



Universidad Autónoma Chapingo

"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE LA TIERRA, NO LA DEL HOMBRE"

Maestría en Ciencias Forestales
División de Ciencias Forestales

**INFLAMABILIDAD DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN LAS
SELVAS DE CALAKMUL CAMPECHE**

TESIS

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

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN CIENCIAS FORESTALES**

PRESENTA:

ALMA CRISTINA NERI PÉREZ

Chapingo, México, diciembre de 2007.



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



BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

INFLAMABILIDAD DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN LAS SELVAS DE CALAKMUL, CAMPECHE

Tesis realizada por Alma Cristina Neri Pérez bajo la dirección 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

ASESOR:



M. en C. Javier Santillán Pérez

ASESOR:



Dr. Hubert Tchikoué

Chapingo, México, Diciembre de 2007.

DEDICATORIA

A **Dios**, por darme el don de la sabiduría.

A **los Ángeles**, con cariño y nostalgia.

A **mis padres** María Antonieta y Rafael todo mi amor, respeto y admiración. Por que me enseñaron que aunque en tu camino solo haya cuestas que subir, descansar acaso debes, pero nunca desistir.

A **mis hermanos**: Laura, Juan y Rocio, con todo mi cariño. Por que el lazo que nos une es el amor, la ternura y la amistad. Mi corazón estará siempre con ustedes.

A **mi esposo** Natanael con todo el amor que te tendré toda la vida.

A la memoria de **mis abuelitos** Antonio y Juan, ahora entiendo que "siempre habrá tiempos mejores".

A **mis abuelitas** Ana María y Julia con todo mi cariño y admiración.

A **mis sobrinas**: Diana y Lupita, por que con su presencia iluminaron mi vida.

A **mis tíos**: Sostenes, Lupita, Panchis, Rosa, Samuel, Pancho, Memo y Héctor. Y a **mis primos** con cariño.

A **mis maestros** con respeto.

A **mis amigos**: Odilia, Magda, Rocio, Arely, Martha, Sofía, Victoria, Lorena, Felipe, Juan, Mario, Uriel, Ezequiel, en especial a la memoria de Yavet.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por el apoyo otorgado para la realización de mis estudios de posgrado y la elaboración de ésta tesis.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi *alma mater*, por esculpir mi mente y mi espíritu.

Al Doctor Dante Arturo Rodríguez Trejo por la dirección y el apoyo para que se realizara este trabajo de investigación. Pero sobretodo por su paciencia, tiempo y conocimientos. Gracias por enseñarme que tanto en el trabajo, como en la vida, "los incendios no esperan".

Al M. en C. Javier Santillán Pérez y al Dr. Hubert Tchikoué, por sus valiosos comentarios, sugerencias y aportaciones para la elaboración de la tesis.

Al Dr. Jose Luis Romo Lozano, por sus enseñanzas y sobretodo por su apoyo para poder concluir mis estudios de posgrado.

A los profesores de la Maestría en Ciencias Forestales, por contribuir a mi formación académica.

Al Ing. Rafael Contreras Aguada por su ayuda en la realización de la colecta de la combustibles.

Al Biólogo José Cutberto Vázquez R., por las facilidades que me dio durante la realización de los análisis de laboratorio.

A mis padres y hermanos por todo su cariño, confianza, por su ayuda para poder cumplir mis sueños. Por cada palabra de aliento, mil gracias.

A mi esposo Natanael Magaña Lira, por su amor, confianza y apoyo para poder cumplir una de mis metas.

A los ayudantes de laboratorio Víctor Sánchez García, por su ayuda para la realización de los análisis de laboratorio y Gumaro Meraz Urban por su apoyo moral.

A Gerardo Ángeles Mendoza por su apoyo en la preparación de los combustibles para la elaboración de los análisis de laboratorio.

A la familia Contreras Estrada por su amistad.

Al señor Vicente Trujado por la dedicación en el empastado de la tesis.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente tesis, nació el 21 de junio de 1980 en Huejotzingo, Puebla. En el período de 1986-1992 curso la primaria en la escuela “Maximino Ávila Camacho” y de 1992-1995 realizó sus estudios de secundaria en la institución “Plutarco Elías Calles” en Huejotzingo, Puebla. En 1998, ingresa a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo.

Realizó sus estudios profesionales en la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo durante el período de 1999- 2003, donde obtuvo el título de Ingeniero en Restauración Forestal en Agosto de 2004.

Durante el período 2004-2007 realizó sus estudios de posgrado en el Programa de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, en la línea de investigación de Comportamiento y uso del fuego.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	v
1.INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1 Descripción del área de estudio	11
3.1.2. Clima	11
3.1.3. Suelos	11
3.1.4. Hidrología	12
3.1.5. Vegetación	12
3.1.6. Importancia de la Reserva de Calakmul	17
3.2. Colecta	18
3.3 Pruebas de ignitabilidad y sostenibilidad	19
3.4. Pruebas de combustibilidad y consumibilidad	20
4. ANALISIS ESTADÍSTICO	23
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1. Análisis por tipos de selvas	24
5.1.1. Ignitabilidad	24
5.1.2. Combustibilidad	25
5.1.3 Consumibilidad	27
5.1.4. Sostenibilidad	28
5.2. Análisis por tipo de combustible	31
5.2.1. Ignitabilidad	31
5.2.2. Combustibilidad	32
5.2.3. Consumibilidad	33
5.2.4. Sostenibilidad	34
6. CONCLUSIONES	38
7. RECOMENDACIONES	38
8. LITERATURA CONSULTADA	39

ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

Cuadro 1. Muestreo de combustibles (adaptado de Contreras <i>et al.</i> , 2006).....	18
Cuadro 2. Tipos de vegetación de la RBC (adaptado de Contreras <i>et al.</i> , 2006).	19
Cuadro 3. Análisis de varianza de la inflamabilidad por tipos de vegetación de RBC	24
Cuadro 4. Clasificación por ignitabilidad.....	25
Cuadro 5. Clasificación por combustibilidad	26
Cuadro 6. Clasificación por consumibilidad	27
Cuadro 7. Clasificación por Inflamabilidad.	28
Cuadro 8. Clasificación de tipos de selvas por su inflamabilidad.....	29
Cuadro 9. Inflamabilidad de los tipos de vegetación presentes en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche.	29
Cuadro 10. Análisis de varianza de la inflamabilidad de los tipos de combustible.....	31
Cuadro 11. Clasificación de ignitabilidad por tipo de combustible	32
Cuadro12. Clasificación por Combustibilidad por Tipo de combustible	33
Cuadro 13. Clasificación por Consumibilidad por tipo de combustible	34
Cuadro 14. Clasificación de la Sostenibilidad por Tipo de combustible.....	35
Cuadro 15. Clasificación de Tipos de combustible por su Inflamabilidad (rangos)	36
Cuadro.16. Clasificación de tipos de combustible por su inflamabilidad.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ignitabilidad por tipo de selva.....	25
Figura 2. Combustibilidad por tipo de selva.....	26
Figura 3. Consumibilidad por tipo de selva.....	27
Figura 4. Sostenibilidad por tipo de selvas.....	28
Figura 5. Ignitabilidad por tipo de combustible.....	32
Figura 6. Combustibilidad por tipo de combustible.....	33
Figura 7. Consumibilidad por tipo de combustible.....	34
Figura 8. Sostenibilidad por tipo de combustible.....	35

INFLAMABILIDAD DE COMBUSTIBLES FORESTALES EN LAS SELVAS DE CALAKMUL, CAMPECHE

FLAMMABILITY OF FOREST FUELS IN THE TROPICAL FOREST OF CALAKMUL, CAMPECHE

RESUMEN

La investigación se realizó en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche con la finalidad de determinar la inflamabilidad de seis tipos de selvas: selva alta subperennifolia (SAsp), selva alta subperennifolia afectada por incendios 2003 (SAspQ), selva mediana subperennifolia (SMsp), selva mediana subcaducifolia (SMsc), selva baja subcaducifolia (SBsc), selva baja inundable (SBI) y comparar la inflamabilidad entre tres estratos de combustibles forestales: herbáceo, hojarasca y subterráneo.

Se evaluaron los cuatro componentes de la inflamabilidad. La ignitabilidad se evaluó registrando el tiempo a la ignición independiente. La consumibilidad se determinó con el intervalo de tiempo desde la ignición al término de la combustión. La combustibilidad se midió utilizando un calorímetro para calcular el calor de combustión. La consumibilidad se valoró el porcentaje de combustible que se quemó. Finalmente se obtuvo la inflamabilidad de los combustibles para las seis selvas y los tres estratos de combustibles.

Las selvas con inflamabilidad alta fueron: SAsp, SBsc, SAspQ y SBI. Las que tienen una inflamabilidad baja son: SMsp y SMsc. Los combustibles subterráneos tienen inflamabilidad alta; la hojarasca inflamabilidad media y el herbáceo inflamabilidad baja.

Palabras clave: calorímetro, ignitabilidad, combustibilidad, sostenibilidad, consumibilidad.

ABSTRACT

This work was conducted with forest fuels from the Calakmul biosphere preserve, Campeche Stat, Mexico. The objective was to determine the flammability of forest fuels of six types of tropical forest: subperennifolious tropical rain high forest (SAsp), subperennifolious tropical rain high forest affected by fire in the past (SAspQ), subperennifolious tropical rain médium forest (SMsp), caducifolious tropical médium forest (SMsc), subcaducifolious tropical dry low forest (SBsc) and tropical dry low flooded forest (SBI). Also was compared the flammability among three groups of forest fuels: forbs, leaf litter and duff.

Were evaluated four flammability components. The ignitability was evaluated recording the time to independent ignition. The consumibility was determined with the time from ignition to the end of combustion. Combustibility was estimated with the measured the heat combustion, with a calorimeter. The consumption was estimated with the percentage of burned fuel. With this components was obtained the flammability of the forest fuels from the six types of tropical forests studied

Larger flammability was determined for SAsp, SBsc, SAspQ and SBI. Lower flammability was recorded for SMsp and SMsc. Subterraneous forest fuels (duff) had high flammability, followed by leaf litter and duff.

Keywords: ignitability, consumibility, combustibility, consumption

1.INTRODUCCIÓN

El fuego es un fenómeno natural o asociado a las actividades del hombre, ha sido un factor ambiental presente durante mucho tiempo en los ecosistemas y ha jugado un papel muy importante en la dinámica y conformación de los mismos (Rodríguez, 1996). Sin embargo, el uso excesivo o la exclusión del fuego y el cambio de uso de suelo, han originado la alteración de los regímenes de fuego.

En el mundo anualmente se presentan cientos de miles de incendios forestales, la mayoría ocurren en las regiones tropicales y subtropicales (Goldammer y Manan, 1996). En México de acuerdo con SEMARNAT (2005) se registran en promedio 6774 incendios por año (1970-2005), el 60 % de estos eventos ocurren en áreas con cobertura arbórea.

Diversos países cuentan con tecnologías como los Sistemas de Información Geográfica, programas de simulación de comportamiento del fuego (peligro e impactos de los incendios), los cuales se basan en modelos de combustible como los generados por Rothermel (1972). Estos modelos se van adaptando de acuerdo a las condiciones del sitio y actualmente se están tomando en cuenta algunos parámetros de la inflamabilidad en su programación.

Debido a lo anterior, se considera necesaria la realización de investigación sobre inflamabilidad, en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche, ya que la zona es un lugar con gran riqueza florística, cuenta con diferentes tipos de selvas y ante el aumento del peligro de incendios en áreas tropicales. Con lo cual se puede generar un conocimiento útil para ser incluido en el plan de manejo del fuego de la Reserva.

La definición que se adoptó en el presente trabajo de investigación es la siguiente: Anderson (1970) también utilizada por Behm (2003), considera la inflamabilidad de un combustible como el conjunto de tres fenómenos: Ignitabilidad, Sostenibilidad y Combustibilidad. Martin *et al.* (1994) mencionan un cuarto elemento que es la consumibilidad. A continuación se definen términos de acuerdo a los mismos autores:

1. Ignitabilidad. Es la facilidad con la que un material entra en ignición y se puede describir en términos del tiempo transcurrido hasta el comienzo de la ignición bajo un flujo de calor cuantificado hacia la superficie del material en estudio.
2. Sostenibilidad.- Describe la propiedad de un combustible para continuar quemándose.
3. Combustibilidad. Es la velocidad a la que un combustible se quema y es el factor dominante en los cálculos de comportamiento del fuego. Pero la definición que utilizaremos en este trabajo es la siguiente: combustibilidad se refiere al calor desprendido, que ha de ser en cantidad suficiente para mantener la combustión y propagarla a la materia vegetal próxima. Se determina mediante el estudio de la cantidad de calor desprendida y de las formas de transmisión del calor en el medio forestal Velez, (2000).
4. Consumibilidad. Se refiere a qué cantidad o porcentaje de un combustible se quemaría.

Las hipótesis del presente trabajo son:

- A mayor grado de complejidad en la estructura de las selvas será menor la inflamabilidad relativa del combustible.
- A mayor grado de descomposición del combustible, se incrementa la inflamabilidad relativa. El combustible subterráneo será más inflamable que los combustibles superficiales (herbáceo y hojarasca).

Los objetivos son:

1. Determinar la inflamabilidad de seis tipos de selvas en la Reserva de la Biosfera de Calakmul.
2. Comparar la inflamabilidad de tres estratos de combustible: herbáceo, hojarasca y subterráneo en la Reserva de la Biosfera de Calakmul.

2. ANTECEDENTES

Inflamabilidad

No hay acuerdo general para el concepto de inflamabilidad, lo cual ha provocado numerosas definiciones y mucha confusión, al igual que en los conceptos de ignición y combustibilidad. Existen diferentes definiciones sobre la inflamabilidad entre las cuales destacan las siguientes:

Batchelder y Hirt (1966), definen a la inflamabilidad como la capacidad de la vegetación para comenzar una ignición cuando es expuesta a un foco de calor, donde la combustibilidad es derivada de las condiciones ambientales y la composición química de los tejidos vegetales, para sostener el fuego.

Elvira y Hernando (1989), señalan que la inflamabilidad de una especie o punto de inflamación de un combustible, es la temperatura del mismo a la cual es capaz de emitir gases que formen llama al ponerse en contacto con una fuente térmica piloto. A su vez la combustibilidad es una reacción química que constituye el fuego, con o sin desprendimiento de llama después de haberse inflamado, que se transmite a lo largo del material o materiales vecinos (lo cual puede ocurrir o no, por inflamaciones sucesivas).

La inflamabilidad también se define como la facilidad relativa con la cual una sustancia entra en ignición y sostiene la combustión¹. Trabaud (1976), considera la inflamabilidad como la propiedad que posee un vegetal de inflamarse cuando una fuente de calor entra en contacto con él, y la combustibilidad la forma en que se queman una vez que se ha inflamado.

Según Delabraze (1977), la inflamabilidad es la facilidad con la que se inflama un vegetal al ser expuesto a una radiación calorífica constante, y la combustibilidad la facilidad con la que arde un vegetal, desprendiendo energía suficiente para consumirse y provocar la inflamación de la vegetación vecina.

¹ <http://da.montes.upm.es/seminarios/incendios/00/jinicolos.htm>

Por otra parte, Jonson *et al.* (2001), definen la inflamabilidad como la ignición de combustibles bajo la acción externa de calor que libera mediante la pirólisis productos de la combustión. Igualmente puede definirse como la facilidad del combustible forestal para arder bajo la acción calorífica de un foco térmico, lo que se manifiesta con la ignición de la llama (Martínez *et al.*, 2001).

De acuerdo con Arnaldos *et al.* (2004) la inflamabilidad también se puede definir como la facilidad con la que un determinado combustible entra en combustión cuando se pone en contacto con una fuente de ignición, pero la inflamabilidad es una propiedad del combustible, mientras la ignición es una acción realizada sobre un combustible. El mismo autor define a la combustibilidad como la facilidad que tiene un combustible para continuarse quemando una vez iniciada la combustión.

En este trabajo de investigación utilizamos la definición de Anderson (1970) también utilizada por Behm (2003), considera la inflamabilidad de un combustible como el conjunto de tres fenómenos: Ignitabilidad, Sostenibilidad y Combustibilidad. Martin *et al.* (1994) mencionan un cuarto elemento que es la consumibilidad

Importancia de la inflamabilidad

El conocimiento de la inflamabilidad permite realizar operaciones silvícolas para eliminar selectivamente especies que presenten grados elevados de inflamabilidad substituyéndolas por otras de menor riesgo (Vallete, 1990; Dibble *et al.*; 2003; Arnaldos *et al.*, 2004).

El conocimiento de la inflamabilidad permite hacer mapas de riesgo a partir de mapas de vegetación, teniendo en cuenta no sólo el estrato arbóreo sino también el arbustivo y el herbáceo (Vallete, 1990; Arnaldos *et al.*, 2004). La elaboración de mapas de modelos de combustibles y de mapas de modelos de inflamabilidad, se hacen a partir de la información de las parcelas de muestreo y de la distribución de las especies arbóreas forestales aportada por un mapa forestal (Gracia *et al.*, 2004). Estos mapas forman parte de la cartografía básica utilizada en la elaboración del Mapa Diario de Riesgo de Incendio Forestal por parte del Servicio de Prevención de Incendios Forestales de la Generalitat de Cataluña desde el año 2003. (Mata *et al.*, 2007).

La modelación de la estructura vegetal en función de la combustibilidad e inflamabilidad y la nueva cartografía automática facilitan la obtención de pronósticos de comportamiento del fuego como apoyo para la elaboración de los planes de ataque, así como la corrección y ajuste de programas (Visual Behave, Visual Cardin, BEHAVE Plus, FARSITE), suponen una herramienta de cálculo rápido para el pronóstico del comportamiento del fuego (Cushon *et al.*, 2002; Rodríguez y Molina, 2007).

Los cambios en el régimen de fuego en comunidades de encino no están documentados; pero pueden estar relacionados con cambios en la inflamabilidad de las comunidades, después del establecimiento de plantas invasoras (Huebner, 2003).

De acuerdo con Vallete (1990) y Arnaldos *et al.* (2004), el conocimiento de la inflamabilidad y sus variaciones estacionales, también es útil para clasificar las especies de acuerdo al grado de inflamabilidad. De manera general, es el tema que se desarrolla en este trabajo.

La investigación sobre inflamabilidad

En México no existen muchas investigaciones con respecto a la evaluación de la inflamabilidad de los combustibles forestales, excepto una contribución, la de Neri (2004), en la cual se realizó un estudio de la inflamabilidad relativa en combustibles de la EFEZ (Estación Forestal Experimental Zoquiapan) evaluándose dos tipos de combustibles (herbáceas y hojarasca) y se realizó una clasificación de la inflamabilidad las especies más abundantes de la zona.

A nivel mundial, han hecho varias investigaciones para evaluar la inflamabilidad y sus componentes, utilizando diferentes metodologías. La mayor parte de estos trabajos se realizaron en Francia, España, Estados Unidos y Australia. Los más sobresalientes se mencionan a continuación.

En Francia el método más utilizado para la determinación de la inflamabilidad de los combustibles forestales es el propuesto por Delabraze y Valette (1977), consiste en someter sucesivamente 50 muestras de 1 g, a la acción de un foco calórico de 500 W de potencia (7 W/cm^2). Este método fue utilizado por Elvira y Hernando (1989), en el

laboratorio de fuego forestal del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias y Alimentaria (INIA) de España y el Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) de Francia², para realizar la medición y clasificación de la inflamabilidad de especies mediterráneas.

Otro método utilizado para medir la inflamabilidad relativa de la vegetación es el uso del cono calorimétrico (calorímetro). Este método fue usado por White *et al.* (1996), quienes realizaron un estudio de la inflamabilidad de plantas ornamentales utilizadas cerca de las casas, posteriormente hicieron estudios para comparar la inflamabilidad de árboles de navidad (White *et al.* 1997). También en el Noreste de Estados Unidos, hicieron un estudio comparativo de la inflamabilidad de plantas nativas con invasoras utilizando el mismo método (calorímetro) para cuantificar el calor efectivo de combustión de hojas y ramas. Concluyeron que el calor efectivo de combustión de algunas especies invasoras es menor que de especies nativas (Dibble, 2003).

En otros estudios han medido uno o dos de los componentes de la inflamabilidad, como Dimitrakopoulos (2001), que midió el tiempo de ignición de algunas especies dominantes en los bosques mediterráneos, para desarrollar una clasificación de acuerdo a su inflamabilidad relativa. El contenido de humedad fue el factor que afectó significativamente la inflamabilidad.

Curt *et al.* (2007) realizaron pruebas en laboratorio para determinar la inflamabilidad y potencial ignición de zonas de transición de bosques, al sur de Francia. Probaron diferentes tipos de combustibles y combinaciones (litter, pastos y arbustos), prácticas de manejo, formas de ignición, velocidades de viento, y diferentes rangos de contenido de humedad de combustibles. Los resultados indicaron diferencias entre las variables de inflamabilidad (probabilidad y tiempo de ignición, propagación), el modo de ignición y la velocidad del viento, afectan la probabilidad de ignición. La humedad del combustible y el tipo de vegetación afecta la propagación y sostenibilidad del incendio.

Son pocos los trabajos en los cuales se han evaluado los 4 componentes de la inflamabilidad: ignitabilidad, combustibilidad, sostenibilidad y combustibilidad. Estas investigaciones se han hecho en Estados Unidos y Australia; en las que podemos mencionar las siguientes:

² <http://da.montes.upm.es/seminarios/incendios/00/jinicolas.htm>

La investigación de Behm *et al.* (2003), para probar la importancia de la inflamabilidad de las plantas en la interfase urbana-forestal, compararon los componentes de la inflamabilidad de especies nativas comúnmente encontradas en los bosques de madera suave y madera dura en el sur de los Estados Unidos y usadas en plantaciones. La ignitabilidad se basó en el tiempo a la ignición independiente. La sostenibilidad incluyó el intervalo del tiempo después de la ignición independiente al final de la combustión. La combustibilidad fue medida por la tasa de calor máxima y la altura de llama. La consumibilidad la obtuvieron haciendo una comparación del volumen inicial y el volumen restante después de la combustión.

En Australia Gill y Zylstra (2005), hicieron estudios en laboratorios para medir la inflamabilidad de especies, comunidades y bosques. Concluyeron que los bosques de Eucalipto pueden ser altamente inflamables, en general se muestra un rango de variación de baja inflamabilidad en Bosques cerrados o Bosques lluviosos, a alta inflamabilidad en bosques abiertos con pastos abundantes.

En otro estudio realizado por Behm *et al.* (2006) midieron y compararon la inflamabilidad de varias especies de arbustos en Gaithersburg, Maryland. El objetivo de la investigación fue ordenar las especies de arbustos por su inflamabilidad.

Efectos del fuego sobre los ecosistemas tropicales húmedos

Aunque muchos estudios han demostrado que el fuego controlado puede ser una herramienta útil para mejorar la calidad de los ecosistemas en bosques templados y disminuir el riesgo de incendios, su presencia en los bosques tropicales húmedos implica una variedad de efectos negativos. El fuego en el trópico húmedo no es un elemento de selección natural, raramente es un elemento natural (excepto en años de extrema sequía), y por lo general está acompañado la presencia humana (Cochrane, 2003).

Los bosques tropicales húmedos prístinos con dosel cerrado son prácticamente inmunes al fuego ya que mantienen su humedad, aún en estaciones secas, lo que hace casi imposible

sostener la combustión (Cochrane, 2003). Sin embargo, cuando se produce una extracción selectiva de árboles, el bosque primario se vuelve susceptible a incendios, ya que debido a la extracción, aumenta el combustible y el tamaño de los parches que reciben insolación directa (Holsdworth y Uhl, 1997).

En los bosques tropicales húmedos, los incendios (cuando se presentan) son superficiales o bien subterráneos y no de copa. Además, los incendios suelen ser más frecuentes e intensos en selvas que han sido quemadas previamente (Uhl y Kauffman, 1990; Holsworth y Uhl, 1997; Cochrane *et al.*, 1999; Cochrane y Schulze, 1999; Goldammer 1999).

La deforestación y otros disturbios reducen la cantidad de vegetación, por lo tanto disminuye la humedad relativa, lo cual hace al bosque más susceptible de nuevos incendios (Cochrane, 2003). Los incendios recurrentes suelen ser más dañinos, ya que aumenta la apertura del dosel, la producción de combustibles y su disponibilidad para arder (Cochrane *et al.*, 1999); se modifica el balance de nutrientes del suelo, especialmente a través del proceso de pirodenitrificación (Crutzen y Andreae, 1990), y se incrementa su tasa de erosión (Guerra *et al.*, 1998).

Aún incendios breves y de baja intensidad causan daños permanentes, ya que la mayoría de las especies tiene cortezas delgadas (Uhl y Kauffman, 1990), por lo que se secan y mueren en los siguientes meses o años (Nepstad *et al.*, 1999).

Aunado a lo anterior, la presencia de especies exóticas, que afectan la estructura del ecosistema, puede alterar también la cantidad y distribución del material combustible y por ende el comportamiento del fuego, en particular su régimen (frecuencia, intensidad, extensión, tipo, etc.), ya sea a través de modificaciones internas (*i.e.* humedad y composición química del tejido vegetal), como externas (*i.e.* cantidad y continuidad del combustible) (Brooks *et al.*, 2004).

Cochrane (2003) realiza un recuento de los efectos nocivos del fuego en los bosques tropicales húmedos, que incluyen: la pérdida de especies aún después de 15 años de haber sido quemado el bosque (Slik *et al.*, 2002), la reducción del 85% de la disponibilidad de semillas en la hojarasca, y reducción del 60% de los primeros 1.5cm del suelo (Van Nieuwstadt *et al.*, 2001), un decremento en la floración y fructificación de las especies

(Kinnaird *et al.*, 1998), la alteración de la composición de especies vegetales (se favorece a las pioneras y demandantes de luz, lianas, pastos y pequeñas trepadoras), y animales (Cochrane, 2002; Fredericksen y Fredericksen, 2002; Barlow *et al.*, 2002).

Estos disturbios disminuyen la calidad del ecosistema y de sus servicios ambientales: disminuye su contribución al balance del CO₂ global; su capacidad de retener agua y de controlar inundaciones, erosión y sequías (Román Cuesta *et al.*, 2004; Cochrane, 2002).

Cambio climático Global

El calentamiento Global inducido por los humanos y los cambios en los patrones de lluvias y sequías probablemente ya están influyendo en el comportamiento del fuego en muchas partes del mundo. Aunado con otros impactos tales como la fragmentación del paisaje y la introducción de plantas exóticas que prosperan con el fuego, los ecosistemas que rara vez experimentaron incendios se están quemando. Los regímenes alterados de fuego son una amenaza de gran importancia a la conservación de la biodiversidad.

La Iniciativa para el Manejo del Fuego de The Nature Conservancy (2003) clasifica a los ecosistemas, de acuerdo al rol natural del fuego como: a) ecosistemas mantenidos por el fuego; b) ecosistemas sensibles; y, c) ecosistemas independientes del fuego.

En los ecosistemas sensibles al fuego, la mayor parte de las plantas y animales carecen de adaptaciones que les permiten responder de manera positiva al fuego o recuperarse fácilmente después de un incendio. Típicamente estas áreas son húmedas y poseen una vegetación y una estructura del ecosistema que inhibe el inicio o la propagación del fuego, en este tipo de régimen se encuentran los bosques tropicales húmedos latifoliados.

La sequía severa en bosques tropicales húmedos aumenta su inflamabilidad. La frecuencia y la severidad de la sequía en las zonas tropicales pueden aumentar por el efecto del Niño (ENSO), el calentamiento global, el cambio de uso de suelo. Sin embargo, se sabe poco sobre los patrones espaciales y temporales de la sequía en bosques tropicales húmedos, y las relaciones complejas con los regímenes de fuego (Nepstad *et al.*, 2004).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

3.1.1 Ubicación

La Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC) se localiza al sureste del estado de Campeche, en el municipio de Calakmul, limita al este con el estado de Quintana Roo y al sur con la República de Guatemala. Las coordenadas extremas en que se ubica la Reserva son los 19°15' y 17°45' latitud norte y 90°10' y 89°15' longitud oeste (INE-SEMARNAP, 1999).

3.1.2. Clima

De acuerdo al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1973), el clima de la RBC es cálido subhúmedo (Aw), con un claro gradiente de precipitación que va disminuyendo de sur a norte. Como clara consecuencia de esta característica existen tres subtipos climáticos: Aw0, Aw1 y Aw2(x1). La característica climática más notable de la Península de Yucatán es un incremento del gradiente de la humedad del noroeste hacia el sureste (Gunn y Adams, 1981; Folan *et al.*, 1983).

García y March (1990) citados por INE-SEMARNAP (1999) describieron el clima de la RBC con las modificaciones del sistema de Köppen hechas por García (1973). Encontraron que el 10% de la Reserva, a lo largo de la frontera de Guatemala, cae dentro de la zona cálida subhúmeda (AW2(x')). El subtipo climático cálido subhúmedo (Aw1) comprende el 60% de la zona central del área de estudio. El subtipo cálido subhúmedo (Aw0) en el norte comprende 30% del área.

3.1.3. Suelos

Los suelos que se encuentran en la Reserva de la Biosfera de Calakmul corresponden a la Asociación *Xpujil* INE-SEMARNAP (1999). Esta asociación presenta conjuntos de suelos con texturas finas, que se desarrollan principalmente sobre calizas cretáceas muy blandas, no consolidadas, cuya edad corresponde al Plioceno.

Las unidades de suelos que se pueden encontrar en la RBC, entre otras, son las *rendzinas* negras de textura media, con estructura granular y que presentan un alto contenido de materia orgánica rica en calcio y magnesio; y los *gleysoles*, de textura arcillosa, que acumulan gran cantidad de agua durante el año y se encuentran en las partes bajas de las depresiones y en los fondos de las aguadas. Los *vertisoles*, que son los suelos que se encuentran en posición más alta y que conservan la humedad durante menos tiempo, son suelos arcillosos de más de un metro de profundidad, con perfiles poco diferenciados y con elevada retención de bases.

3.1.4. Hidrología

La hidrografía de la superficie en la RBC está determinada por la cantidad y distribución de la precipitación pluvial; la evapotranspiración de la vegetación, las masas de agua, los suelos y el drenaje de la superficie. Los torrentes de la lluvia pueden ser lo suficientemente intensos como para transportar agua temporalmente en canales de corriente superficial. Algunas de las áreas bajas constituyen humedales permanentes.

La elevación del manto freático se controla por el nivel del mar y su distancia a la costa; toda el agua que se infiltra del suelo se desplaza a lo largo de un declive en dirección del mar contribuyendo eventualmente al flujo de manantiales. La estructura anticlinal de piedra caliza controla la división estratificada del drenaje y las redes de distribución del carso. El manto de caliche, que cubre la mayor parte de las tierras altas, es lo suficientemente poroso como para aumentar la infiltración y absorber la mayor parte del agua de las lluvias hasta llegar al punto de saturación, en cuyo caso cobra importancia el derrame superficial.

3.1.5. Vegetación

La clasificación de la vegetación sigue la base fisonómica florística empleada por Miranda (1964). En ésta se mencionan 26 agrupaciones de las cuales ocho se presentan en la RBC. La RBC presenta características geológicas climáticas, edáficas y de vegetación particulares conformando una mezcla de selvas altas y medianas con selvas bajas temporalmente inundables y vegetación acuática. En Calakmul se presentan los principales tipos de vegetación (Flores *et al.*, 1990, citado por INE-SEMARNAP, 1999).

Aguadas

Las aguadas son áreas pantanosas originadas por proceso de erosión y sedimentación aunado a un régimen climático en el cual la precipitación y la evaporación están casi en equilibrio con vegetación herbácea o arbustiva y raras veces arboladas, cuyas especies se encuentran adaptadas a condiciones extremas de inundación y desecación. Las cubren plantas herbáceas de diferentes tipos, árboles ralos, arbustivos y la asociación más frecuente es el tintal (*Cholophora tinctoria*). Las aguadas forman una transición entre áreas de ramonales (*Brosimum alicastrum*), zapotales (*Manilkara zapota*, *Manilkara achras*) y otras asociaciones de partes elevadas, las aguadas se distribuyen en vasos de menos de 3 ha.

Agrupaciones de hidrófilas

Se integran por hidrófilos herbáceos que no sobrepasan los 60 cm de altura, cubren el 15 % de la superficie de la Reserva, comúnmente se presentan asociaciones de especies flotantes de *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* y *Nynphaea ampla*-*Salvinia auriculata*; también se encuentran asociaciones de especies halófitas de *Thypa dominguensis*-*Claudium jamaicensis* que sobrepasan los 2 metros de altura y se desarrollan en las zonas menos profundas de las aguadas, en la periferia se localizan asociaciones de *Lonchocarpus xuul* - *Chlorophora tinctoria*, *Haematoxylon campechianum* - *Mimosa albida*, *Haematoxylon campechianum*-*Bucida buceras*, que se desarrollan en suelos con inundación temporal. Estas asociaciones se presentan en manchones dispersos entre los diferentes tipos de vegetación antes mencionados.

Selva alta perennifolia y subperennifolia

Se localiza al sur del estado y de la Reserva, colinda con la República de Guatemala su presencia obedece al incremento de la precipitación media anual en el área cuyo, límite inferior corresponde aproximadamente a la isoyeta de los 1,600 mm. Se le encuentra sobre geoformas que presentan relieves ondulados y planicies cuyas pendientes varían del 12 % al 1 %; los tipos de suelos que las sustentan son *rendzinas* con buen drenaje, se estima

que albergan mas de 400 especies de plantas vasculares. En esta selva el estrato dominante tiene 30 metros o más de altura, existiendo individuos emergentes hasta de 45 metros algunas especies pierden las hojas en la época de seca llegando a ser hasta el 25 % de los árboles dominantes y éstos son: *Manilkara zapota*, *Bursera simaruba*, *Brosimum alicastrum*, *Alseis yucatanensis*, *Aspidoperma megalocarpum*, *Terminalia amazonia*, *Aspidosperma cruentum*, *Bucida buseras*, *Swartzia cubensis*, *Tabebuia guayacan*, *Tabebuia rosea*, *Calophyllum brasiliense*, *Vitex gaumeri*, *Ceiba pentandra*, *Ellipticum sp.*, *Pouteria zapota*, *Brosimum costaricanum*, *Castilla elastica*, *Lonchocarpus castilloi*, *Acacia mayana*, *Lonchocarpus guatemalensis*, *Lonchocarpus cruentus*, *Luisiloma auritum*, *Platymiscium yucatanum*, *Cojoba arborea*, *Blepharidium guatemalense*, *Acosmium panamense*, *Quararibea funebris*, *Sabal mauritiformis*, *Cryosophila argentea*, *Opsiandra maya*, *Orbignya cohune*, *Dracaena americana*. Son comunes las asociaciones de *Manilkara zapota*-*Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota*-*Bucida buseras* y agrupaciones de *Orbignya cohune*, *Sabal yapa* y *Cryosophylla argentea*. Se ha observado este tipo de vegetación en Central Chiclera Villahermosa, ejidos Dos Aguadas, ejido Dos Naciones, El Cibalito, ejido Carlos A. Madrazo entre otros, y en general en los límites con Guatemala, las perturbaciones a las que ha sido sometida son principalmente explotación chiclera, forestal, ganadera y tráfico ilegal de fauna.

Selva mediana subperennifolia

La selva mediana subperennifolia es la vegetación dominante de la Reserva, la superficie que cubre en la sección norte es mayor que la que sustenta selvas bajas y medianas entremezcladas, en tanto que en la sección sur se presenta en el área de amortiguamiento (García y March, 1990 citados por INE-SEMARNAP, 1999). Se localiza sobre lomeríos y planicies con relieve ondulado y sobre pendientes de menos de 12 %. Flores (1990), citado por INE-SEMARNAP (1999) afirma que esta vegetación se desarrolla en suelos rocosos, con pendientes y en hondonadas destacan como especies dominantes las siguientes: *Swietenia macrophylla*, *Brosimum alicastrum*, *Lysiloma latisiliqua*, *Bursera simaruba*, *Cedrela mexicana*, *Vitex gaumeri*, *Acosmium panamensis*, *Talisia olivaeformis*, *Talisia floresii*, *Thouinia paucidentata*, *Metopium brownei*, *Dendropanax arborea*, *Bucida buseras*, *Lonchocarpus castilloi*, *Protium copal*, *Sabal yapa*, *Simaruba glauca*, *Crujiadendrom ferreum*, *Cholophora tinctoria*. Del 25 al 50 % de sus elementos pierden las hojas durante la sequía, se desarrollan en suelos pocos profundos (blancos, café o grisáceos) con

afloramientos rocosos. Presenta al igual que la selva alta alternancia con otros tipos de vegetación, los árboles dominantes no sobrepasan los 25 metros de altura. Comparte elementos florísticos de la selva alta, sin embargo en esta, las especies dominantes son *Vitex gaumeri*, *Lonchocarpus xuul*, *Lonchocarpus yucatanensis*, *Lysiloma latisiliqua*, *Bursera simaruba*, *Piscidia piscipula* *Talisia olivaeformis* y *Protium copal*. Es el tipo de vegetación más alterado por ser el de más amplia distribución; en actividades humanas, principalmente con fines agrícolas, ganadería, colonización, caza y explotación forestal, representa el hábitat de muchas especies de fauna que se encuentran en peligro de extinción como jaguar, tapir, mono araña, mono aullador, faisán, pavo de monte y otras aves.

Selva baja subperennifolia inundable

La selva baja subperennifolia se esparce de manera fragmentada en sitios de drenaje deficiente en la sección sur de la Reserva, es frecuente observarla entremezclada con la selva mediana. Las geoformas donde se desarrollan son planicies con pendientes menores al 1%, los suelos que las sustentan se denominan *ak'alche'* y se caracterizan por ser suelos profundos, arcillosos y con drenaje deficiente, los árboles que aparecen en esta vegetación no sobrepasan los 10 m debido al drenaje impedido del suelo. Flores (1990) citado por INE-SEMARNAP (1999), indica que esta vegetación se presenta en los bajos a orillas de "Cañadas" o "Aguadas" tales como los "Pozos" "El Desempeño" y "La Esperanza" las especies que destacan son: *Haematoxylon campechianum*, *Metopium brownei*, *Bucida buseras*, *Camareria latifolia*, *Cocoloba cozumelensis*, *Mimosa bahamensis* y *Croton glabellus*. El mismo autor señala que entre selvas altas y medianas en Aguadas y azolvadas se presentan asociaciones de plantas hidrófilas, cuyas especies dominantes son: *Typha domingensis*, *Paspalum fasciculatum*, *Paspalum virgatum*, *Camareria latifolia*, *Crescentia cujete*, *Mimosa pigra*, *Senna alata*, *Acacia cornigera*, *Mimosa pudica*, y palmas como *Acoelorrhape wrightii* presenta asociaciones de *Haematoxylon campechianum*-*Bucida bucedas*-*Metopium brownei*, El estrato arbóreo no sobrepasa los 15 m de altura dominando por *Bucida buseras*, *B. spinoza*, *Haematoxylon campechianum*, *Manilkara zapota*, *Metopium brownei*, *Diospyros anisandra*, *Cameraria latifolia*, *Byrsonima bucidaefolia*. En el estrato arbustivo los componentes son escasos entre los dominantes se encuentran: *Bravaisia berlandieri*, *Randia aculeata*, *Ouratea luscens*, *Rhacoma gaumeri*, *Dripetes lateriflora*. Estrato herbáceo: *Petiveria alliacea*, *Rhoeo discolor*, *Lasiacis divaricata*, *Scleria*

sp. *Cladium jamaicense* así como diversas epífitas, siendo las orquídeas las más abundantes. Desde el punto de vista biológico representa una zona muy importante, debido a la presencia de diversos géneros endémicos, así como una gran diversidad florística y faunística. A pesar de permanecer inundada parte del año, últimamente se ha explotado con fines forestales y agropecuarios.

Selva baja subperenifolia

Estas selvas se distribuyen principalmente en la porción noreste de la región de Calakmul, el estrato dominante es de 15 metros o menos es una selva cuya composición es parecida a la selva mediana subperennifolia, pero aparentemente por el efecto del viento y escaso desarrollo del suelo no alcanzan los árboles a desarrollarse plenamente. Los principales elementos son: *Brosimum alicastrum*, *Manilkara zapota*, *Lysiloma latisiliqua*, *Bursera simaruba*, *Cedrela odorata*, *Vitex gaumeri*, *Talisia olivaeformis*, *Thouinia paucidentata*, *Metopium brownei*, *Dendropanax arborea*, *Bucida buseras*, *Lonchocarpus xuul*, *Protium copal*, *Sabal yapa*, *Simaruba glauca*, *Krugiodendron ferreum*, *Lonchocarpus yucatanenses* y *Piscidia piscipula*.

Selva baja caducifolia

La selva baja caducifolia se encuentra sobre geoformas de lomeríos y planicies intermedias. Los suelos que las sustentan son someros o profundos muy drenados. El tipo de régimen de humedad donde se presenta varía de semiseco a seco en sitios con precipitaciones escasas. Esta selva se encuentra en la parte centro y noroeste del área de Calakmul y los principales elementos dominantes son: *Guayacum sanctum*, *Esenbeckia yax-hob*, *Lysiloma latisiliqua*, *Pseudobombax ellipticum* y *Ceiba schottii*.

Vegetación secundaria

La vegetación secundaria que se presenta en el área se deriva de los tipos de vegetación antes mencionados y se ha originado debido al uso de la selva, especialmente de las selvas altas y medianas. Se observan diferentes etapas seriales que van desde 1 a 20 años, lo que indica el uso constante de las zonas boscosas y el abandono de las parcelas, lo que ocupa aproximadamente el 10 % de la superficie de la Reserva. Otra causa es el

establecimiento de campamentos chicleros que se han desarrollado en el transcurso de este siglo.

3.1.6. Importancia de la Reserva de Calakmul

La Reserva de la Biosfera de Calakmul (RBC) fue establecida mediante Decreto Presidencial publicado en el Diario Oficial de la federación el 23 de mayo de 1987; en 1993 ingresó a la Red Internacional del Programa El Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO; asimismo, estuvo considerada dentro de las áreas piloto para nuevos sistemas de manejo y administración del Programa de Áreas Naturales Protegidas de México 1995-2000. Está incluida dentro del Programa de Conservación de la Biodiversidad en Áreas Naturales Protegidas Selectas de México, parcialmente financiada por el GEF (Global Environmental Facility). Comprende una extensión total de 723,185 ha, cuenta con dos zonas núcleo, que en su conjunto comprenden un área total de 248,260 ha; y una zona de amortiguamiento de 474,925 ha.

Desde el punto de vista cultural representa un importante centro maya, donde se encuentran 6,250 estructuras arqueológicas. Constituye una de las mayores superficies forestales del trópico mexicano, además de que representa un gran aporte al mantenimiento de los procesos ecológicos esenciales, como son los regímenes hídricos y climáticos y los procesos ecológicos y evolutivos que determinan la biodiversidad de la zona. También es importante como corredor biológico que permite el desplazamiento de las especies, en ambas direcciones entre las regiones subxéricas del norte de la Península de Yucatán y las zonas de clima subhúmedo y húmedo al sur.

Las principales amenazas a corto plazo para la Reserva son: la inadecuada zonificación, la cacería deportiva, el saqueo de madera, el tráfico ilegal de flora-fauna y el sistema tumba-roza y quema. A mediano plazo, los peligros son la colonización, la construcción de carreteras, la falta de regularización de la tierra y el crecimiento demográfico. A largo plazo, el problema es la falta de un programa real de reordenamiento de las actividades productivas en la zona.

Los incendios son superficiales principalmente y en los últimos años no han implicado degradación en forma compacta. Con base en la investigación de que se dispone, se ha optado por dejar que los procesos naturales regeneren las pequeñas áreas quemadas que están rodeadas de vegetación primaria. La investigación también es necesaria, en relación a la sucesión de acahuals, pues se ha observado que en la selva baja el impacto del fuego aplicado con el TRQ es menor que en la selva mediana; en esta última se necesitan 37 años antes que las áreas quemadas recuperen su condición original³

3.2. Colecta

Durante el mes de enero de 2006, se tomaron seis sitios de muestreo como los descritos en la RBC. La valoración de los combustibles forestales, se realizó con la técnica de intersecciones planares (Brown *et al.*, 1982) y mediante colectas, según se detalla en el cuadro 1.

Cuadro 1. Muestreo de combustibles (adaptado de Contreras *et al.*, 2006).

Tipo de Combustibles	Forma de la unidad de muestreo	Medida	¿Se usó en el presente estudio?
Hojasca	Cuadrado	0.3m x 0.3m	Si
Capa de fermentación	Cuadrado	0.3m x 0.3m	Si
Herbáceas	Cuadrado	1m x 1m	Si
Arbustivas	Cuadrado	4m x 4m	No
Leñosas	Líneas	TR=1h-2m	No
		TR=10h-2m	
		TR=100h-4m	
		TR=1000h-15m	

TR=Tiempo de retardo

De las muestras de hojarasca, capa de fermentación y herbáceas se colectaron submuestras para la ejecución de la fase de laboratorio del presente trabajo. Se eligieron los tipos de combustibles señalados por estar reconocidos como los más inflamables.

³ <http://conserveonline.org/docs/2001/06/mexico.doc>

Las muestras fueron secadas en horno a 70-80° C durante 5 días, hasta alcanzar peso constante (anhidro), en el Laboratorio de Semillas Forestales de la DICIFO. Las muestras se etiquetaron indicando el sitio, tipo de vegetación y el tipo de combustible colectado como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tipos de vegetación de la RBC (adaptado de Contreras *et al.*, 2006).

No. Sitio	Tipo de Vegetación	Caducidad de hojas	Altitud del estrato	Condición (afectación de incendios)	Clave	Carga total de combustibles (ton/ha)
1	Selva Mediana	Subperenifolia	Mediana	Sin afectación	SMsp	43.15
2	Selva Baja Inundable	Subcaducifolia	Baja	Sin afectación	SBi	104.25
3	Selva Alta Subperenifolia	Subperenifolia	Alta	Sin afectación	SAsp	72.19
4	Selva Alta Subperenifolia Quemada	Subperenifolia	Alta	Afectadas (2003)	SAspQ	85.20
5	Selva Baja subcaducifolia	Subcaducifolia	Baja	Sin afectación	SBsc	32.42
6	Selva Mediana subcaducifolia	Subcaducifolia	Mediana	Sin afectación	SMsc	26.71

Fue necesario retirar el suelo mineral del material subterráneo (capa de fermentación), para obtener sólo el combustible y evitar error en la medición de la inflamabilidad. Posteriormente se uniformizó el material mediante la molienda.

3.3 Pruebas de ignitabilidad y sostenibilidad

En el Laboratorio de Semillas de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, se llevaron a cabo las pruebas de ignitabilidad y sostenibilidad. Se usaron diez repeticiones, tomadas al azar, por muestra. Por cada repetición se pesó y colocó 1 g de muestra en un vaso de precipitado. Posteriormente se utilizó una cámara de extracción de gases, en la cual se colocó en un soporte universal una malla de asbesto y bajo ella un mechero de Bunsen. Se puso el vaso de precipitado sobre la malla y se tomó el tiempo de ignición con ayuda de un cronómetro, también se registro el tiempo de duración y término de la combustión (para medir la sostenibilidad).

Se pesó 1 g y se distribuyó uniformemente sobre una barra de acero de 20 cm², a su vez colocada con una pendiente de 100% sobre dos soportes. En la parte baja se colocó un ventilador de bolsillo (velocidad de 7 Km. /h medida con anemómetro de bolsillo), y se midió la temperatura ambiente y la humedad relativa. Se encendió el combustible con ayuda de un mechero de bunsen y se registro el tiempo de consumo para obtener la sostenibilidad. Esto no representa una carga real, pero se considera de utilidad la información.

3.4. Pruebas de combustibilidad y consumibilidad.

En el Laboratorio de Ecología del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, se realizaron las pruebas de combustibilidad y consumibilidad. Para realizar las pruebas de combustibilidad y consumibilidad se formaron 11 tabletas por muestra, con ayuda de una peletizadora Parr. Se pesó una tableta por cada muestra para obtener el peso húmedo, colocando las tabletas en la estufa a 85° C durante 72 horas y pesando las muestras se obtuvo el peso seco. El porcentaje de humedad se obtuvo con base en el peso seco con el siguiente modelo:

$$\% \text{ Humedad} = [(\text{peso húmedo} - \text{peso seco}) / \text{peso seco}] (100)$$

Se pesaron las tabletas y se colocaron en la cápsula de la bomba de oxígeno calorimétrica 1341 Parr. A continuación se realizaron las pruebas de combustibilidad en el calorímetro siguiendo las instrucciones de operación del calorímetro. En el soporte de la tapa se colocó un alambre (de níquel-cromo) de 10 cm de forma tal que tocara la tableta. Se agregó 1 ml de agua destilada en la bomba que sirvió para recoger los residuos de la combustión. Se cerró y cargó la bomba con oxígeno hasta una presión de 60 atmósferas.

Se colocó el cubo del calorímetro en una balanza granataria y se taró, después se agregaron 2 l de agua destilada a temperatura ambiente. Se puso el cubo en el calorímetro y se colocó la bomba cuidadosamente en el cubo con agua. Los dos alambres conductores fueron empujados dentro de los enchufes terminales en la cabeza de la bomba. Colocando la cubierta con el termómetro hacia el frente, se deslizó la correa de transmisión encima de las poleas y se accionó el motor.

Se dejó funcionando el agitador durante cinco minutos hasta obtener un equilibrio y se tomó la lectura del termómetro. Se encendió la bomba durante cinco segundos y se tomó la lectura cada minuto, hasta que la temperatura fue constante durante cinco minutos, y se registró.

Se paró el motor después de la última lectura, se removió la correa y la tapa del calorímetro la cual se colocó en el soporte A37A. Los conductores de ignición fueron removidos, se sacó la bomba del cubo y se secó. Se destornilló lentamente la perilla de la cabeza de la bomba para liberar presión antes de remover la tapa. Se destornilló la tapa; se quitó la cabeza del cilindro y fue colocada en el soporte. Fue necesario examinar el interior de la bomba para detectar si la combustión no fue completa. En cuyo este caso se descartó la prueba y se repitió.

Se lavaron las superficies interiores de la bomba con un chorro de agua destilada y el agua de lavado fue colectada en un vaso de precipitados. Ésta se depositó en un matraz erlenmeyer de 50 ml y se aforó. Los pedazos de alambre de los electrodos de la bomba fueron removidos, se enderezaron y se midió su longitud en centímetros.

Posteriormente se filtró el agua de lavado con un papel filtro y se depositó en un vaso de precipitado. Se pusieron a secar el papel filtro con las cenizas producto de la quema en la estufa a 85° C durante 72 horas. Se pesaron las cenizas y se obtuvo el porcentaje de ceniza y la consumibilidad, acorde con el siguiente modelo:

$$\% \text{ cenizas} = (100) (\text{peso final de la muestra} / \text{peso inicial de la muestra}).$$

Con el porcentaje de cenizas se obtuvo la consumibilidad, realizando la siguiente operación:

$$\text{Consumibilidad (\%)} = 100 - \% \text{ de cenizas}$$

Se tomaron 10 ml del agua de lavado y se colocaron en un matraz de 50 ml para obtener el porcentaje de azufre. Se analizó el agua de lavado de la bomba para determinar el

contenido de azufre de la muestra para determinar azufre utilizando el Spectronic 20 BAUSCH LOMB.

Se disolvieron 3.76 g de Na_2CO_3 en agua diluyendo a un litro para obtener una solución estándar de carbonato de sodio (0.0709 N). Se agregaron 10 ml de la solución estándar a los 40 ml restantes del agua de lavado para titular, utilizando como indicador anaranjado de metilo. Se realizaron los cálculos y se determinó el calor de combustión de las especies con la siguiente ecuación:

$$H_g = \frac{Tw - e_1 - e_2 - e_3}{m}$$

Donde :

H_g = calor de combustión (cal / g)

t_0 = temperatura al tiempo de encendido, corregida para la escala en el termómetro (se suma 0.004)

t_f = temperatura final, corregida al error de escala en el termómetro (se suma 0.008)

T = aumento de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) = $t_f - t_0$

w = equivalente energético del calorímetro, bajo estandarización (cal/ $^{\circ}\text{C}$)

m = masa de la muestra (g)

e_1 = corrección (cal) para el calor de formación de ácido nítrico (HNO_3) = c_1

e_2 = corrección (cal) para el calor de formación de ácido sulfúrico (H_2SO_4)

$e_2 = (13.7) (c_2)(m)$

e_3 = corrección para el calor de combustión del alambre fusible (cal)

$e_3 = (2.3) (c_3)$

c_1 = solución alcalina estándar utilizada en la titulación ácida (ml)

c_2 = azufre en la muestra (%)

c_3 = centímetros de alambre fusible consumidos en el encendido

4. ANALISIS ESTADÍSTICO

Se utilizó un Diseño Experimental Completamente al Azar (DECA), los datos correspondientes a las variables de ignitabilidad, sostenibilidad, combustibilidad y consumibilidad fueron sometidas a un análisis de varianza, y se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ($p= 0.05$), empleando para ello el programa SAS para microcomputadoras. Las comparaciones se hicieron entre los seis tipos de vegetación y los tres estratos de combustibles. Las comparaciones entre los tipos de vegetación se hicieron con 30 muestras (incluyendo los tres estratos de combustibles) teniendo un total de 180 muestras. Las comparaciones de los estratos de combustibles se hicieron con 60 muestras por estrato (incluyendo muestras de los seis tipos de vegetación).

El modelo estadístico que define un diseño experimental completamente al azar, esta dado por:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij} \quad \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, t \\ j = 1, 2, \dots, r \end{array}$$

Donde:

Y_{ij} = Es la respuesta del i -ésimo. tratamiento en la j -ésima repetición

μ = Media general, común a todas las unidades antes de aplicar los tratamientos

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ϵ_{ij} = Error experimental aleatorio; donde $\epsilon_{ij} \sim N(\sigma, \sigma^2)$

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis por tipos de selvas

De acuerdo a los resultados que se presentan en el cuadro 3 se puede inferir que existen diferencias significativas para las fuentes de variación ignitabilidad, combustibilidad y consumibilidad, no es así para la fuente sostenibilidad, y porcentaje de humedad.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la inflamabilidad por tipos de vegetación de RBC.

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr > F	α	SIG
Ignitabilidad	5	29971.56111	5994.3122	0.0162	0.05	*
Combustibilidad	5	7900976.161	1580195.232	0.0006	0.05	*
Consumibilidad	5	2646.716667	529.343333	0.0001	0.05	*
Sostenibilidad	5	41293.64444	8258.72889	0.8294	0.05	NS
% Humedad	5	0.44444444	0.08888889	0.9855	0.05	NS

Recordando que en este trabajo se hizo la valoración de la inflamabilidad de asociaciones vegetales y no valoraciones individuales (por especie), es más difícil su interpretación debido a las variaciones que pueden presentarse, ocasionadas por la variación probable en los parámetros de todas las especies presentes en la zona.

5.1.1. Ignitabilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron dos agrupaciones de los tipos de vegetación, las cuales, se muestran en la figura 1. La clasificación por ignitabilidad se muestra en el cuadro 4.

El tipo de vegetación que presenta una mayor ignitabilidad es la Selva Mediana Subcaducifolia (Figura 1, cuadro 4), es decir es el tipo de vegetación que tarda menos en comenzar la ignición independiente, pero esto implica que tendrá una baja combustibilidad y por lo tanto baja consumibilidad, por lo que su inflamabilidad será baja.

Presentan baja ignitabilidad: SAsp, SBsc, SAspQ, SBi y SMsp. Esto concuerda con lo descrito por Nepstad *et al.* (2004), los ecosistemas sensibles al fuego, poseen una vegetación y una estructura del ecosistema que inhibe el inicio o la propagación del fuego.

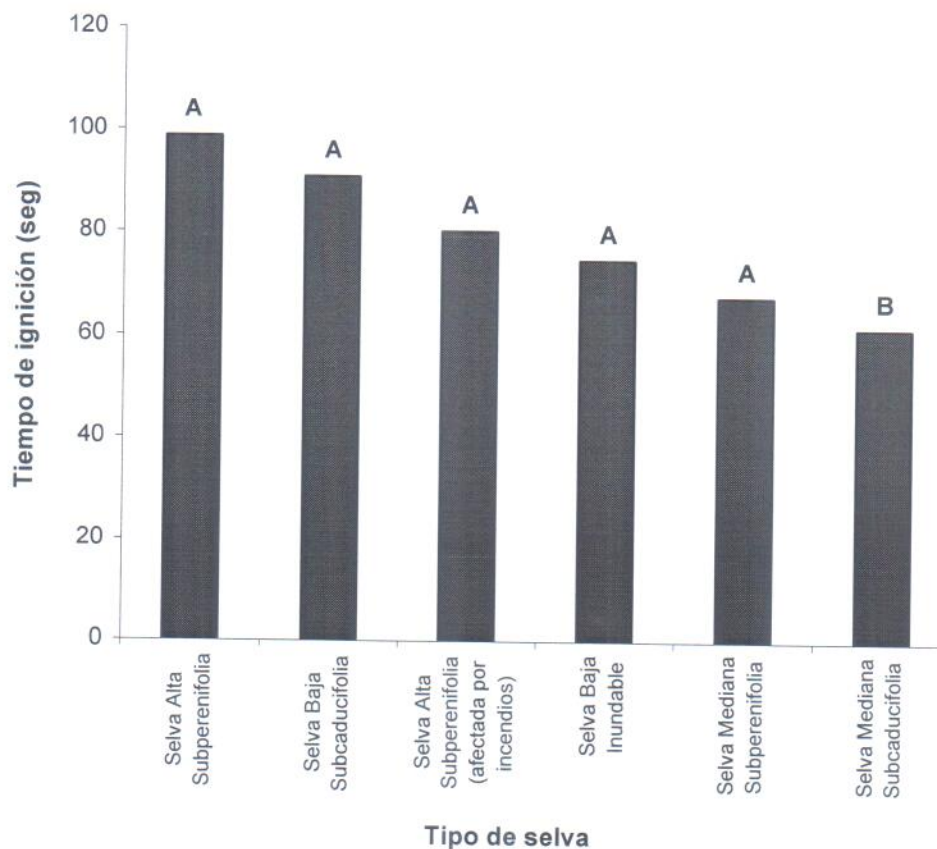


Figura 1. Ignitabilidad por tipo de selva.

Cuadro 4. Clasificación por ignitabilidad

Letras	Escala	Significado	Tiempo de ignición (seg)
A	1	Ignitabilidad baja	$65 < T_i$
B	2	Ignitabilidad alta	$T_i < 65$

5.1.2. Combustibilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron dos agrupaciones de los tipos de vegetación, las cuales, se muestran en la figura 2. Y la clasificación por combustibilidad se muestra en el cuadro 5.

Casi todos los tipos de vegetación presentan una alta combustibilidad, excepto SMsc que tiene una baja combustibilidad, esto puede relacionarse con la extracción selectiva de las especies de maderas preciosas, las cuales tienen un poder calorífico alto ⁴, y al no estar ya presentes en el sitio disminuye su combustibilidad. La SMsc es uno de los tipos de vegetación mas alterados, debido a la presencia del sistema RTQ, lo cual es propicio para la proliferación de especies invasoras, tomando en cuenta a Dibble (2003), que el calor efectivo de combustión de algunas especies invasoras es menor que de especies nativas, se justifica la combustibilidad baja en este tipo de vegetación.

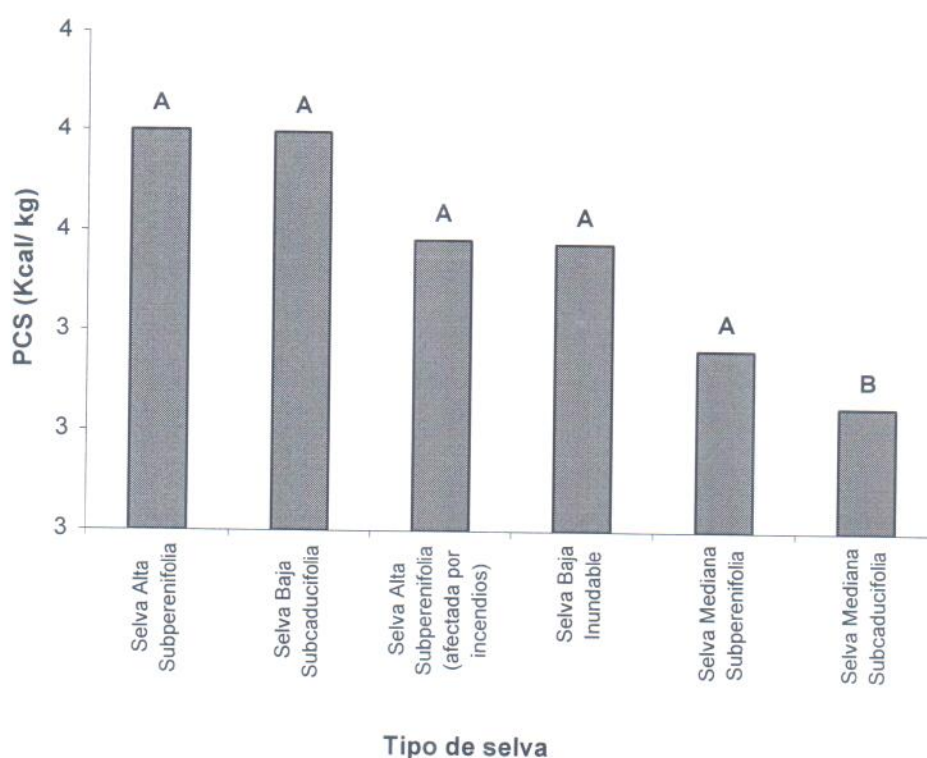


Figura 2. Combustibilidad por tipo de selva.

Cuadro 5. Clasificación por combustibilidad

Letras	Escala	Significado	PCS (Kcal / Kg)
B	1	Combustibilidad Baja	PCS < 3.3
A	2	Combustibilidad Alta	3.3 < PCS

⁴ http://www.elsalvadorforestal.com/cadena_productiva/produccion/detalle-especies.php?

5.1.3 Consumibilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron dos agrupaciones de los tipos de vegetación, las cuales, se muestran en la figura 3. La clasificación por consumibilidad se muestra en el cuadro 6.

Los tipos de vegetación que presenta una consumibilidad alta son: la Selva Alta Subperenifolia, la Selva Baja Subcaducifolia, Selva Alta subperenifolia (afectada por incendios en el 2003) y la Selva Baja inundable. Los que presentaron una baja consumibilidad son: La Selva Mediana Subperenifolia y La Selva Mediana Subcaducifolia. Esto concuerda con lo observado en la Sierra de Manantlan⁵ las SMsp se encuentran en los sitios más húmedos, su hojarasca no arde bien el fuego se extingue con facilidad. Por tal motivo la consumibilidad baja.

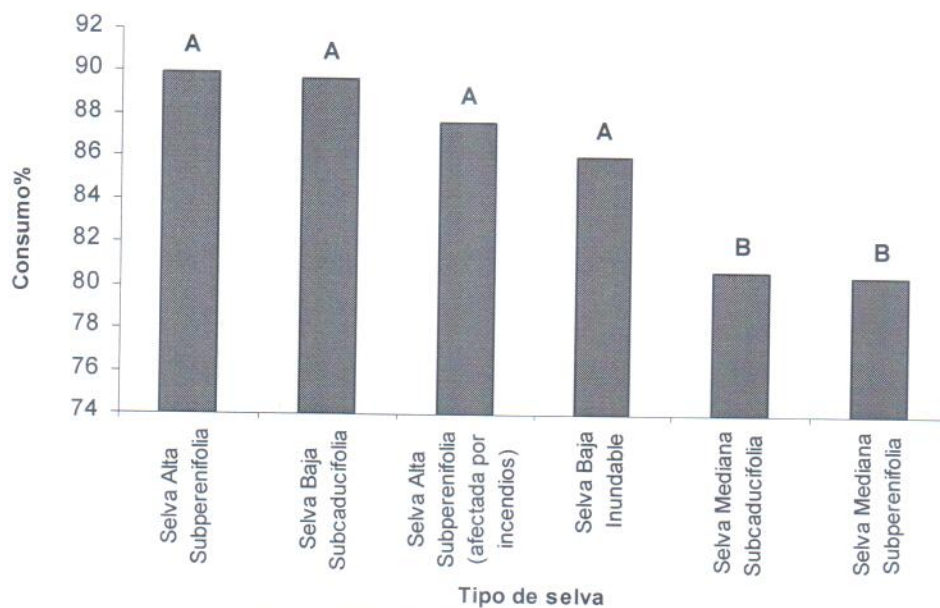


Figura 3. Consumibilidad por tipo de selva.

Cuadro 6. Clasificación por consumibilidad

Letras	Escala	Significado	Consumo(%)
B	1	Consumibilidad Baja	Consumo < 82
A	2	Consumibilidad Alta	82 < Consumo

⁵ www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=1165417438104_Principios_manejo_del_fuego.ppt

5.1.4. Sostenibilidad

Debido a que mediante el análisis de varianza se detectó que no existían diferencias significativas en el tiempo que sostuvo la combustión independiente, entre los distintos tipos de selvas, no se incluye esta característica en la clasificación de la inflamabilidad, pero es debido hacer notar que tomando en cuenta las medias los tipos de selva se comportaron de la siguiente manera (Figura 4). Las que presentaron mayor tiempo de consumo es decir una mayor sostenibilidad, fueron las selvas medianas. Las que tienen una sostenibilidad menor fueron la selva alta subperenifolia, y la selva baja subcaducifolia.

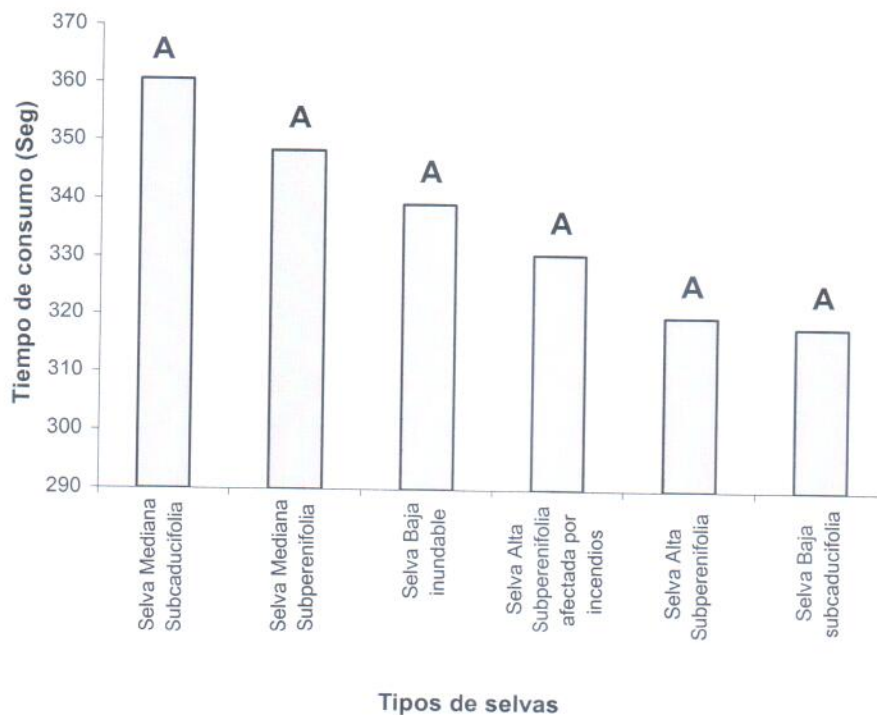


Figura 4. Sostenibilidad por tipo de selvas.

De los datos analizados anteriormente se obtiene la siguiente clasificación por ignitabilidad (cuadro 4), combustibilidad (cuadro 5), consumibilidad (cuadro 6) y en conjunto la clasificación por inflamabilidad (cuadro 7, 8 y 9).

Cuadro 7. Clasificación por Inflamabilidad.

Igni	Comb	Cons	Total	Parámetro	Inflamabilidad
1	1-	1	3	3-4	Inflamabilidad Baja
2	2	2	6	5-6	Inflamabilidad Alta

Igni = Ignitabilidad, Comb = Combustibilidad, Cons = Consumibilidad,

Cuadro 8. Clasificación de tipos de selvas por su inflamabilidad.

Especie	Igni	Comb	Consu	Total	Inflamabilidad
Selva Alta Subperenifolia	1	2	2	5	Alta
Selva Baja Subcaducifolia	1	2	2	5	Alta
Selva Alta Subperenifolia (afectada por incendios)	1	2	2	5	Alta
Selva Baja Inundable	1	2	2	5	Alta
Selva Mediana Subperenifolia	1	2	1	4	Baja
Selva Mediana Subcaducifolia	2	1	1	4	Baja

Igni = Ignitabilidad, Comb= Combustibilidad, Cons = Consumibilidad,

Cuadro 9. Inflamabilidad de los tipos de vegetación presentes en la Reserva de la Biosfera de Calakmul, Campeche.

Especie	Inflamabilidad
Selva Alta Subperenifolia	Alta
Selva Baja Subcaducifolia	Alta
Selva Alta Subperenifolia (afectada por incendios)	Alta
Selva Baja Inundable	Alta
Selva Mediana Subperenifolia	Baja
Selva Mediana Subcaducifolia	Baja

En los trópicos la frecuencia de incendios se reduce y la intensidad del fuego aumenta de sabana y palmar a selva baja caducifolia y a selvas medianas y altas (Rodríguez, 2001), pues independiente de la inflamabilidad en condiciones muy secas los combustibles arden y su carga e intensidad de fuego en caso de incendio tienden a aumentar de selva baja a selva alta (con excepción de la selva baja inundable). Se ha observado que en la selva baja el impacto del fuego aplicado con el TRQ es menor que en la selva mediana; en esta última se necesitan 37 años antes que las áreas quemadas recuperen su condición original.⁶ Esto afecta a la RBC ya que este sistema (RTQ) favorece el desarrollo de *Pteridium aquilinum*, en un estudio realizado en Calakmul hecho por Ramírez *et al.* (2007) mostró que de 1987 a 2001 se incremento significativamente la densidad de este helecho que es muy inflamable, además de dificultar el establecimiento y la regeneración de la cubierta vegetal nativa.

⁶ <http://conserveonline.org/docs/2001/06/mexico.doc>

Las selvas altas subperenifolias sin afectación de incendios y con presencia de incendios (2003), tiene una alta inflamabilidad, la cual debe considerarse, pues sólo se encuentra distribuido en 5% de la superficie total de la RBC; y esta considerada como un ecosistema sensible al fuego. Lo positivo es que este tipo de ecosistema tiene un dosel cerrado y es prácticamente inmune al fuego ya que mantienen su humedad, aún en estaciones muy secas, lo que hace casi imposible sostener la combustión (Cochrane, 2003).

Las selvas bajas subcaducifolias e inundables también presentan una inflamabilidad alta, presentan las mayores cargas de combustibles de 104.25 ton/ha (Contreras *et al.*, 2006). Debido a la alta humedad relativa, la probabilidad de que ocurra un incendio es baja. Este tipo de vegetación se encuentra distribuida en manchones dentro de la selva mediana subperennifolia, y en dado caso de que exista una temporada larga de sequía, Las SBsc y las SBi, podrían ser un foco de incendios en las selvas medianas. La selva baja caducifolia (SBC) tiene un régimen de fuego de entre 10 a 15 años, si se cambia el uso del suelo o el régimen de fuego se llegaría a tener una condición de sabana con un régimen de fuego 0.5 a 2 años⁷.

Las selvas medianas subperenifolia y subcaducifolia tienen una inflamabilidad baja aunado a que son las selvas que presentan una carga de combustibles mediana ó baja, de 43.15 y 26.71 ton/ ha (Contreras *et al.*, 2006), lo que indica un menor peligro de incendio. El dato es útil, ya que este tipo de vegetación constituye el 50% de la vegetación y es la de mayor extensión en la reserva (INE-SEMARNAP, 1999).

La inflamabilidad baja en la SMsp, concuerda con lo observado en la Sierra de Manantlan, ya que este tipo de vegetación se encuentra en los sitios más húmedos y su hojarasca no arde bien, por lo que el fuego es de baja intensidad, se propaga lentamente y se extingue con facilidad⁸.

Sin embargo, es el tipo de vegetación más alterado por actividades humanas, principalmente con fines agrícolas, ganadería, colonización, caza y explotación forestal. Cuando se produce una extracción selectiva de árboles, el bosque primario se vuelve

⁷ Plan de manejo integral del fuego de la Sepultura (REBISE). Pdf.

⁸ www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=1165417438104_Principios_manejo_del_fuego.ppt

susceptible a incendios, ya que aumenta el combustible y el tamaño de los parches que reciben insolación directa (Holsdworth y Uhl, 1997). Y a pesar de tener una inflamabilidad baja, el cambio de uso del suelo y el fuego llevaría a una condición de pastizales con especies exóticas que sería sostenido por un régimen de fuego de 2 a 3 años.⁹

5.2. Análisis por tipo de combustible

De acuerdo a los resultados que se presentan en el cuadro 10, obtenidos del análisis de varianza de los datos, se puede inferir que existen diferencias significativas para las fuentes de variación ignitabilidad, combustibilidad, consumibilidad y sostenibilidad, no así para el porcentaje de humedad.

Cuadro 10. Análisis de varianza de la inflamabilidad de los tipos de combustible.

Fuente de Variación	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Pr > F	α	SIG
Ignitabilidad	2	359280.5444	179640.2722	<.0001	0.05	*
Combustibilidad	2	55157119.21	27578559.61	<.0001	0.05	*
Consumibilidad	2	11752.30000	5876.15000	<.0001	0.05	*
Sostenibilidad	2	3333981.678	1666990.839	<.0001	0.05	*
% Humedad	2	3.37777778	1.688888888	0.0798	0.05	NS

5.2.1. Ignitabilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron tres grupos de tipos de combustibles, los cuales, se muestran en la figura 5. La clasificación por ignitabilidad se muestra en el cuadro 11.

Los combustibles subterráneos tienen una ignitabilidad alta; la hojarasca tiene una ignitabilidad media, y las herbáceas una ignitabilidad baja. Esto concuerda con lo observado por Neri (2004), en combustibles de la EFEZ, donde se reporta que la hojarasca tiene una alta ignitabilidad, con respecto a las herbáceas.

⁹ Plan de manejo integral del fuego de la Sepultura (REBISE). Pdf.

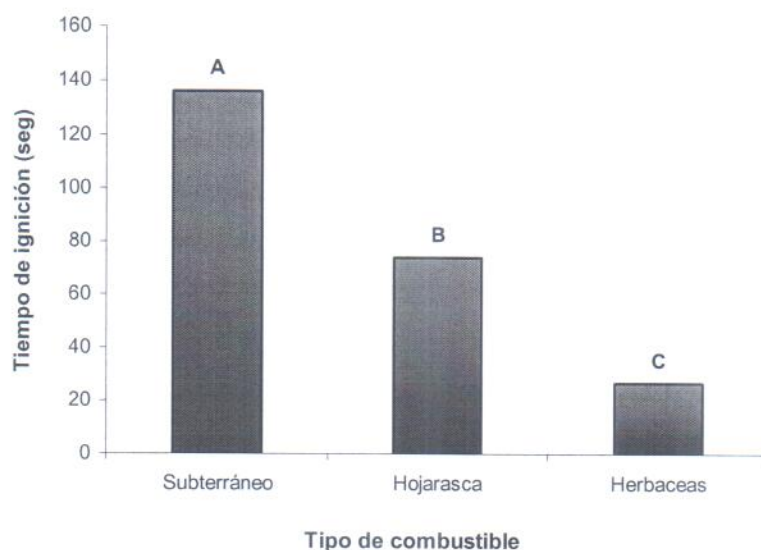


Figura 5. Ignitabilidad por tipo de combustible.

Cuadro 11. Clasificación de ignitabilidad por tipo de combustible

Letra	Escala	Significado	Tiempo de ignición(Ti)(seg)
A	1	Ignitabilidad Baja	$Ti > 100$
B	2	Ignitabilidad Media	$100 < Ti > 50$
C	3	Ignitabilidad Alta	$Ti < 50$

5.2.2. Combustibilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron tres grupos de tipos de combustibles, los cuales, se muestran en la figura 6. Y la clasificación por combustibilidad se muestra en el cuadro 12.

Los combustibles subterráneos tienen una combustibilidad alta; la hojarasca tiene una combustibilidad media, y las herbáceas una combustibilidad baja. Esto concuerda con lo observado por Neri (2004), en combustibles de la EFEZ, en el cual reporta que la hojarasca tiene una alta combustibilidad con respecto a las herbáceas que tienen combustibilidad

baja. Además de que los combustibles superficiales presentaron sales minerales en sus cenizas, lo cual reduce la inflamabilidad recubriendo al combustible, aislándolo del oxígeno (Elvira y Hernando, 1989). Por lo tanto la combustibilidad también se reduce.

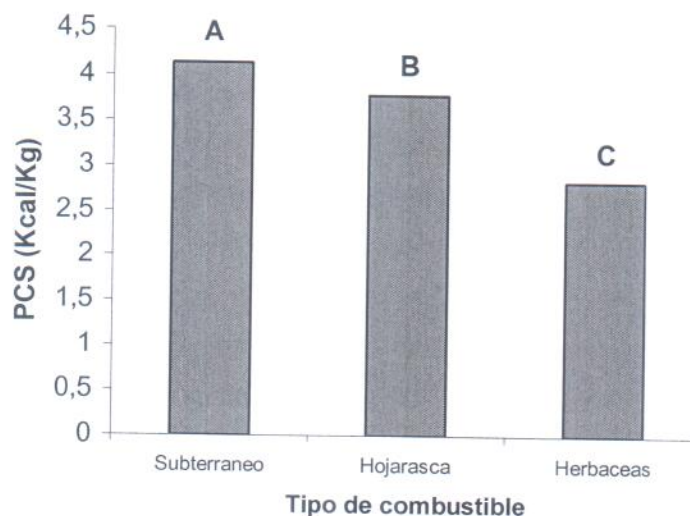


Figura 6. Combustibilidad por tipo de combustible

Cuadro 12. Clasificación por Combustibilidad por Tipo de combustible

Letra	Escala	Significado	PCS (Kcal / Kg)
A	3	Combustibilidad Alta	$4 < PCS$
B	2	Combustibilidad Media	$4 > PCS > 3.5$
C	1	Combustibilidad Baja	$PCS < 3.5$

5.2.3. Consumibilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron tres grupos de tipos de combustibles, los cuales se muestran en la figura 7. La clasificación por consumibilidad se muestra en el cuadro 13.

Los combustibles subterráneos tienen una consumibilidad alta; la hojarasca tiene una consumibilidad media, y las herbáceas una consumibilidad baja. Esto concuerda con lo

observado por Neri (2004), en combustibles de la EFEZ, en el cual reporta que la hojarasca tiene una alta consumibilidad con respecto a las herbáceas que tienen consumibilidad baja. En general los incendios en las selvas bajas son superficiales y en general de baja intensidad¹⁰, en lo cual puede influir su relativamente baja consumibilidad, a reserva de la influencia de factores meteorológicos.

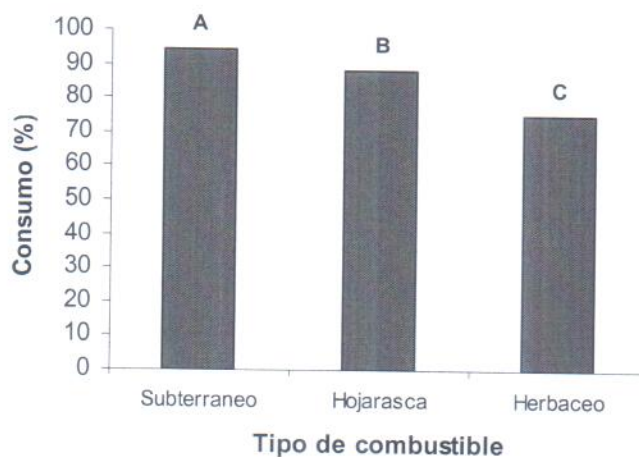


Figura 7. Consumibilidad por tipo de combustible

Cuadro 13. Clasificación por Consumibilidad por tipo de combustible

Letra	Escala	Significado	Consumo(%)
A	3	Consumibilidad Alta	Consumo > 90
B	2	Consumibilidad Media	90 < Consumo > 80
C	1	Consumibilidad Baja	Consumo < 80

5.2.4. Sostenibilidad

A partir de los resultados de la comparación de medias se obtuvieron tres grupos de tipos de combustibles, que son mostrados en la figura 8. La clasificación por consumibilidad se muestra en el cuadro 13.

¹⁰ www.imacmexico.org/file_download.php?location=S_U&filename=1165417438104_Principios_manejo_del_fuego.ppt

Los combustibles subterráneos tienen una sostenibilidad baja; la hojarasca tiene una sostenibilidad media, y las herbáceas una sostenibilidad alta. Lo cual muestra que la sostenibilidad es inversamente proporcional a la ignitabilidad, combustibilidad y consumibilidad. Cabe mencionar el tipo de vegetación afecta la propagación y sostenibilidad del incendio (Curt *et al.*, 2007).

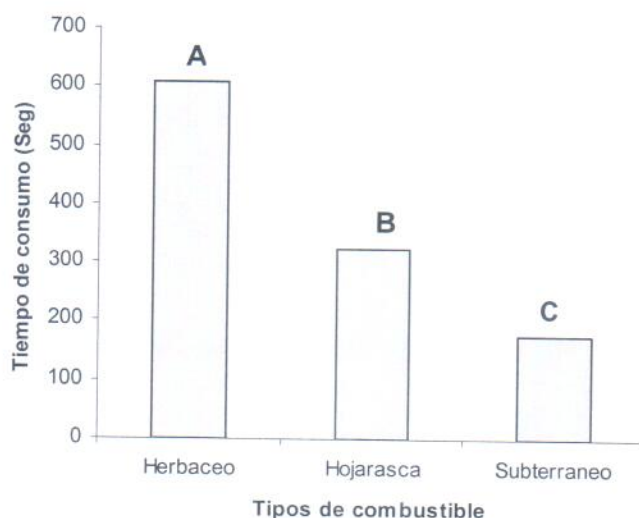


Figura 8. Sostenibilidad por tipo de combustible

Cuadro 14. Clasificación de la Sostenibilidad por Tipo de combustible

Letra	Escala	Significado	Tiempo de consumo (Seg)
A	3	Sostenibilidad Alta	Consumo > 400
B	2	Sostenibilidad Media	400 < Consumo > 200
C	1	Sostenibilidad Baja	Consumo < 200

De acuerdo a los resultados que generó la prueba de medias, el análisis de varianza y contando con la clasificación de los tipos de combustibles de acuerdo a su ignitabilidad (Cuadro 11), combustibilidad (Cuadro 12), consumibilidad (Cuadro 13) y sostenibilidad (Cuadro 14), se realizó una clasificación por inflamabilidad de los tipos de combustibles (Que se muestran en los Cuadros 15 y 16).

Cuadro 15. Clasificación de Tipos de combustible por su Inflamabilidad (rangos)

Igni	Combus	Consu	Soste	Total	Parámetro	Inflamabilidad
1	1	1	1	4	4	Baja
2	2	2	2	8	5-8	Media
3	3	3	3	12	9-12	Alta

Igni = Ignitabilidad, Combus = Combustibilidad, Consu = Consumibilidad, Soste=Sostenibilidad

Cuadro.16. Clasificación de tipos de combustible por su inflamabilidad

Tipo de combustible	Igni	Combus	Consu	Soste	Total	Inflamabilidad
Subterráneo	3	3	3	1	10	Alta
Hojarasca	2	2	2	2	8	Media
Herbáceo	1	1	1	3	6	Media

Los combustibles subterráneos tienen inflamabilidad alta, y la hojarasca y herbáceas tienen una inflamabilidad media. Es decir, los combustibles subterráneos son mas inflamables que los combustibles superficiales (hojarasca y herbáceas).

En los bosques tropicales (selvas) la mayor parte de los incendios son superficiales o subterráneos. Si los combustibles superficiales (hojarasca y herbáceas) tienen una inflamabilidad media, el fuego puede ser menos intenso, que si se presenta un incendio subterráneo, lo cual resulta desastroso, para los ecosistemas debido a la alta inflamabilidad de los combustibles subterráneos. Cabe recordar los incendios de 1998 en la Selva El Ocote, Chis., subterráneos y de carácter catastrófico, arrasaron 22,000 ha (REBISO, 2005).

Es importante tomar en cuenta que en la Reserva de la Biosfera de la Selva el Ocote, un factor que influyo en la presencia de los incendios subterráneos, fue la geología kárstica de la región, que facilito la presencia de acumulaciones subterráneas de combustibles, incluso en pasadizos naturales que por debajo de la superficie del suelo mantenían la combustión o

comunicaban el fuego hacia otros sitios¹¹. En la RBC la geología es muy semejante y los suelos también son de origen cárstico, por lo cual se tiene el mismo peligro de presentar incendios subterráneos en épocas extremadamente secas. Acorde con Orgle (1994) los incendios subterráneos son los que pueden tener mayores consecuencias para la regeneración forestal, ya que son más perjudiciales para las plantas pequeñas.

¹¹ conserveonline.org/docs/2001/06/mexico.doc

6. CONCLUSIONES

- Se halló la mayor inflamabilidad en los combustibles de: selva alta subperenifolia, selva baja subcaducifolia, selva alta subperenifolia (afectada por incendios) y selva baja inundable.
- Se halló menor inflamabilidad en los combustibles de: selva mediana subperenifolia y selva mediana subcaducifolia.
- Los combustibles subterráneos (capa de fermentación) resultaron más inflamables que los combustibles superficiales (hojarasca y herbáceas).
- A su vez la hojarasca fue más inflamable que las herbáceas.
- Los resultados anteriores denotan una de los factores subyacentes en los incendios subterráneos bajo condiciones muy secas en ecosistemas tropicales forestales.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar otros estudios de inflamabilidad en ecosistemas tropicales midiendo la inflamabilidad periódicamente a lo largo del año, con la finalidad de elaborar mapas de riesgo de incendios.
- Estudiar la inflamabilidad de especies dominantes en los ecosistemas tropicales.

BIBLIOTECA DIVISION DE CIENCIAS FORESTALES

8. LITERATURA CONSULTADA

- Anderson, H. E. 1970. Forest fuel ignitability. *Fire Technology* 6(4):312-319, 322.
- Arnaldos, V.; J.; X. Navalón N.; E. Pastor F.; E. Planas C.; L. Zárete L. 2004. Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales. Mundi-Prensa. Madrid, España. 414 p.
- Batchelder, R. B.; F. Hirt H. 1966. Fire in tropical forests and grasslands. Technical report. Contract No. DA 19-129-AMC-229(N). United States Army.
- Barlow, J.; T. Haugaasen; A Peres C. 2002. Effects of ground fires on understory bird assemblages in Amazonian forest. In: *Biodiversity Conservation* 105: 157-169
- Behm, A. L. 2003. Flammability of native understory species in pine flatwood and hardwood hammock ecosystems. Thesis of Master of Science. University of Florida. Florida. 100 p.
- Behm, A. L.; F. L. Gainesville; M. L. Duryea; A. J. Long; W. C. Zipperer; C. K. Randall. 2003. Flammability of native understory species within pine flatwood and harwood hammock ecosystems. 2nd Internacional Wildland Fire Ecology and Fire Management Congress. En: http://ams.confex.com/ams/FIRE2003/techprogram/paper_65750.htm
- Behm, A. L.; A. J. Long; W. C. Zipperer; A. Hermansen; A. Maranghides; W. Mell. 2006. Quantifying and ranking the flammability of ornamental shrubs in the southern United States. 3rd International Fire Ecology & Management Congress. CA. United Estates. En: www2.bfrl.nist.gov/.../wmell/PUBLIC/TALKS/FY07/3rd_intnl_fire_ecology_Nov06_Long_quantifyingflammability.pdf
- Brooks, M. L.; C. M. D'Antonio; D. M. Richardson; J. B. Grace; J. E. Keeley, J. M. DiTomaso; R. J. Hobbs; M. Pellant ;D. Pyke. 2004. Effects of invasive alien plants on fire regimes. In: *Bioscience* 54: 677-688.

- Brown, J. K.; D. Oberhue R. D.; Jhonston C. M. 1982. Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the interior West. INT-129.USDA Forest Service. Intermountain Forestand Range Experiment Station. Ogden, Utah. 48 p.
- Cochrane, M. A. 2001. Synergistic interactions between habitat fragmentations and fire in evergreen tropical forest. In: Conservation Biology 15: 1515-1521.
- Cochrane, M. A., 2002. Spreading like Wildfire-Tropical Forest Fires in Latin America and the Caribbean: Prevention, Assessment, and Early Warning. United Nations Environment Programme (UNEP). En: http://www.rolac.unep.mx/dewalac/eng/fire_ingles.html
- Cochrane, M. A., 2003. Fire science for rain forest. In: Nature 421: 913-919.
- Cochrane, M. A.; A. Alencar; M. D. Schulze; C. M. Souza Jr.; D. C. Nepstad; P. Lefebvre; E. A. Davidson, 1999. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests. In: Science 284: 1832-35.
- Cochrane, M. A; D Schulze M. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forest of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. In: Biotropica 31: 2-16.
- Cochrane M. A. y Laurence W. F., 2002. Fire as a large-scale effect in Amazonian forest. In: Journal of Tropical Ecology 18: 311-325.
- Contreras, M., R.; Nolasco, A.; Rodríguez T., D. A. 2006. Borrador del Plan de Manejo del Fuego para el complejo CBKKBK. 113 pp.
- Crutzen, P. J.; O. Andreae M. 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. Science 250: 1669–1677.

- Curt, T.; A. Ganteaume; S. Alleaume; L. Borgniet; O. Chandioux; M. Jappiot; C. Lampin; W. Martin. 2007. Vegetation flammability and ignition potential at road-forest interfaces (southern France). In: Wildfire 2007. Sevilla, España. 11 p.
- Cushon, G. H.; R. D. Ottmar; D. V. Sandberg; J. A. Greenough; J. L. Key. In press. Fuel characteristic classification: characterizing wildland fuelbeds in the United States. In: A. Brennan, et. al. (eds.) National Congress on Fire Ecology, Prevention and Management Proceedings, No. 1. Tall Timbers Research Station, Tallahassee, FL. <http://www.fs.fed.us/pnw/fera/jfsp/fcc/FCCpaper.pdf>
- Delabraze, P. 1986. Sylviculture méditerranéenne in Précis de Sylviculture. Lanier. Ecole Nationale du Génie rural. 376 p.
- Delabraze, P.; Ch. Valette, J. 1977. Étude de l'inflammabilité et de la combustibilité Technique FAO sur les incendies de rets en pays méditerranéens.
- Dibble, A. C.; W. A. Patterson; R. H. White. 2003. Relative flammability of native and invasive exotic plants of the Northeast. In: Using fire to control invasive plants: what's new, what works in the Northeast 2003 workshop proceedings; 2003 January 24; Portsmouth, NH. Durham, NH: University of New Hampshire Cooperative Extension: 26-29. (<http://www.ceinfo.unh.edu/forestry/documents/WPUFCI03.pdf>).
- Dimitrakopoulos, A. (2001). A statistical classification of Mediterranean species based on their flammability components. In: J. Wildland Fire, 10, 113-118.
- Doat, J. Y J. CH. Vallete. 1981. Le pouvoir calorifique superior d'espèces forestières méditerranéennes. Ann. Scie. Forest. 38 (4), 469-486.
- Elvira, M. L. M; C. Hernando L. 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. 99 p.
- Etlinger, M. G.; F. C. Beall. 2004. Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. In: International Journal of Wildland Fires 13:479-488.

- Folan, W. J., J. Gunn, J. Eaton y R. Patch, 1983. "Paleoclimatological Patterning in Southern Mesoamerica". *Journal of Field Archaeology*, 10 (4): 453-468.
- Fredericksen, N. J; S. Fredericksen T. 2002. Terrestrial wildlife responses to logging and fire in a Bolivian tropical humid forest. In: *Biodiversity Conservation* 11: 27-38.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köepen. Inst. Nal. de Geografía. UNAM, México.
- Goldammer, J.; Manan, S. 1996. Fire in the tropical forests. ITTO Tropical Forest Update. No 6(1): 3-7.
- Gill, A. M.; P. Zylstra. 2005. Flammability of Australian forests. In: *Australian Forestry*. Vol 68. No. 2. 87-93 p.
- Goldammer J. G., 1999. Forests on fire. In: *Science* 284: 1782-1783
- Gracia, C.; Burriel, J.A.; Ibàñez, J.J., Mata, T.; J. Vayreda,. 2004. Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Mètodes. CREAf, Cerdanyola del Vallès. 112 pp.
- Guerra, F.; H. Puig; R. Chaume. 1998. The forest-savanna dynamics from multi-date Landsat-TM data in Sierra Parima, Venezuela. *International Journal of Remote Sensing* 11: 2061-2075.
- Gunn, J. y R. E. W. Adams, 1981. "Climatic change, culture and civilization in North America." *World Archaeology* 13(1): 85-100.
- Holdsworth A. R. y Uhl C., 1997. Fire in Amazonian selectively logged rain forest and the potential for fire reduction. In: *Ecological Applications* 7: 713-725.
- Huebner, C.D. 2003. Vulnerability of oak-dominated forests in West Virginia to invasive exotic plants: Temporal and spatial patterns of nine exotic species using herbarium records and land classification data. In: *Castanea*. 68: 1-14.

- ICONA. 1981. Técnicas para defensa contra incendios forestales. Monografía 24. Ministerio de Agricultura, ICONA. 200 p.
- INE-SEMARNAP. 1999. Programa de manejo de la Reserva de la Biosfera Calakmul. México. INE-SEMARNAP. México. 277 p.
- Johnson, E. A.; K. Mayanishi. 2001. Forest Fires. Behaviour and Ecological Effects. Academic Press. Florida. 594 p.
- Kinnaird, M. F.; G. O'Brien T. 1998. Ecological effects of wildfire on lowland rainforest in Sumatra. In: Conservation Biology 12: 954-956.
- Martin, R. E., A. Gordon D., M. Gutierrez; D. Lee, M. A. Schoeder R.; B. Sapsis D.; S. Stephens; D. Molina. 1994. Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation. In: Proceedings. '12th International Fire and Forest Meteorology Conference' pg. 130-137,
- Martínez, R. E.; J. R. Punzano; E. M. Chamarro, F. A. Briones; M. P. Rodríguez. 2001. Manual de quemas controladas (El manejo del fuego en la prevención de incendios forestales. Mundi-Prensa/Grupo Tragsa. Madrid, España. 175p.
- Mata, T.; J. A. Burriel; J. J. Ibáñez; J. Vayreda. 2007. Mapas de modelos de combustible y de modelos de inflamabilidad en Cataluña. In: Wilfire 2007. Sevilla, España. 8 p.
- Miranda, F., 1964: Vegetación de la península yucateca, (sobretiro 2), Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México. pp. 161-271.
- Nepstad, D.; P. Lefebvre; U. Lopes D; J.T. Ellaz; P. Schlesinger; L. Solo R.; P. Moutinhow; D. Ray and J.S. Guerreira B. 2004. Amazon drought and its implication for forest

flammability and tree growth a basin-wide analysis. In: Global Change Biology. 10, 704-717 p.

Neri, P. A. C. 2004. Inflamabilidad Relativa de combustibles en la Estación Forestal Experimental Zoquiapan. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. México. 66 p.

Orgle, T.K. 1994. Ecology of burnt forests in Ghana. Tesis de doctorado, University of Aberdeen.

Ramírez, T. M. R.; B. Pérez G.; A. D. Orozco S. 2007. Helechos invasores y sucesión secundaria post-fuego. Ciencias. UNAM. México. No.85: 18-25 p.

REBISO. 2005. REBISO (Reserva de la Biosfera Selva El Ocote). Plan de Manejo Integral del Fuego. CONANP. Tuxtla Gutiérrez, Chis., Mexico. Inédito.

Rodríguez, D. 1994. La lucha contra el fuego, Guía para la prevención, presupresión y supresión de incendios forestales, Universidad Autónoma de Chapingo, México.

Rodríguez, S. F. y J. R. Molina M. 2007. Cartografía de modelos de combustible para la defensa contra incendios forestales. In: Wildfire 2007, 4a. Conferencia internacional sobre incendios forestales. Sevilla, España. 11 p.

Román Cuesta R. M., J. Retana y M. Garcia, 2004. Fire trends in tropical Mexico: a case of study of Chiapas. Journal of Forestry 102: 26-32.

- Rothermel, R. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA, FS. Res. Pap. INT-115. 40 p.
- Sánchez González, M.C. 1993. "Calakmul, encuesta". En A. Gómez-Pompa y R. Dirzo *et al.* (comps.). Proyecto de evaluación de áreas naturales protegidas de México. SEDESOL, México.
- SEMARNAT. 2005. Reporte de incendios en México. En: www.semarnat.mx.reporte.
- Slik J. W., R. W. Verburg P.; J. A. Kleber, 2002. Effects of fire and selective logging on the tree species composition of lowland dipterocarp forest in East Kalimantan, Indonesia. In: Biodiversity Conservation 11: 85-98
- THE NATURE CONSERVANCY. 2004. El fuego, los Ecosistemas y la Gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. The Nature Conservancy. 9p.
- Trabaud, J. 1976. Inflammabilité et combustibilité des principales espèces des garrigues de la Région méditerranéenne. Oecol Plant. 11: 117-136.
- Uhl, C.; B. Kauffman J. 1990. Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the Eastern Amazon. In: Ecology 71: 437-449
- Vallete, J.C. 1990. Inflammabilités des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. Revue Forestière Française
- Velez, M. R. 2000. La defensa contra incendios forestales. Mc Graw Hill. España. 242 p.

Van Nieuwstad, M. G.; L. Sheil D.; Kartawinata K., 2001. The ecological consequences of logging in the burned forest in East Kalimantan, Indonesia. In: Conservation Biology 15: 1183-1186.

White, R. H.; R. D. Weise; S. Frommer. 1996. Preliminary evaluation of the flammability of native and ornamental plants using cone calorimeter. In: Proceedings of the 21st International Conference on Fire Safety. 256-265 p.

White, R. H.; D. Demars; M. Bishop. 1997. Flammability of Christmas Trees and Other Vegetation. In: Proceedings of International Conference on Fire Safety. Vol 24.