición entre los climas templados y cálidos, así mismo son comunes en la zona.

Diseño de muestreo:

Se evaluaron cuatro sitios, tres con antecedentes de incendio relativamente reciente, con un periodo de 4, 17, 24 años desde el último evento, así como un sitio de referencia que tiene más de 40 años sin ningún tipo de perturbación. La distancia promedio en línea recta entre los sitios fue de 1 kilómetro para los sitios 1, 2 y 4 así como 3 km respecto al sitio 3. En cada sitio se estableció una parcela de una hectárea (100 x 100 m), dividida en subparcelas de 20 x 20 m como se muestra en la figura 1. En cada subparcela se cuantificó la carga de combustibles, y se tomaron datos de variables dasométricas del arbolado y la identificación de los individuos.

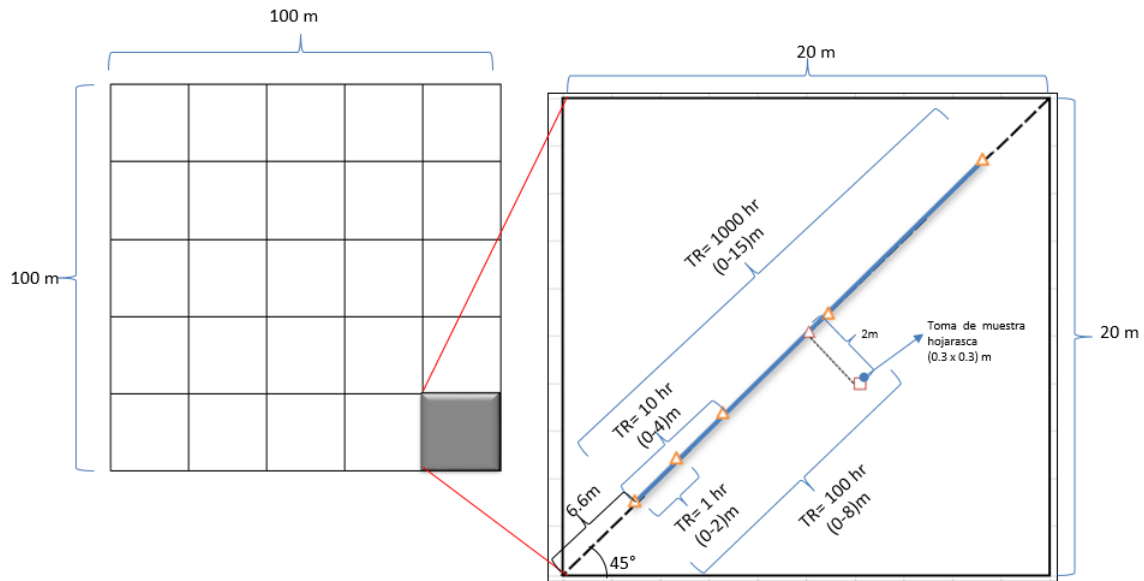


Figura 1. Unidad de muestreo y ubicación de la línea de cuantificación de combustibles forestales

Determinación de carga de combustible:

Se cuantificaron los principales componentes de la necromasa en los sitios: material leñoso caído (MLC), hojarasca (HO) y Horizonte orgánico (Oa); esto se realizó en los cuatro rodales distintos de la siguiente manera:

Material leñoso caído (MLC):

Se utilizó la metodología modificada por Rubio (2013) y descrita por primera vez por Brown (1974) con el nombre de intersecciones planares. Consiste en ubicar una línea recta en el suelo forestal, hacer un conteo y medición del material leñoso caído que la atreviese. Las líneas tienen una longitud de 15 m y se dividen en segmentos para medir diferentes tipos de combustible, con respecto al tiempo de retardo (TR), que según Rodríguez (1996) y Flores-Garnica y Omi (2003) es el tiempo necesario para que el contenido de humedad de un combustible se equilibre con la humedad que lo rodea o también el tiempo en que tarda en ganar o perder 2/3 partes de su humedad interior ante un cambio en el ambiente (Rubio, 2013). De las 25 subparcelas, se evaluaron 20 y en cada una se estableció una línea de intersección, ubicada a partir de la esquina inferior izquierda y a 6,5 m del vértice, con un ángulo de 45°, hacia el centro de la subparcela, para reducir el

efecto borde y la alteración que ocurre al delimitar cada subparcela (Figura 1) (Rubio, 2013). En total se establecieron 80 líneas de muestreo en los cuatro sitios. De esta manera los combustibles leñosos con TR 1h se cuantifican en los primeros 2 m, los de TR 10h del origen a los 4 m, para los de TR 100h del origen hasta los 8 m, y en la totalidad de la línea se cuantificaran los combustibles leñosos correspondientes a TR 1000h, para los cuales además del conteo, se registra el diámetro y se clasifica según su estado en firmes o descompuestos.

Las fórmulas utilizadas para calcular la carga de combustible para cada categoría en mega gramos por hectárea (Mg ha^{-1}), son las descritas por Morfín Ríos, Jardel-Peláez, Alvarado-Celestino y Michel-Fuentes (2012):

$$C_{1000\text{hr}} = \frac{(k)GE \Sigma DC(c)}{L} \quad C_{1, 10, 100\text{hr}} = \frac{(k)GE \Sigma DCPf(c)}{L}$$

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

GE Gravedad o densidad específica

k Constante (1,234)

C Factor de corrección de pendiente

DC Diámetro elevado al cuadrado;

DCP Promedio de los diámetros al cuadrado (para los de 1, 10 y 100 hr)

$$C = \sqrt{1 + \left(\frac{\% \text{ pendiente}}{100}\right)^2}$$

Hojarasca (HO) y Horizonte orgánico (Oa)

Por otra parte, se estableció un punto de muestreo en cada línea para los componentes de hojarasca y horizonte orgánico, constituido por un recuadro de 30 x 30 cm ubicado a los 7,5 m del origen de la línea y a una distancia de dos metros al lado de la misma. En este se determinó la profundidad media de la capa de HO y de Oa (cm). Así mismo se colectó la hojarasca contenida para determinar su peso constante en una cámara de secado en el Laboratorio de la Unidad Académica de Ciencias Químico - Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro). Se colectaron 20 muestras de hojarasca en cada uno de los cuatro sitios, para un total de 80.

Para el cálculo de la carga de horizonte orgánico se utilizó el valor de densidad reportado en bosques similares y que según Morfín Ríos *et al* (2007), que es de $4,76 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ cm}^{-1}$

Carbono en necromasa

A partir de las estimaciones realizadas de la necromasa, se utilizó un factor de 0,5 que según Elias y Potvin (2003), Araujo-Murakami *et al.* (2011) y Roncal-García, Soto-Pinto, Castellanos-Albores, Ramírez-Marcial y De Jong (2008), permite estimar el carbono capturado por el bosque mixto del Ejido Atoyaquillo.

Muestreo de la vegetación

Se registró el nombre común y científico de cada individuo con un diámetro mayor a 10 cm. Las variables evaluadas fueron: diámetro (d) a 1,30 m de altura usando forcípula y altura total del árbol (h) mediante un hipsómetro laser. Además se registraron las coordenadas geográficas del punto central de cada parcela con un GPS.

Análisis Estadístico

Para calcular las cargas de combustibles se utilizó el software Microsoft Office Excel 2013, los resultados se obtuvieron en megagramos por hectárea diferenciados según la categoría de 1, 10, 100 y 1000 horas, por subparcela (400m^2) y comparando los cuatro sitios. En cuanto a los combustibles de HO y Oa se calculó la media aritmética y se extrapolo a megagramos por hectárea.

Se realizó una comparación de medias entre los sitios para las seis variables en estudio: carga de material leñoso, carga de Oa, carga de HO, profundidad de Oa, profundidad de Ho y para la carga total de combustibles; mediante un análisis de varianza (ANDEVA) con una significancia del 95% y se identificaron diferencias mediante el Test de Tukey. Para los datos que no presentaron una distribución normal se utilizó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis test para observar si existen diferencias estadísticas en los sitios. Para el análisis se utilizó el programa estadístico libre InfoStat versión 2013e (Di Rienzo, *et al* 2011).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición florística y estructura del bosque

La diversidad de especies leñosas aumentó en los sitios con respecto al tiempo sin la ocurrencia de incendio, comportamiento descrito también por Gonzáles et al. (2007) y Rubio (2013). En los cuatro sitios se registró un total de 947 individuos, de 12 especies pertenecientes a 9 familias (3 familias presentaron un solo individuo). Del total de especies 6 fueron comunes en los 4 sitios.

El sitio 2, que tiene un periodo de 4 años sin ocurrencia de un incendio, fue el que presentó menor número de individuos, para un total de 181 individuos por ha⁻¹ (ver cuadro 1), en solo 6 especies lo que significa una diversidad menor y relacionada a especies como *Pinus oocarpa* y algunos *Quercus* sp que se ven perjudicadas levemente tras el paso del fuego o que presentan un restablecimiento más exitoso.

Cuadro 1. Distribución de individuos según categoría diamétrica para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.

Sitio	Categoría diamétrica (cm)										Total
	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	110-120	
1	140	76	44	32	17	6	1	0	0	0	316
2	66	33	34	30	14	3	1	0	0	0	181
3	64	57	36	22	3	2	0	0	0	0	184
4	74	36	46	31	29	22	22	3	2	1	266

El sitio 1 presentó el mayor número de individuos (316 árb. árboles ha⁻¹) distribuidos en 6 especies, las mismas que el sitio 2. El sitio 3 presentó un total de 184 árb. ha⁻¹ y se registraron 2 especies más que en los sitios 1 y 2 para un total de 8 especies. El sitio 4, que corresponde al de mayor tiempo de restauración posee un total de 266 árb. ha⁻¹ con el mayor número de especies con un total de 11 (8 familias) esto concuerda con reportes que para sitios con un tiempo mayor sin intervención mayor número de especies aparecerán, como por ejemplo *Dendropanax arboreus* (Araliaceae), *Trichospermum mexicanum* (Malvaceae) que no se encontraron en los otros sitios lo que sugiere que estas especies son

susceptibles al fuego y requieren de periodos más largos para lograr su regeneración.

Comparando los resultados obtenidos en cuanto a composición de especies con otros estudios, se tiene consistencia ya que para bosques mixtos de pino-encino existen reportes de composición de un total de 2 a 9 especies (Márquez-Linares, González- Elizondo y Álvarez-Zagoya; 1999). González et al (2007) encontró para sus rodales una riqueza entre $(10,7 \pm 0,6 \text{ spp } 0,1 \text{ ha}^{-1})$ y $(3,7 \pm 1,2 \text{ spp } 0,1 \text{ ha}^{-1})$ en los sitios de mayor y menor riqueza respectivamente. También, Baca (2000) reportó 10 especies presentes en un bosque mixto en la Sierra Madre Oriental donde las que tenían más abundancia fueron *Quercus rysophylla*, *Quercus camby* y *Pinus pseudostrobus*.

En cuanto a la distribución diamétrica de los individuos en los cuatro sitios, se tuvo la forma de J invertida (ver figura 2), donde la mayoría de los árboles se encuentran en las categorías de diámetro menores y se disminuyen en categorías mayores. El sitio 4, es el que presenta una mayor cantidad de individuos en categorías de diámetro superiores a diferencia de los otros tres sitios. Esto permite afirmar se encuentra en una etapa de mayor madurez, al ser el sitio con mayor tiempo sin ocurrencia de incendio.

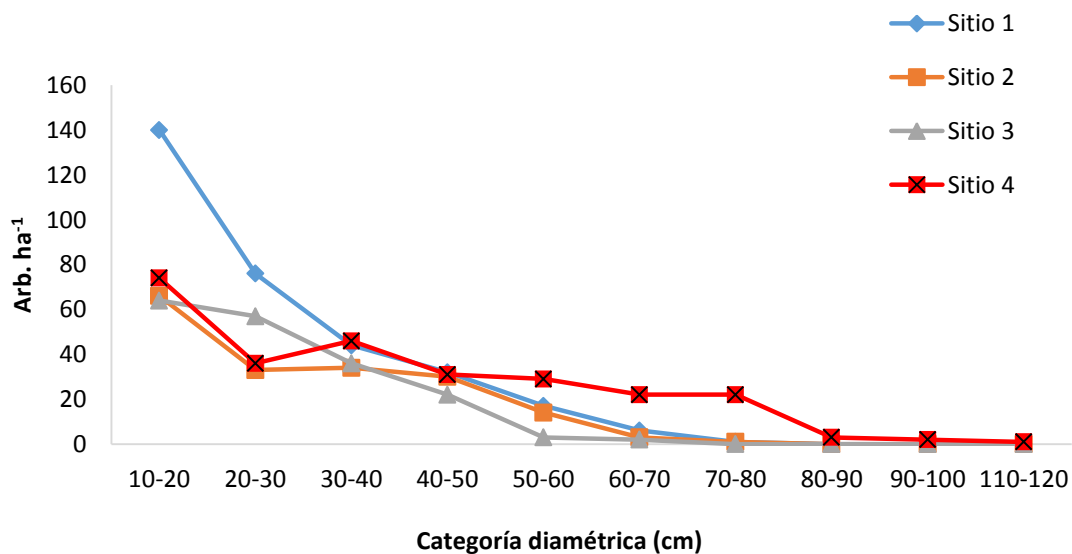


Figura 2. Distribución de individuos según categoría diamétrica para cuatro sitios en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.

En general los tres primeros sitios presentaron entre 60 y 80 individuos por hectárea en la categoría menor lo que explica un comportamiento similar en su dinámica de reclutamiento, solo se diferencia el sitio 4 que tiene su mayor pico en esa categoría.

En cuanto a la distribución diamétrica de las especies (ver figura 3), se dan diferentes patrones entre estas, pero en general las especies tiene mayor cantidad de individuos en categorías de diámetro menores, relacionado al dinamismo de los bosques y a la etapa de recuperación en la que cada sitio se encuentra. *Pinus oocarpa* es la única especie que posee individuos en todas las categorías diamétricas.

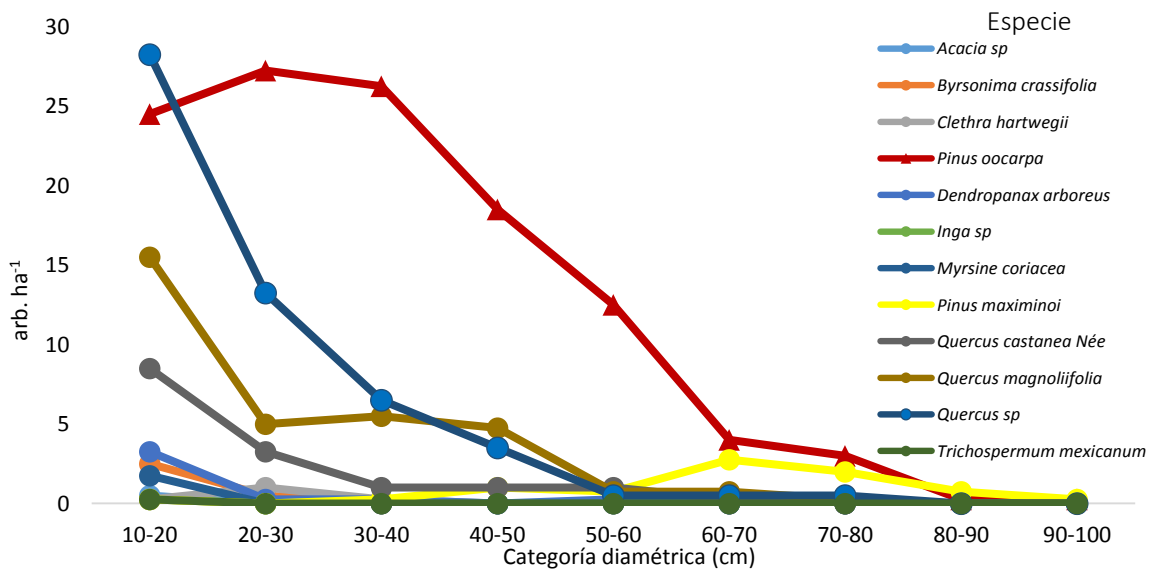


Figura 3. Distribución según categoría diamétrica de las especies presentes en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

Pinus oocarpa tiene la particularidad de que en ecosistemas donde se dan incendios de manera frecuente, puede generar un rebrote a pocos centímetros del suelo, con lo que el efecto de fuego es solamente el retraso en la regeneración de la especie; por lo que es una ventaja y hace que ocupe áreas que otras especies arbóreas no podrían al no tener este mecanismo de adaptación (Juárez-Martínez y D. A. Rodríguez-Trejo, 2013). Así los resultados obtenidos reafirman que el fuego es un factor ecológico que favorece a esta especie en la competencia contra árboles latifoliados en regiones semitropicales.

Por otra parte las altas temperaturas durante la época de sequía, favorecen la apertura de sus conos serotinos y las zonas incendiadas muestran mejores resultados para la germinación de este árbol. Los árboles jóvenes de 2-4 años rebrotan de la raíz cuando el fuego daña significativamente al tallo principal (Perry, Graham y Richardson, 2000). Estas son algunas de las razones del éxito de regeneración que tiene esta especie y que se ve reflejado en las curvas de distribución y abundancia. *Pinus maximinoi* por su parte presenta una distribución distinta, con árboles en las categorías diamétricas mayores y con pocos individuos en categorías menores de diámetro, lo que sugiere que la especie posee problemas de regeneración en estos bosques. Esto se puede deber a una estrategia de perpetuación propia de la especie.

Por su parte las diferentes especies de *Quercus*, presentan distribuciones limitadas a categorías de diámetro menores lo que puede explicar que tiene una menor resistencia a los efectos del fuego, una mayor susceptibilidad pero que a su vez son especies favorecidas en la regeneración post-incendio.

En los cuatro sitios la especie que tuvo más abundancia fue *Pinus oocarpa* con un promedio del 49,20 % del total de individuos, seguido por *Quercus magnolifolia* (13,72%). De manera general, las variables estructurales del bosque se describen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Resumen de las variables dasométricas para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014.

Sitio	Árb. ha ⁻¹	Diámetro (cm)	(±)	Altura (m)	(±)	Área basal (m ² ha ⁻¹)	(±)	Volumen total (m ³ ha ⁻¹)	(±)
1	316,00	25,11	13,81	16,11	4,20	20,37	0,07	117,31	0,77
2	181,00	29,01	14,66	15,58	4,75	15,00	0,08	91,58	0,94
3	184,00	26,42	11,84	15,28	3,56	12,10	0,06	72,95	0,67
4	266,00	37,80	21,45	19,38	5,50	39,45	0,15	277,74	2,03

Para todas las variables el sitio 4 presentó los valores más altos, lo que hace inferir el mayor grado de madurez entre los sitios. Se nota un incremento en el

número de individuos en los últimos tres sitios, así como la diferencia en altura dominante promedio de los sitios.

En cuanto a la estructura vertical de los sitios, se encontraron individuos en los cuatro estratos para todos los sitios. La altura promedio total de los individuos para los cuatro sitios fue similar, ubicando a la mayoría de individuos en un estrato medio entre 5-15 m como se muestra en la figura 4. En el sitio 4 es donde se tienen las mayores alturas registradas con 8 individuos entre 25-30 m lo que sugiere que es un bosque con un grado de madurez mayor.

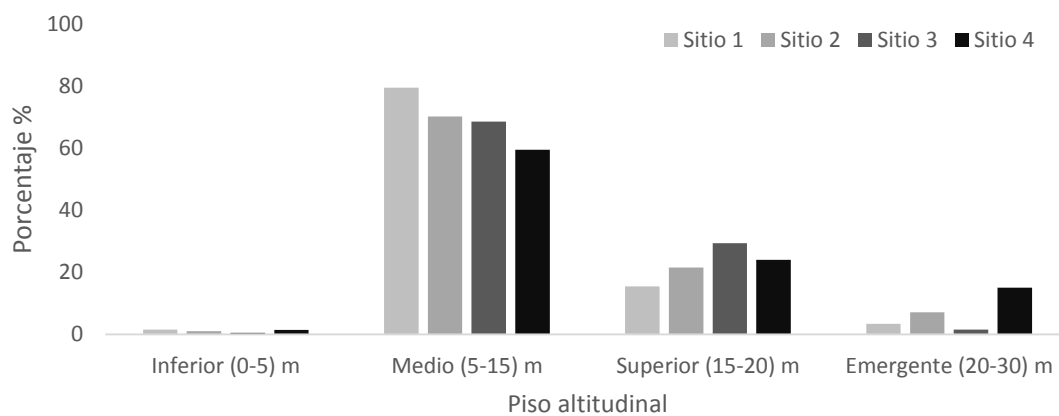


Figura 4. Porcentaje de árboles presentes en cada estrato en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

El análisis de la estructura vertical de bosques mixtos es importante ya que tiene relación directa con la incidencia de incendios de copa que aunque son los que se presentan más rara vez, son categorizados como los de mayor daño y más violentos (Pausas J, 2010). Estos incendios provocan el chamuscado de copa que es la deshidratación o quema de una parte o la totalidad de la copa por el fuego, y contribuye a la poda natural de los árboles. Un chamuscado de copa con altas intensidades puede reducir el crecimiento en diámetro y altura (Rosales y Trejo, 2004). Como se ve en la figura 4, el mayor porcentaje de individuos se ubican en un estrato relativamente bajo por lo que se debe prestar atención en la prevención de este tipo de incendios.

En cuanto al volumen en los sitios evaluados (ver figura 5), como se esperaba, el sitio 4 presentó los valores más altos por su tiempo de recuperación mayor. Con su punto más alto en la categoría de 70-80 cm de diámetro. Los demás sitios tienen su punto en categorías de diámetro entre 30-40 y 50-60 cm.

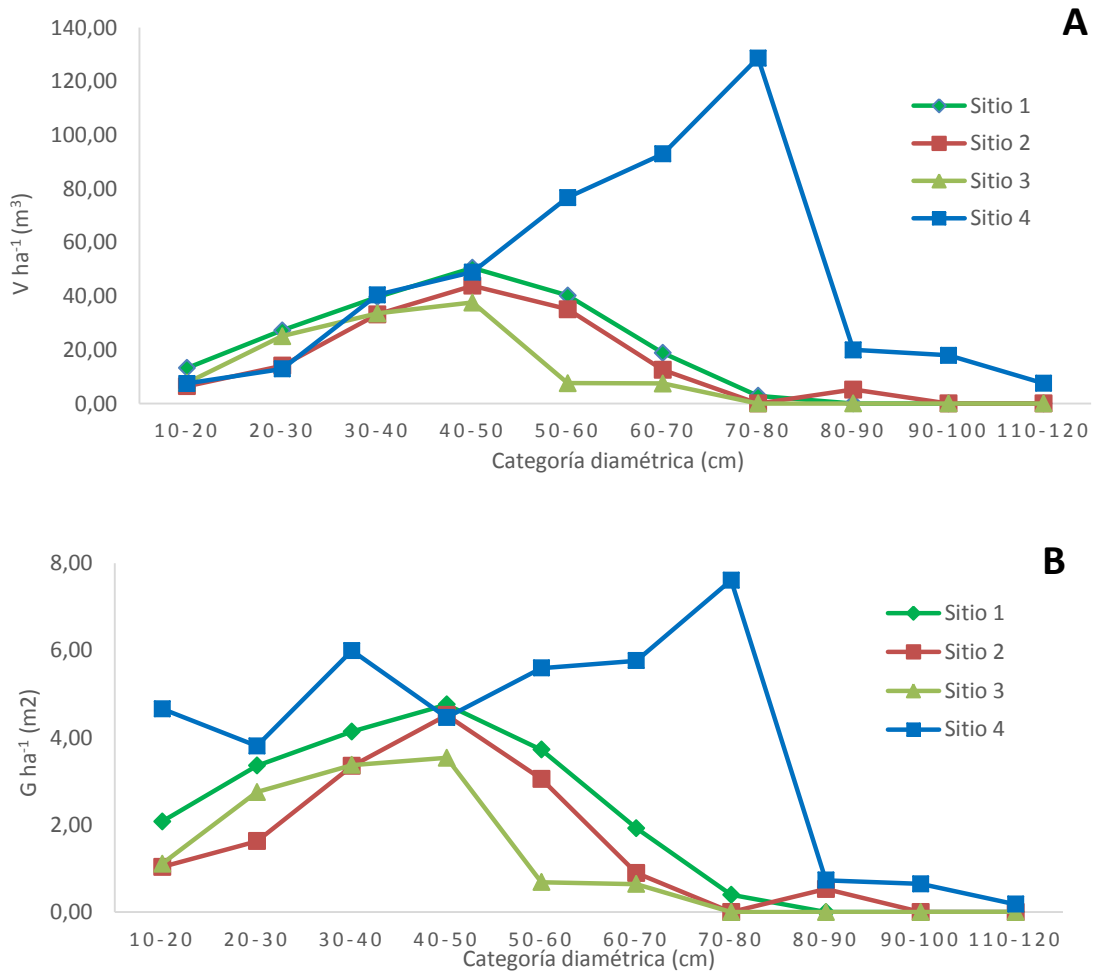


Figura 5. Distribución según clase diamétrica de volumen total (A) y del área basal (B) para cuatro sitios en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

El bosque de referencia presentó un incremento conforme aumentan las categorías de diámetro hasta tener el pico máximo en la categoría entre 70-80 cm de diámetro, las clases posteriores presentan una disminución. Los sitios 1, 2 y 3 presentaron un comportamiento similar, donde el mayor peso de área basal está representado por las categorías diamétricas de 30-40 y 50-60 cm, después de

esta categoría tiende a la disminución. El sitio 3 es el que presenta menores valores de área por debajo del sitio con menor tiempo de recuperación.

La información de variables dasométricas para bosques en la región es escasa, sin embargo, se han reportado valores de área basal para bosques mixtos de pino-encino en Durango, México de 24,87; 25,09; 26,82 m² ha⁻¹ (Márquez-Linares et al, 1999). González et al 2007 reportó valores de 37,30 m² ha⁻¹ pero para un sitio con un tiempo sin la ocurrencia de incendio 62 años

De manera general se encontró que el tiempo sin ocurrencia de incendios modifica la estructura y composición de bosque. El área basal presentó un incremento en relación al tiempo sin disturbios, excepto para el sitio 3 que representó valores menores asociados a una alta mortalidad de los individuos que se pudo observar. El volumen se comportó de igual forma. En cuanto a la riqueza de especies leñosas, se determinó que esta se incrementó también conforme al tiempo sin incendio, ya que de 4 a 17 años no hubo presencia de nuevas especies en el muestreo, manteniéndose las mismas. Después de ese periodo aparecieron 2 especies más a los 24 años y con respecto al último sitio el número incrementó en 3 especies leñosas. Lo que significa un aumento en la diversidad de los sitios en ausencia del fuego. González *et al.* (2007) concuerda con que el tiempo sin ausencia de incendios es una variable que tiene influencia directa en la composición y estructura de bosques de pino y encino, aparte de la que se podrían presentar por condiciones geográficas como elevación, exposición y pendiente que no fueron analizadas en este estudio.

Cargas de combustibles

Carga por material leñoso caído (MLC)

Se obtuvo en promedio 14,42 Mg ha⁻¹ de carga de materiales leñosos caídos en los cuatro sitios. Se obtuvo que en el análisis por categoría de combustibles, para los de tiempo de retardo 1hr y 10hr no hubo variaciones significativas entre las cargas de los sitios. Conforme el tamaño de los combustibles aumenta, aumentan las diferencias en los sitios, por lo que a mayor tiempo sin incendio, mayor es la diferencia en acumulación de material leñoso de dimensiones mayores (cuadro 3).

Cuadro 3. Cargas de combustibles por material leños caído (Mg ha⁻¹) calculadas para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México, 2014, de acuerdo a las ecuaciones de Mofín-Rios (2007).

Sitio	1 hr	10 hr	100 hr	1000hr F	1000hr D	Subtotal
1	0,23	3,55	2,36	1,13	1,21	8,48
2	0,14	2,14	1,67	2,09	0,50	6,55
3	0,17	4,32	5,21	13,28	1,84	24,81
4	0,12	2,85	3,25	8,83	2,79	17,84

Los valores de la carga de material leñoso caído presentan una gran variación con respecto a la media, que puede deberse a la distribución al azar que tienen los combustibles en el bosque, se puede observar en la figura 6.

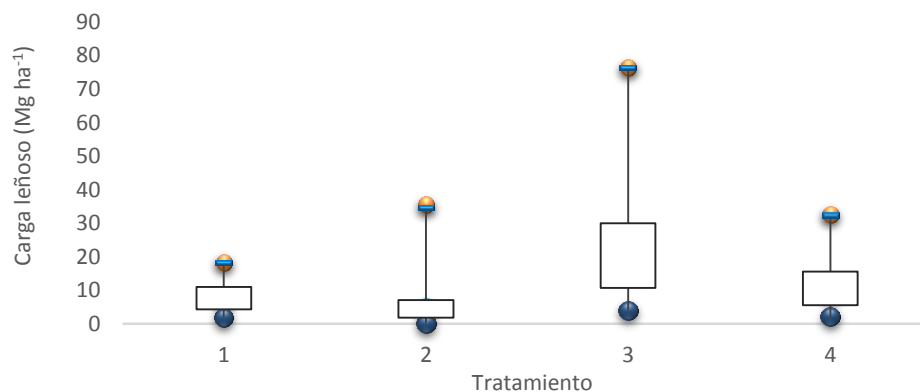


Figura 6. Carga de combustibles leñosos caídos en cuatro sitios de muestreo en un bosque pino-encino, Sierra de Coyuca, Estado de Guerrero, México. 2014. Barras representa error para la media y puntos son valores extremos.

Como se ve en la figura 6, el sitio número 3, que corresponde al sitio con un periodo de 24 años después del último incendio, es el que presenta la mayor carga de material leñoso caído. Esto se puede relacionar con una alta incidencia de mortalidad de los individuos de la especie *Pinus oocarpa* en el sitio, y que incrementaba significativamente las cargas de combustibles de tipo pesado. La mortalidad en estos rodales no fue caracterizada, pero se observó presencia de insectos descortezadores que podrían ser los causantes. Sería muy importante una posterior evaluación de la incidencia de plagas en el sitio para evitar la expansión de las mismas.

El sitio 2, que tiene el tiempo más corto desde el último incendio es el que presenta menos carga de MLC, lo que concuerda con la hipótesis planteada de que sitios con un intervalo menor desde la última intervención, presentan las menores cargas.

En general los resultados obtenidos son consistentes comparándolos con estudios realizados en bosques de pino-encino, como Rubio (2013) que obtuvo resultados de 15,8 Mg ha⁻¹ y 17,7 Mg ha⁻¹, para dos sitios distintos. Además en una evaluación similar pero en bosques de *Pinus* spp. en El Salto, Durango, México se reportó un valor de 13,1 Mg ha⁻¹ (Nájera y Hernández, 2009). En otros estudios se reportan valores máximos de 23,0 Mg ha⁻¹ (Xelhuantzi-Carmona *et al.* 2012), por otra parte también se tienen valores mayores pero en otras asociaciones vegetales como *Pinus hartwegii* - *Alnus jorullensis* de 34,4 Mg ha⁻¹ en la estación experimental forestal Zoquiapán (Hernández y Ramírez, 2010).

Por otra parte y al analizar las cargas de combustibles por tiempo de retardo, se pueden separar en “ligeros” o de un diámetro menos a 7,5 cm y pesados o mayores a 7,5 cm de diámetro. La relevancia es que los combustibles ligeros juegan un papel importante en el incremento de la velocidad de propagación del fuego, ya que pierden humedad más rápidamente, mientras que los de diámetros mayores tardan periodos más largos de baja humedad ambiental para estar disponibles, pero una vez encendidos producen mucho calor y arden por tiempos largos, lo que dificulta su control (Wong y Villers, 2007). En otras palabras, entre

más pequeño sea el material, consigue arder con más facilidad debido a la relación entre el volumen de la unidad y la superficie de contacto con las llamas, lo que hace que el material pierda la humedad a una velocidad mayor y permite que alcance más pronto la temperatura a la que pueda arder.

Según la figura 7, se puede hacer una relación del tiempo de acumulación de cada sitio con el tipo de combustible según su tiempo de retardo, de manera que los sitios donde se registró un evento reciente, el mayor porcentaje de MLC corresponde a combustibles livianos, y a su vez los sitios de mayor tiempo de acumulación presentan porcentajes altos de combustibles pesados que harían más difícil el control de un eventual incendio y se pueden dar de mayor intensidad.

El sitio 3 donde la carga de materiales pesados es mayor, es donde se debe trabajar para disminuir la cantidad de material y evitar un mayor impacto en el ecosistema si se da un incendio.

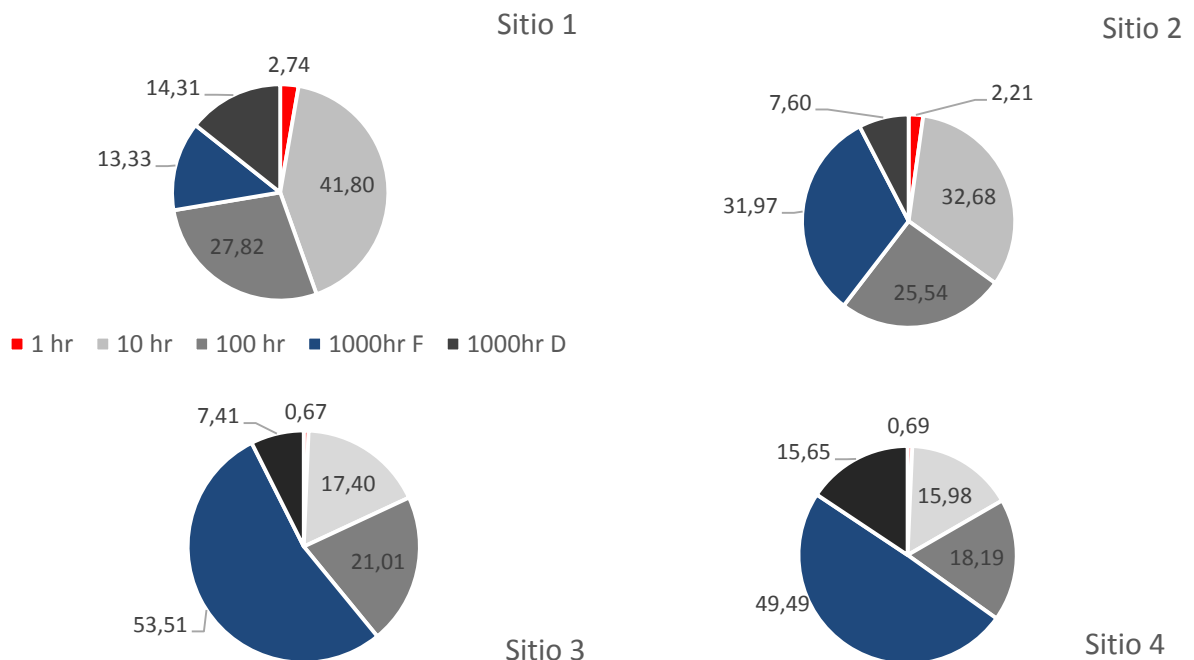


Figura 7. Porcentaje de la carga de combustible de material leñoso caído según el tiempo de retardo TR en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

Como se nota en la figura 7, para los sitios 1 y 2, de 17 y 6 años transcurridos después de un incendio se tiene que más del 50 % de los combustibles se clasifican dentro de los combustibles ligeros o de menos de 7,5 cm de diámetro, mientras que en los sitios 3 y 4, las cargas que más representan son los combustibles pesados, con 60,9 % y 65,1 % respectivamente. Esto apoya la hipótesis planteada de la acumulación a través del tiempo de combustibles, y agravando la condición al acumularse cada vez más combustibles de categorías mayores pueden agravar las consecuencias en caso de un incendio forestal.

Esto es, sin embargo, lo contrario a lo propuesto por Nájera y Hernández (2007) que concluyen que la poca presencia de combustibles pesados en su estimación se debe a que son bosques que han sido sometidos a periodos prolongados de conservación o de mínima intervención, y por lo tanto el 99% de las cargas de combustibles evaluados en bosques de *Pinus* spp corresponden al componente hojarasca o combustibles finos, dejando claro que entre mayor el intervalo de tiempo sin incendio, mayor es la acumulación de combustibles de tipo liviano y no de mayores diámetros.

Mencionan que al ocurrir algún tipo de disturbio, ya sea un incendio forestal de copa moderado o tala, se da una apertura de dosel, y si se dan la condiciones adecuadas se daría una germinación positiva y el establecimiento de nuevas plántulas, por lo que se tendrá un incremento en la carga total de combustibles, y con el tiempo el bosque entrará en una etapa madura y la producción de combustibles irá decreciendo (Nájera y Hernández, 2007). En otras palabras el peso de los combustibles aumentaría desde la intervención, hasta un estado de madures si no ocurre un nuevo evento que haga que incremente y empiece el ciclo.

De manera general, hay autores que afirman que entre más grande es el intervalo de tiempo entre un incendio y otro, es mayor la cantidad de combustible disponible, y así mismo es de mayor magnitud la afectación del fuego a los ecosistemas (Xelhuantzi-Carmona, Flores-Garnica y Chávez-Durán, 2011), mientras Rubio (2013) no encontró evidencias para decir que las cargas de

combustibles son significativamente diferentes analizando el intervalo de tiempo, solo encontró diferencias en la capa de fermentación.

Capa de hojarasca (HO) y horizonte orgánico (Oa):

Para la capa de hojarasca en el sitio 1 se obtuvo una profundidad promedio de 7,25 cm, pero se registraron profundidades de hasta 13,40 cm, así mismo la profundidad del Horizonte orgánico en promedio fue 7,00 cm y las cargas fueron de 6,23 Mg ha⁻¹ para la capa de hojarasca y 34,00 Mg ha⁻¹ para la Oa. Así mismo para el sitio 2, la profundidad para ambas capas fue de 4 y 1.5 cm Ho y Oa respectivamente, y con cargas en las capas de HO de 7,90 Mg ha⁻¹ y Oa con 5,24 Mg ha⁻¹. Para el sitio 3 se obtuvieron cargas de 10,10 y 13,40 Mg ha⁻¹ para la HO y Oa respectivamente, así como profundidades 9,25 cm de Ho y 2,50 cm de Oa. Por último para el sitio tomado como referencia se determinaron profundidades promedio de Ho de 8,25 cm y 5,00 cm de Oa, así como cargas de 9,06 Mg ha⁻¹ para la HO y 28,70 Mg ha⁻¹ para la capa de horizonte orgánico.

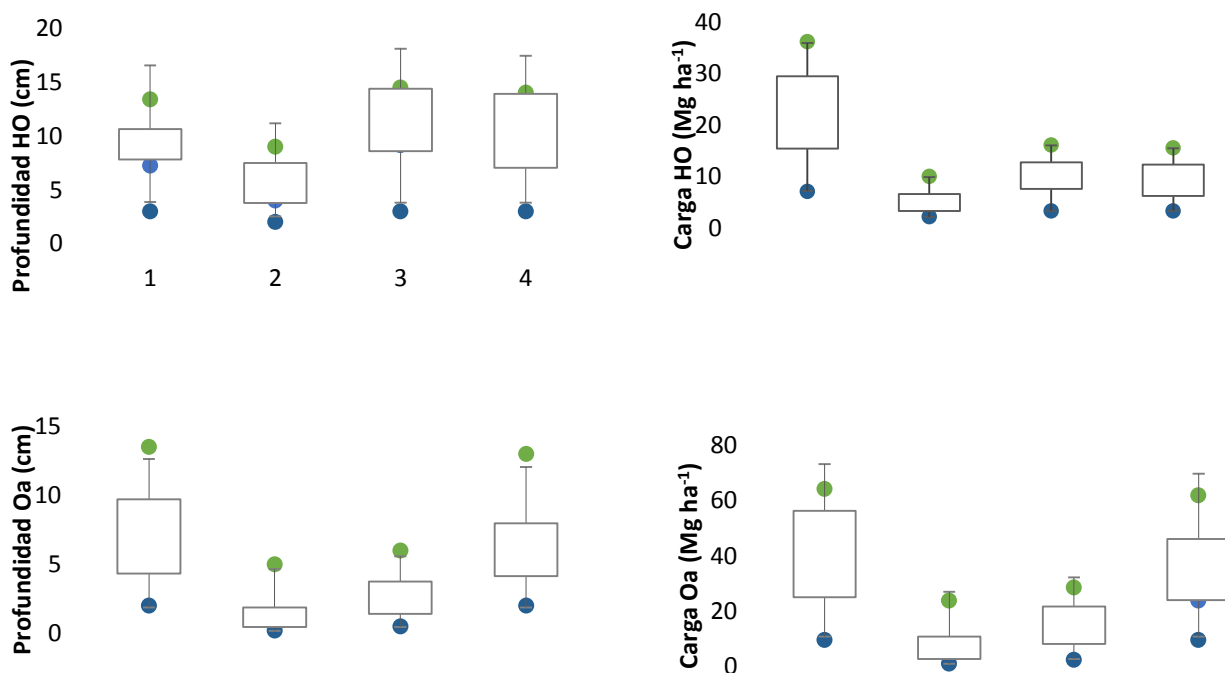


Figura 8. Valores obtenidos para el combustible fino: capa de hojarasca y horizonte orgánico en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

Los valores reportados para espesor de hojarasca en bosques de pino, y pino-encino por Estrada y Ángeles (2007) se encontraron en un intervalo entre 3,07 – 13,80 que son similares a los obtenidos en el presente estudio cuyo valor máximo fue de 14,50 cm. Sin embargo, los resultados obtenidos para esta variable, no demuestra una acumulación sostenida de los sitios entre mayor tiempo de acumulación, si no que por ejemplo el valor mayor se registró en el sitio 3, con un tiempo de acumulación de 24 años por encima del bosque de referencia que tiene un tiempo mayor de acumulación, esto puede deberse a una mayor cantidad de árboles en el sitio, así como las especies más abundantes en el mismo, ya que hay diferencias en la producción de hojas y acículas. Además en el sitio se presentó un sotobosque más denso, lo que puede aportar más material a estos componentes que los demás sitios. Por otra parte el sitio que presenta mayor carga de combustible en este componente es el sitio 1, esto se puede deber a que presentó la mayor cantidad de árboles ha^{-1} que en el resto de los sitios. En la figura 6, se presentan las carga para cada sitio separadas por Ho y Oa, donde se resalta la mínima acumulación de material en el sitio 2 que fue el que presenta un evento de incendio forestal más reciente.

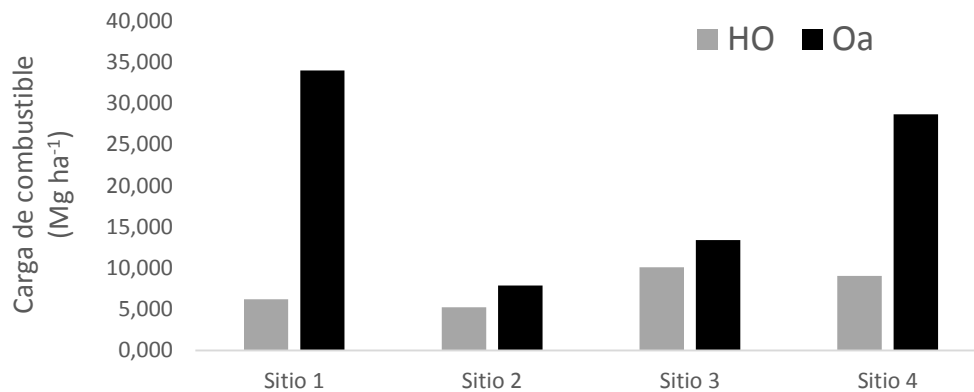


Figura 9. Carga de combustible por acumulación de Ho y Oa en un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014.

Al comprar los valores totales obtenidos con los reportados en otros estudios, se tiene que son valores similares ya que el valor máximo se obtuvo en el sitio 4 con

37,76 Mg ha⁻¹, y los reportados por Hernández y Ramírez 2010, que fluctuaron entre 32,08 y 44,36 Mg ha⁻¹.

El evaluar estos dos componentes es importante ya que son los que facilitan a que se dé más rápidamente la propagación del fuego, así como el horizonte orgánico puede consumirse en fuegos bajo la tierra o incendio subterráneos, que si bien son escasos, causan muchos daños a nivel de suelos y la fauna asociada. Como se determinó en los sitios 1 y 4 la acumulación de combustibles en estos componentes es importante, por lo que se recomienda reducirlas.

Carga total de combustibles

Analizando las cargas sumadas de los componentes para cada sitio, se pueden notar un incremento de la necromasa en los sitios desde el sitio de 4 años de incendiado hasta el de referencia. Como se ve en el cuadro 4 para el sitio 1 se obtuvo un total de 48,68 Mg ha⁻¹, carga similar al sitio 3 y donde solo tienen 7 años de diferencia entre el tiempo de los incendios. Los sitios que si presentaron una diferencia marcada, fueron el 2 y el 4, uno recientemente afectado por el fuego con la menor carga (19,64 Mg ha⁻¹) y el sitio de referencia con la mayor carga (55,60 Mg ha⁻¹).

Cuadro 4. Cargas totales de combustibles por categoría para un bosque mixto de la Sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014 (Mg ha⁻¹)

Sitio	1 hr	10 hr	100 hr	1000hr F	1000hr D	Subtotal	HO	Oa	Total
1	0,23	3,55	2,36	1,13	1,21	8,48	6,23	33,963	48,68
2	0,14	2,14	1,67	2,09	0,50	6,55	5,24	7,854	19,64
3	0,17	4,32	5,21	13,28	1,84	24,81	10,10	13,447	48,36
4	0,12	2,85	3,25	8,83	2,79	17,84	9,06	28,703	55,60

En cuanto a la caracterización de los combustibles según la categoría, se puede observar en la figura 9, que la cantidad mas grande de combustibles esta dada por el componente horizonte organico (Oa), lo que implica prestar atención a este tipo de material para evitar incendios de mayor magnitud. De manera general los

combustibles livianos se presentan en menor cantidad. El sitio 3 presentó la mayor carga de combustibles de 1000 hr firmes por lo que se recomienda hacer un adecuado manejo de esos rodales que son los más críticos.

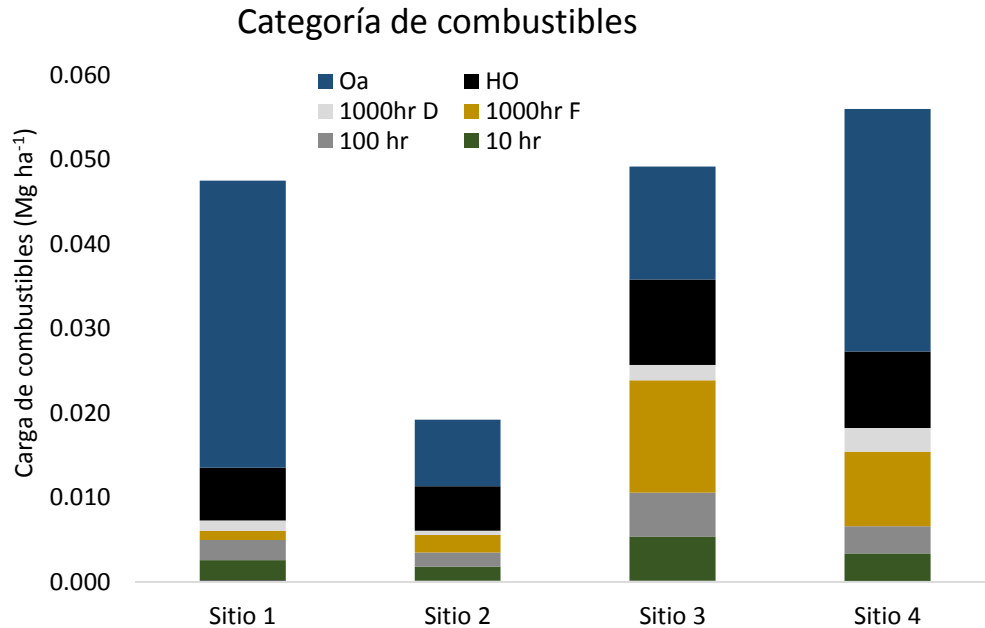


Figura 10. Distribución de cargas totales de combustibles (Mg ha^{-1}) por sitio y según tiempo de retardo (TR) para un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014. F= Firmes, D=Descompuestos, HO=Hojarasca, Oa= Horizonte orgánico.

Con respecto a estas cargas calculadas y a la política a nivel nacional en México, que se ha enfocado en la exclusion e extinsion de incendios, no siempre el combate contra el fuego es la mejor opción si se busca la conservación y manejo de los ecosistemas forestales (Vera, 2005). Por lo que se recomienda hacer un manejo integral del fuego con el fin de reducir las cargas del combustibles en estos bosques, mediante el uso de quemas prescritas con las mejores técnicas, además de hacer un uso eficiente de la materia orgánica como producto no maderable del bosque. El objetivo primordial siempre sera la reducción de peligro de incendios de intensidades destructivas y los daños que ocasionarían.

Las cargas de combustibles y su disponibilidad se alteran frecuentemente (Xelhuantzi-Carmona *et al.* 2011), según el estrato forestal evaluado, la época del año, la vegetación entre otros (Brandeis y Woodall, 2008). Villers (2006)

menciona que cada tipo de vegetación presenta diferente tipo de combustibles y diferente cargas de los mismos, por lo que debe analizarse de forma individual cada ecosistema e identificar esas variantes para hacer adecuados planes de manejo.

Comparación entre parcelas

No se encontraron diferencias entre los sitios para las variables: carga de material leñoso caído, carga por hojarasca, profundidad de hojarasca y carga total de combustibles. Como describe Rubio (2013) esto podría deberse a los periodos de descomposición de la necromasa, de manera que las cargas de combustibles leñosos caídos se mantienen constantes en ausencia del fuego. Por otra parte se encontraron diferencias en la carga y profundidad del horizonte orgánico, lo que indica que el sitio 1 es que presenta mayor carga con $21,40 \text{ Mg ha}^{-1}$. Los sitios 3 y 4 no tienen diferencias entre sí, y el sitio 2 es el que presenta los menores.

El análisis no permite afirmar que sitios con diferente tiempo sin ocurrencia de incendio, presentan cargas diferentes y que estas incrementan con el tiempo. Pero, se pudo demostrar que los combustibles si tienden a tener esa dinámica con el paso del tiempo, pero que también intervienen otros factores en su acumulación y distribución como: el número de individuos, las especies, la distribución de esos individuos, la estructura de los bosques, entre otros que serán el inicio para otros trabajos de investigación en el futuro.

Carbono capturado

Se obtuvo un promedio de 91,48 Mg ha⁻¹ entre los componentes biomasa aérea, material leñoso caído y horizonte orgánico. Tomando en cuenta que el bosque mixto en estudio tiene una extensión de 2676,89 ha, se puede afirmar que en esta primera estimación los bosques están capturando un total de 686 121,57 Mg. Esto sin incluir los componentes de sistema radicular y carbono de suelos que son importantes reservorios de carbono (Razo-Zárate, Gordillo-Martínez, Rodríguez-Laguna, Maycotte-Morales y Acevedo-Sandoval; 2009).

Cuadro 5. Cantidad de carbono almacenado en la necromasa y fuste de un bosque mixto de la sierra de Coyuca, Guerrero, México. 2014 (Mg ha⁻¹)

Depósito	Carbono(Mg ha-1)	Porcentaje %	C total (Mg)
Carbono en fuste	69,95	76,46	524 608,29
Material leñoso caído	7,21	7,88	54 079,37
Horizonte orgánico	10,50	11,47	78 718,50
Hojarasca	3,83	4,19	28 715,41
Total	91,48	100,00	686 121,57

Este resultado es bajo comparándolo con otros estudios de bosques mixtos, que reportan 152,00 Mg ha⁻¹ Ordóñez (2000), 186,30 Mg ha⁻¹ (Laguna et al. 2009), 353,34 Mg ha⁻¹ Bautista-Hernández y Torres-Pérez (2003).

Es importante este tipo de estimaciones ya que según Rodríguez *et al.* 2009, existe pocas referencias de estudios que evalúen la necromasa en ecosistemas forestales, que aunque se considere que son reservorios con un periodo corto de captura de Carbono, la mayoría de este se incorpora al suelo quedando almacenado por periodos largos.

A su vez estos primeros valores estimados pueden ser la base para posibles estudios en los bosques mixtos en condiciones similares a las del ejido de Atoyaquillo, donde pueden así disponer de ese carbono para proyectos de su propio beneficio.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El número de especies aumenta en el bosque conforme incrementa el tiempo sin ocurrencia de un incendio. De igual manera el área basal y volumen total fue mayor en sitios con mayor tiempo sin la presencia del fuego.

Las cargas de combustibles livianos se mantienen constantes en los sitios a lo largo del tiempo entre los 4 y 40 años, mientras que en las cargas de combustibles pesados si hay diferencias más grandes entre los sitios.

No se encontraron diferencias según el componente de combustible entre los sitios, para material leñoso caído, carga total de combustibles, carga por hojarasca (HO); tampoco para la profundidad de hojarasca. La única variable que presentó diferencias entre los sitios fue la carga por horizonte orgánico (Oa) y la profundidad del mismo, sin embargo, el sitio que presentó más acumulación no fue el que presentó mayor número de años sin presencia de fuego.

Las cargas calculadas para los sitios se consideran como excesivas por lo que se recomienda dar un manejo para reducir las mismas y evitar riesgo de un incendio forestal con mayores intensidades.

Se recomienda la instalación de parcelas permanentes de muestreo de acumulación de combustibles en el bosque para evaluar la dinámica en el tiempo de los mismos. Así como hacer evaluaciones a lo largo del año para ver el comportamiento de las cargas según las estaciones e identificar las de mayor riesgo.

Se recomienda la formulación e implementación de un proyecto para la recolección de material leñoso caído y árboles muertos en pie principalmente en sitios con altos índices de mortalidad, donde se disminuyan las cargas de combustibles forestales y a su vez disponer de biomasa como fuente de energía renovable para el mismo ejido.

5. REFERENCIAS

- Araujo-Murakami, A., Parada, A. G., Terán, J. J., Baker, T. R., Feldpausch, T. R., Phillips, O. L., & Brienen, R. J. (2011). Necromasa de los bosques de Madre de Dios, Perú: una comparación entre bosques de tierra firme y de bajíos. *Revista Peruana de Biología*, 18(1), 113-118.
- Baca, J. (2000). Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares, México.
- Bautista-Hernández, j., & Torres-Pérez, J. A. (2003). Valoración económica del almacenamiento de carbono del bosque tropical del ejido Noh Bec, Quintana Roo, México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(1), 69-75.
- Brandeis, T. J. and W. C. Woodall (2008). Assessment of forest fuel loadings in Puerto Rico and the US Virgin Islands. *AMBIO. A Journal of the human Environment* 37: 557-562.
- Brown, J. K. (1974). Handbook for inventoring downed woody material. USDA Forest Service. General Technical Report INT-16. Utah, USA. 24p.
- Chao, K. J., Phillips, O. L., Baker, T. R., Peacock, J., López-González, G., Vásquez Martínez, R., & Torres-Lezama, A. (2009). After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia. *Biogeosciences Discussions*, 6(1), 1979-2006.
- Comisión Nacional Forestal (2010). Conceptos básicos- Incendios forestales. Gerencia de protección contra incendios forestales. Folleto técnico.
- Comisión Nacional Forestal (2013). Gerencia de protección contra incendios forestales. Folleto técnico
- Comisión Nacional Forestal (2014). Gerencia de protección contra incendios forestales. Folleto técnico.

- Díaz-García, E. (2012). Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo. Tesis de licenciatura. Universidad autónoma de Nuevo León. Linares, México. 94 p.
- Di Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; González, L.; Tablada, M.; Robledo, C. (2011). InfoStat-e versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Elias M. & C. Potvin. (2003). Assessing inter- and intra-specific variation in trunk carbon concentration for 32 Neotropical tree species. *Can. J. For. Res.* 33: 6.
- Flores-Garnica., J. G.; O. G., Rodríguez Ch.; M. Meléndez G. y O. G. Rosas A. (2008). Sitios de muestreo para el monitoreo de combustibles forestales. SIMMCOF. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, CIRPAC, INIFAP. Folleto Técnico Núm. 1. Guadalajara, Jalisco, México.
- Flores-Garnica, J. G.; Omi P., N. (2003). Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia* 37: 65-72.
- González, M., Pérez, J., Schwendenmann, L., & Himmelsbach, W. (2007). Reconstrucción del Historial de incendios y estructura forestal en bosques mixtos de pino-encino en la Sierra Madre Oriental. *Madera y Bosques*, 13(2), 51-63.
- Hernández, R; Ramírez U (2010). Evaluación del material combustible en la estación forestal, experimental Zoquiapán. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 55p.
- Juárez-Martínez, A., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2003). Efecto de los incendios forestales en la regeneración de *Pinus oocarpa* var. *ochoteranae*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* IX (2), 125-130.
- Laguna, R. R., Pérez, J. J., Calderón, Ó. A. A., Garza, E. J. T., & Zárate, R. R. (2009). Estimación de carbono almacenado en el bosque de pino-encino en la reserva de la biosfera El Cielo, Tamaulipas, México. *Ra Ximhai*, 5(3), 317-327.

- López-Hernández, J. M., González-Rodríguez, H., Gonzalo, R., Ramírez-Lozano, I. C. S., Gómez-Meza, M. V., Pando-Moreno, M., & Estrada-Castillón, A. E. (2013). Producción de hojarasca y retorno potencial de nutrientes en tres sitios del estado de Nuevo León. *Revista Polibotánica*. 35. 41-64 p. México.
- Márquez-Linares, M. A., M. S. González-Elizondo y R. Álvarez-Zagoya. (1999). Componentes de la diversidad arbórea en bosques de pino encino de Durango, México. *Madera y Bosques* 5(2): 67-78.
- Morfín Ríos, J.E.; Alvarado Celestino, E.; Jardel Peláez, E.J.; Vihnanek, R.E.; Wright, D.K.; Michel Fuentes, J.M.; Wright, C.S.; Ottmar, R.D.; Sandberg, D.V.; Nájera Díaz, A. (2007). Fotoseries para la Cuantificación de Combustibles Forestales de México: Bosques Montanos Subtropicales de la Sierra Madre del Sur y Bosques Templados y Matorral Submontano del Norte de la Sierra Madre Oriental. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 98 pp.
- Morfín 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, Jalisco, México. 93 p.
- Mota, N. M. 2005. Modelagem de combustíveis florestais no Parque Nacional do Iguacu, Paraná, Brasil. *Floresta Curitiba*.36: 3.
- Nájera, J. N., & Hernández, E. H. (2007). Estimación de la carga de combustibles forestales en un bosque coetáneo de la región de El salto, Durango. Sitio argentino de producción animal.
- Ordóñez, A. (2000). Estimación preliminar del contenido de carbono para el Ejido de San Pedro Jacuaro. Instituto de Ecología, UNAM. México.
- Pausas, J. G. (2010). Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, 407, 56-63.

- Promotores para la Autogestión y Desarrollo Social (2014). Estudio de Ordenamiento Territorial Comunitario, ejido Atoyaquillo, Municipio Coyuca de Benítez. (Informe técnico)
- Perry Jr, J. P., Graham, A., & Richardson, D. M. (2000). 7 The history of pines in Mexico and Central America. *Ecology and biogeography of Pinus*, 137.
- Pyne, S., P. Andrew y R.D. Laven. 1996. *Introduction to wildland fire*. 2a.ed. Wiley, Nueva York. 769 p.
- Razo-Zárate, R., Gordillo-Martínez, A. J., Rodríguez-Laguna, R., Maycotte-Morales, C. C., & Acevedo-Sandoval, O. A (2013). Escenarios de carbono para el bosque de oyamel del Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 9 (1): 17-21.
- Rodríguez T., D. A. (1994). *La lucha contra el fuego. Guía para la prevención, presupresión y supresión de incendios forestales*. Universidad Autónoma Chapingo. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre, SARH. 171 p.
- Rodríguez T., D. A. 1996. *Incendios forestales*. Mundi-Prensa México, D. F., Universidad Autónoma Chapingo, México. 630 p
- Rodríguez, D. y P. Fulé. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*. 12. 23-37p.
- Roncal-García, S., Soto-Pinto, L., Castellanos-Albores, J., Ramírez-Marcial, N., & De Jong, B. (2008). Sistemas agroforestales y almacenamiento de carbono en comunidades indígenas de Chiapas, México. *Interciencia*, 33(3), 200-206.
- Rosales, A. G., & Trejo, D. A. R. (2004). Efecto del chamuscado de copa en el crecimiento en diámetro de *Pinus hartwegii* lindl. en el Distrito Federal, México. *Agrociencia*, 38(5), 537-544.
- Rubio C. E. (2013). Análisis de la estructura, biomasa y combustibles forestales: una aproximación a la ecología del fuego en bosques montanos de la

sierra madre oriental. 116 p. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL). Linares, Nuevo Linares.

Sandberg, D.V.; Ottmar, R.D.; Cushon, G.H. (2001). Characterizing fuels in the 21st Century. *International Journal of Wildland Fire* 10: 381-387.

Santiago F. H; Servin M., M; Rodarte R., H; Garfias A. F. (1999). UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente Dirección general de Publicaciones y Fomento editorial. 107p.

Vera, V (2005). Supervivencia y crecimiento de *Pinus hartwegii* a dos años de incendios y quemas prescritas. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Chapingo, Texcoco, México.

Villers, R., & DE L, M. (2006). Incendios forestales. *Ciencias*, 81, 60-66.

Vitousek, P. M., Turner, D. R., Parton, W. J., & Sanford, R. L. (1994). Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai'i: patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, 418-429.

Wong, J; Villers, M (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Investigaciones geográficas*, (62), 87-103.

Xelhuantzi Carmona, J., Flores Garnica, J. G., & Chávez Durán, Á. A. (2012). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3).

6. ANEXOS

Anexo 1. Ubicación de los sitios de muestreo en el bosque mixto del ejido Atoyaquillo, Coyuca de Benítez, Guerrero, México. 2014.

Localización de área de estudio

