

Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares

Flammability of plant species of pine ecosystem



Fernando Jaime Mesa

Estudiante de Ingeniería Forestal Quinto Año. Universidad de Pinar del Río "Hnos Saíz Montes de Oca". Cuba.

Recibido: 15 de octubre de 2014.

Aprobado: 22 de diciembre de 2014.

RESUMEN

Los incendios han sido reconocidos como una de las principales causas que provocan la pérdida de los bosques, ecosistemas terrestres de gran importancia, no solo para el hombre sino también para otros seres vivos que dependen de ellos para su subsistencia. Precisamente son los combustibles uno de los elementos que integran tanto el triángulo de la combustión como el de la propagación, por esto estudiar sus características es de gran importancia, siendo una de ellas la inflamabilidad. En Cuba no existen hasta la actualidad estudios sobre inflamabilidad de especies vegetales, los cuales podrían contribuir al perfeccionamiento de las actividades básicas de manejo del fuego, pues brindan la posibilidad de definir zonas con diferente riesgo, lo que puede variar, para algunas especies, durante el año. En correspondencia con lo anterior el objetivo general de este trabajo fue evaluar la distribución anual de la inflamabilidad de algunas especies vegetales del ecosistema de pinares. Las muestras fueron colectadas todos los meses durante el periodo noviembre 2010 octubre 2011 entre las 10:15 y las 11:15 horas. Para la determinación del grado de inflamabilidad de los combustibles, se utilizó el método descrito por Elvira y Hernando (1989) y

ABSTRACT

The fires have been acknowledged like one of the principal causes that the loss of the forests, terrestrial ecosystems of great importance provoke, you did not sole for the man but also for another living beings that depend on them for his subsistence. Precisely they are I join the fuels of the elements that they integrate so much the triangle of the combustion like the one belonging to propagation, for this reason going into his characteristics is of great importance, being an one belonging to them inflammability. Studies on inflammability of vegetable sorts, which do not exist to the present time in Cuba they would be able to contribute of the basic activities of handling of the fire, because they offer the possibility to circumscribe zones with different risk, what you can vary, for some sorts, during the year to the perfecting. The general objective of this work was to evaluate the yearly distribution of the inflammability of some vegetable sorts of the ecosystem of pine groves in mail with the above. Signs were collected every month during the period November 2010 between the 10:15 and the 11:15 hours October 2011. For the determination of the grade of inflammability of fuels, the method described by Elvira and Hernando (1989) and Hernando was utilized (2000

Hernando (2000 y 2009). Entre otros resultados puede mencionarse que los menores tiempos de inflamación promedio que se obtuvieron se corresponden con el período noviembre febrero, siendo la especie con menor valor promedio para esta variable durante el año la *Clidemiahirta*. El mayor valor promedio se obtuvo para el caso de la *Rondeletiacorreifolia*.

Palabras clave: Inflamabilidad; Incendios forestales, Material combustible.

and 2009). Enter another results it can be mentioned that the minor times of average inflammation that were obtained correspond themselves with the period November February, being the sort with minor blended value for this variable during the year the *Clidemiahirta*. The bigger blended value got for the case *correifolia* from the *Rondeletia* itself

Key words: Inflammability; Forestal fires; Combustible material.

INTRODUCCIÓN

Los incendios han sido reconocidos como una de las principales causas que provocan la pérdida de los bosques, ecosistemas terrestres de gran importancia, no solo para el hombre sino también para otros seres vivos que dependen de ellos para su subsistencia. El desarrollo de los mismos deja tras sí una estela de consecuencias negativas, que van desde la pérdida de disímiles especies de la flora, hasta la afectación de los representantes de la fauna que viven en ellos, y que tienden a ser desplazados de los lugares que habitan o en el peor de los escenarios mueren por las llamas o la inhalación del humo. A esto debemos agregar las pérdidas económicas que sufre el hombre, las cuales están relacionadas con las especies forestales que se dañan y con los variados, y en ocasiones cuantiosos recursos, que deben emplearse para la extinción del fuego.

Según Marino et al. (2010), estudios de inflamabilidad con una fuente de ignición han sido desarrollados en diferentes combustibles forestales, especialmente litera y pastos, ambos en condiciones de campo (Blackmarr 1972; Lin 1999; Tanskanen et al. 2005; Beverly y Wotton 2007) y estudios de laboratorio (Ferreira 1988; McAlpine y Wakimoto 1991; Ellis 2000; Guijarro et al. 2002; Pérez-Gorostiaga et al. 2002; Plucinski 2003; Satoh et al. 2003; Manzello et al. 2006; Jappiot et al. 2007; Plucinski y Anderson 2008).

También diferentes estudios han sido llevados a cabo para evaluar la sostenibilidad de la ignición de suelos orgánicos (Frandsen 1987, 1997; Hartford 1989; Lawson et al. 1997; Miyanishi y Johnson 2002; Otway et al. 2007; Reardon et al. 2007).

Una investigación reciente de Curt et al. (2007) evaluó la inflamabilidad de los combustibles en diferentes tipos de vegetación, incluyendo un complejo de combustibles compuesto por litera, pastos y arbustos en un rodal de pino después de una limpia de arbustos.

Por su parte Marino et al. (2010) compararon el efecto de dos tratamientos mecánicos de combustibles sobre la inflamabilidad de combustibles muertos finos en comunidades de arbustos con bajos niveles de humedad de los combustibles.

En Cuba no existen hasta la actualidad estudios sobre inflamabilidad de especies vegetales, los cuales podrían contribuir al perfeccionamiento de las actividades básicas de manejo del fuego, pues brindan la posibilidad de definir zonas con diferentes niveles de riesgo, lo que puede variar, para algunas especies, durante el año.

En correspondencia con lo anterior el problema científico que plantea esta investigación es: ¿Cambia a través de los meses el grado de inflamabilidad de

las especies vegetales en el ecosistema de pinares?, siendo la hipótesis la siguiente:

Evaluando la distribución anual de la inflamabilidad de las especies vegetales del ecosistema de pinar será posible definir los meses en los cuales el mayor porcentaje de las mismas presentan altos grados de inflamabilidad.

De acuerdo con lo anterior, el objetivo general de la investigación fue evaluar la distribución anual de la inflamabilidad de algunas especies vegetales del ecosistema de pinares, mientras que los objetivos específicos fueron:

- Realizar ensayos de inflamabilidad a las especies seleccionadas del ecosistema de pinar
- Analizar la distribución de la inflamabilidad de las especies vegetales objeto de estudio
- Establecer posibles relaciones entre la humedad de los combustibles y la inflamabilidad

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

Las muestras para realizar los ensayos de inflamabilidad y determinar la humedad de las mismas en el momento del ensayo, fueron tomadas en el km 18 de la carretera a Viñales. Esta área pertenece a la Unidad Silvícola Viñales, Empresa Forestal Integral La Palma. La vegetación es de pinares naturales de Alturas de Pizarras la cual corresponde, según Samek y Del Risco (1989), a la asociación *Querco - Pinetumcaribaeae*, subasociación *pinetosumtropicalis*. El suelo corresponde según MINAGRI (1984) al tipo ferralítico cuarcítico amarillento sobre esquistos o pizarras normales, clasificado por Hernández et al. (1999) como suelos alíticos. El clima según Köppen (1936) citado por Wadsworth (2000), es Aw (clima tropical con mes más frío con temperatura mayor de 18°C y una estación seca con, al menos, un mes con menos de 600 mm).

Toma de muestras

Las muestras fueron colectadas todos los meses durante el periodo noviembre 2010 octubre 2011 entre las 10:15 y las 11:15 horas. Durante esta actividad se midieron variables meteorológicas tales como temperatura del aire y humedad relativa. Un medidor meteorológico de bolsillo, Kestrel 3500, fue utilizado para estas operaciones.

La toma de muestras para los ensayos de inflamabilidad, siguiendo a Elvira y Hernando

(1989), consistió en cortar los extremos de las ramillas laterales y terminales en varios individuos que presentaban el mismo estado fenológico. De cada especie se llevaron al laboratorio unos 70 g de los cuales fueron utilizados 50 g para los ensayos. Se trabajó con ocho especies las cuales fueron seleccionadas considerando su presencia en el ecosistema y su participación en el comportamiento del fuego, esta última característica se basó en el criterio de especialistas en manejo del fuego. Las especies fueron las siguientes:

- *Pinus caribaea* Morelet, var. *caribaea* (Pino macho)
- *Matayba petala* Radlk. (Macurijes)
- *Bourreria virgata* (Sw.) G. Don. (Cafetillo)
- *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Peralejo)
- *Clidemia hirta* (L.) D. Don (Cordoban)
- *Rondeletia correifolia* Griseb. (Rondeletia)
- *Odontosoria wrightiana* Maxon (Helecho tembladera)
- *Aristida erecta* Hitchc (Pajón hembra)

Las muestras para determinar la humedad consistieron en la colocación de 120 g en bolsas plásticas de cierre hermético para reducir las pérdidas de agua producidas durante el transporte al laboratorio y su posterior manipulación. Una vez en el laboratorio, las bolsas fueron colocadas en cámara húmeda a 50°C hasta el momento del ensayo. Las muestras se tomaron de las mismas plantas que se obtuvieron las que serían

utilizadas para los ensayos de inflamabilidad siguiendo el mismo procedimiento descrito para ese fin.

Determinación de la inflamabilidad

Para la determinación del grado de inflamabilidad de los combustibles, de acuerdo a la definición de Delabrazo y Valette (1977) citado por Hernando (2000), se utilizó el método descrito por Elvira y Hernando (1989) y Hernando (2000 y 2009). De acuerdo con Arnaldos et al. (2004), este ensayo consiste en someter sucesivamente 50 muestras de $1 \pm 0,1$ g a la acción de un foco calorífico de 500 W de potencia (7 W.cm^{-2}), colocándolas directamente sobre la superficie radiante. A medida que avanza la descomposición térmica

de la muestra se irán desprendiendo, juntamente con el agua, gases combustibles. Cuando la mezcla de gases con el aire llega al límite inferior de inflamabilidad, se produce la inflamación de la muestra por contacto con la llama del bunsen o mechero de gas.

La figura 1 muestra el montaje del ensayo de inflamabilidad. Se observa el epirradiador, instrumento utilizado como fuente de calor normalizada (Norma UNE-23-721). La llama piloto, que se observa en el montaje experimental, origina en su caso la inflamación de la mezcla aire-gases producto a la descomposición térmica del vegetal, pero no interviene en la gasificación.



Figura 1. Montaje del ensayo de inflamabilidad

Los parámetros de la inflamabilidad considerados fueron:

- Tiempo de inflamación (T_i): es el transcurrido desde el instante de colocar la muestra en el radiador eléctrico (epirradiator) hasta que se produce la inflamación de la materia, expresado en segundos. El tiempo de inflamación de la especie estudiada es la media aritmética de los tiempos resultantes en los 50 ensayos.
- Porcentaje de ensayos positivos (N_i): se consideran positivas aquellas muestras en que se produce la inflamación antes de un minuto, puesto que se observa que en el material fino una vez transcurrido dicho tiempo, la muestra por lo general se carboniza sin sufrir inflamación.
- Duración de las llamas: es la media aritmética de la duración de las llamas producidas por la inflamación de los vegetales en los 50 ensayos.
- Duración de la combustión: es la media aritmética de la duración de la combustión resultante en los 50 ensayos.

De acuerdo con los valores de T_i y N_i se clasificaron las especies según la

clasificación de inflamabilidad definida por Valette (1986) citado por Elvira y Hernando (1989) y por Hernando (2000), según se muestra en la Tabla 1.

Los tiempos de inflamación, duración de las llamas y de la combustión se midieron con un cronómetro.

Tabla 1. Clasificación de la inflamabilidad

Tiempo de inflamación (s)	Porcentaje de ensayos positivos (%)					
	100 - 95	94 - 90	89 - 85	84 - 80	70 - 50	< 50
< 12,5	5	4	3	3	2	1
12,6 - 17,5	4	3	3	2	1	1
17,6 - 22,5	3	3	2	2	1	0
22,6 - 27,5	3	2	2	1	0	0
27,6 - 32,5	2	2	1	1	0	0
> 32,5	2	1	1	0	0	0

Legenda: 0=muy poco inflamable; 1=poco inflamable; 2=inflamable; 3=moderadamente inflamable; 4=muy inflamable; 5=extremadamente inflamable.

En algunas especies se producían varias inflamaciones sucesivas. En estos casos, cuando el tiempo de duración de la llama de la primera era igual o superior a 10 s, se tomó como tiempo de inflamación el de esa primera inflamación. Cuando el tiempo de duración de la llama originada en la primera inflamación era menor a 10 s, se tomó como tiempo de inflamación, el medido al producirse la segunda inflamación, es decir, se despreciaba la primera inflamación.

Determinación de la humedad de los vegetales

La humedad de los vegetales, en el momento del ensayo de inflamabilidad, es un dato de extraordinaria importancia para la interpretación de resultados, y se determina como la media aritmética de la obtenida por medio del secado en estufa. Con este fin fueron utilizadas dos muestras de 50 g de cada especie. Las muestras permanecían 24 horas en la estufa a 80oC. A partir de este tiempo se pesaban y se volvían a colocar en la estufa 2 horas al término de las cuales se volvía a pesar. Esto se repetía hasta obtener peso constante. Una vez

obtenido el peso seco de ambas muestras se determinó la humedad por la ecuación 1:

Donde Hm es la humedad del material combustible en %, Ph el peso húmedo en gramos, y Ps el peso seco en gramos.

Tratamiento estadístico

A través de un análisis de varianza factorial se estudió el efecto que sobre el tiempo medio de inflamación tienen los factores o fuentes de variación siguientes:

- Especie: se refiere a las ocho especies utilizadas en los ensayos
- Forma de la muestra: según el tipo de hoja o del conjunto de ellas, incluyendo además fracciones de tallos, se consideraron las formas siguientes:
 1. Forma 1: aovada o elíptica (B. virgata, B. crassifolia, C. hirta, R. correifolia)
 2. Forma 2: filiforme (A. erecta)
 3. Forma 3: acicular (P. caribaea)
 4. Forma 4: lanceolada (M. apetala)

5. Forma 5: irregular (*O. wrightiana*)

- Meses: los 12 meses del año en que fueron tomadas y ensayadas las muestras.
- Estrato: según el estrato donde se encuentra la especie, se utilizaron los siguientes:
 1. Estrato 1: herbáceas (*A. erecta*, *O. wrightiana*)
 2. Estrato 2: arbustivas (*B. virgata*, *B. crassifolia*, *C. hirta*, *R. correifolia*)
 3. Estrato 3: arbóreas (*P. caribaea*, *M. apetala*)

También se analizó para cada especie la distribución anual de las variables tiempo de inflamación, duración de las llamas y duración de la combustión. Se verificó la existencia o no de diferencia significativa entre los valores medios obtenidos para cada especie cada mes y entre los valores medios obtenidos para cada especie durante el año. La normalidad de las variables se comprobó con la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Según fue el resultado un análisis de varianza o la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis fueron aplicados. Las pruebas de Duncan o U de Mann-Whitney fueron utilizadas para verificar las diferencias entre meses y especies.

El coeficiente de correlación entre las tres variables anteriores y entre ellas y el contenido de humedad de las muestras en el momento de los ensayos, fue determinado. En el primer caso se utilizaron los valores medios obtenidos para cada una de las ocho especies cada mes del año. Como no todas las variables siguieron una

distribución normal, se determinó el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman, considerando una probabilidad de significación del 5 %.

Además, a través de un análisis de conglomerados jerárquico se clasificaron las especies considerando la inflamabilidad mostrada por cada una de ellas durante los distintos meses del año. El agrupamiento se basó en la distancia euclídea y se utilizó el método de Ward.

Para realizar los diferentes análisis se utilizó el Microsoft Excel y el sistema estadístico SPSS v.15.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Inflamabilidad de las especies estudiadas

Ensayos positivos

La distribución anual del porcentaje de ensayos de inflamabilidad positivos se muestra en la Tabla 2. Se observa que en el caso de las especies *P. caribaea*, *B. crassifolia*, *C. hirta* y *A. erecta*, el 100 % de los ensayos fueron positivos todos los meses del año. La especie con menos ensayos positivos registrados fue la *R. correifolia*, seguida de la especie *O. wrightiana*. En la Tabla se observa también que durante los meses enero, febrero, agosto, noviembre y diciembre, todos los ensayos fueron positivos para las ocho especies.

Tabla 2. Distribución anual del porcentaje de ensayos positivos.

Especies	Porcentaje de ensayos positivos (%)											
	Enero	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P. caribaea	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
M. apetala	100	100	100	100	100	100	98	100	78	100	100	100
B. virgata	100	100	100	96	96	100	100	100	90	74	100	100
B. crassifolia	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
C. hirta	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
R. correifolia	100	100	98	84	100	98	94	100	94	92	100	100
O. wrightiana	100	100	90	94	98	100	100	100	98	98	100	100
A. erecta	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tiempo de inflamación

La distribución anual del tiempo de inflamación obtenido para cada especie se muestra en la Tabla 3. En general los menores tiempos de inflamación promedio se obtuvieron para el periodo noviembre febrero, siendo la especie con menor valor promedio para esta variable durante el año C. hirta. El mayor valor promedio se obtuvo para R. correifolia.

La variable tiempo medio anual de inflamación, según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, se ajustó a la distribución normal ($p=0,110$). El análisis de varianza factorial permitió establecer que los factores: forma de la muestra ($p=0,062$), meses ($p=0,146$) y estratos ($p=0,447$), no ejercieron influencia

sobre el tiempo de inflamación, no ocurriendo lo mismo en el caso de las especies ($p=0,000$).

En el caso de la variable tiempo medio mensual de inflamación para cada especie, según lo que propone la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, no se ajustó a la distribución normal, obteniéndose valores de $p=0,003$ para P. caribaea y 0,000 para el resto de las especies. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis demostró la existencia de diferencia significativa entre los valores medios mensuales de estas variables para cada una de las ocho especies. En todos los casos el valor de p fue 0,000. Las diferencias entre los meses, obtenidas por la prueba U de Mann-Whitney, se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Distribución anual del tiempo de inflamación

Especies	Tiempo de inflamación (s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
P. caribaea	10,37 ^a	9,01 ^f	10,98 ^a	13,25 ^d	15,12 ^{bc}	15,65 ^{bc}	16,25 ^b	15,24 ^{bc}	14,71 ^c	18,43 ^a	6,39 ^g	7,91 ^f
M. apetala	4,79 ^e	5,86 ^c	7,57 ^b	7,69 ^b	10,58 ^a	7,82 ^b	11,94 ^a	11,35 ^a	11,55 ^b	11,00 ^a	7,75 ^b	6,11 ^c
B. virgata	6,33 ^f	5,06 ^g	6,77 ^{ef}	8,28 ^{bc}	9,20 ^a	7,35 ^{de}	9,11 ^a	8,72 ^{ab}	7,80 ^{cd}	7,96 ^{bcd}	6,44 ^f	6,22 ^f
B. crassifolia	7,54 ^d	6,64 ^d	11,44 ^a	8,58 ^c	9,52 ^c	8,51 ^c	8,93 ^c	9,52 ^c	10,48 ^b	9,37 ^c	6,78 ^d	7,54 ^d
C. hirta	5,24 ^e	7,42 ^a	7,05 ^{ab}	6,87 ^{ab}	6,08 ^c	6,28 ^{abc}	6,95 ^{ab}	6,82 ^{ab}	6,79 ^{ab}	6,83 ^{ab}	5,94 ^{bc}	7,17 ^{ab}
R. correifolia	13,26 ^a	14,30 ^{de}	19,14 ^a	19,91 ^a	16,76 ^c	16,30 ^{cd}	18,46 ^{ab}	16,94 ^{bc}	16,78 ^{bc}	16,26 ^c	18,43 ^{ab}	16,74 ^{bc}
O. wrightiana	7,81 ^f	8,29 ^f	11,68 ^{cd}	11,92 ^{cd}	10,79 ^{de}	16,69 ^a	10,02 ^e	12,51 ^c	14,94 ^b	10,60 ^{de}	5,57 ^g	6,01 ^g
A. erecta	11,09 ^c	8,58 ^a	12,46 ^b	13,70 ^a	10,82 ^c	12,57 ^d	14,15 ^a	13,64 ^a	11,45 ^c	13,36 ^a	7,93 ^e	9,69 ^d
Media	8,30	8,15	10,88	11,28	11,11	11,40	11,98	11,84	11,81	11,73	8,15	8,42

Valores con letras iguales para una misma especie no difieren a un nivel de significación de 0,05

Duración de las llamas

En la Tabla 4 se muestra la distribución anual de la duración de las llamas durante los ensayos. Se observa que el menor valor medio se obtuvo para *A. erecta* y el mayor para *P. caribaea*.

La variable tiempo medio anual de la duración de las llamas, según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, se ajustó a la distribución normal ($p=0,408$). El análisis de varianza factorial permitió establecer que los factores forma de la muestra ($p=0,000$), estratos ($p=0,000$) y especies ($p=0,000$) ejercieron influencia sobre la duración de las llamas. No ejercieron influencia sobre esta variable los meses ($p=0,261$).

Los valores medios de la variable duración de las llamas para cada

especie, según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, se ajustó a la distribución normal en el caso de las especies *M. apétala* ($p=0,202$); *C. hirta* ($p=0,143$) y *R. correifolia* ($p=0,063$). El resto de las especies no se ajustaron a esta distribución obteniéndose valores de $p=0,039$; $0,007$; $0,000$; $0,037$ y $0,001$ para *P. caribaea*, *B. virgata*, *B. crassifolia*, *O. wrightiana* y *A. erecta* respectivamente. A través del análisis de varianza o de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se obtuvieron valores de $p=0,000$ en todos los casos demostrándose la existencia de diferencia significativa entre los valores medios mensuales de esta variable para cada una de las ocho especies. Los resultados de las pruebas de Duncan y U de Mann-Whitney, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Distribución anual de la duración de las llamas

Especies	Duración de las llamas (s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>P. caribaea</i>	14,20 ^{ef}	13,30 ^g	20,02 ^a	7,87 ^{cd}	16,45 ^{bcd}	16,56 ^{bcd}	11,71 ^g	14,63 ^{def}	16,70 ^{bc}	13,37 ^g	15,84 ^{cde}	18,16 ^b
<i>M. apétala</i>	12,84 ^a	11,16 ^b	10,96 ^b	11,04 ^b	7,40 ^d	9,04 ^c	7,88 ^{cd}	5,82 ^e	4,86 ^f	8,09 ^{cd}	11,14 ^b	10,72 ^b
<i>B. virgata</i>	10,64 ^a	10,37 ^a	7,72 ^{bc}	5,87 ^e	7,03 ^{de}	6,85 ^{bcd}	7,18 ^{bcd}	7,21 ^{bcd}	7,38 ^{cd}	7,97 ^{cd}	11,42 ^a	8,21 ^b
<i>B. crassifolia</i>	14,81 ^a	11,82 ^{bc}	11,79 ^{bc}	10,60 ^c	10,72 ^c	11,97 ^{bc}	12,80 ^b	10,15 ^c	8,01 ^d	10,54 ^c	13,12 ^{ab}	14,81 ^a
<i>C. hirta</i>	14,88 ^c	11,61 ^f	14,22 ^{cd}	13,85 ^{cde}	17,03 ^{ab}	15,69 ^{bc}	17,76 ^a	12,45 ^{def}	11,03 ^f	11,49 ^f	14,18 ^{cd}	11,99 ^{ef}
<i>R. correifolia</i>	11,88 ^a	12,02 ^a	9,54 ^b	5,67 ^e	8,85 ^{bc}	8,73 ^{bc}	8,62 ^{bc}	7,92 ^{cd}	6,24 ^{de}	8,54 ^{bc}	8,61 ^{bc}	12,32 ^a
<i>O. wrightiana</i>	12,92 ^a	10,48 ^b	6,63 ^{de}	6,17 ^e	7,37 ^{cd}	10,14 ^b	8,54 ^c	5,84 ^e	2,98 ^f	7,53 ^c	9,93 ^b	7,79 ^c
<i>A. erecta</i>	9,36 ^b	11,12 ^a	7,87 ^{cd}	6,14 ^f	6,90 ^{def}	6,99 ^{de}	6,75 ^{ef}	6,03 ^g	5,58 ^g	7,49 ^{de}	2,72 ^h	8,63 ^{bc}
Media	12,69	11,48	11,09	9,01	10,22	10,75	10,15	8,76	7,85	9,38	10,87	11,58

Valores con letras iguales para una misma especie no difieren a un nivel de significación de 0,05

Duración de la combustión

De acuerdo con la Tabla 5, en la que se muestra la distribución anual de la duración de la combustión, se observa que la especie que mostró el valor promedio más bajo fue la *A. erecta*, mientras que el mayor valor fue obtenido para *R. correifolia*.

La variable tiempo medio anual de la duración de la combustión, según la

prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, no se ajustó a la distribución normal ($p=0,026$). La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis permitió establecer que los factores forma de la muestra ($p=0,000$), estratos ($p=0,000$) y especies ($p=0,000$) ejercieron influencia sobre la duración de la combustión. No ejercieron influencia sobre esta variable los meses ($p=0,995$).

Los valores medios de la variable duración de la combustión para cada especie, según la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov, se ajustó a la distribución normal en el caso de las especies *P. caribaea* ($p=0,131$) y *M. apétala* ($p=0,432$). El resto de las especies no se ajustaron a esta distribución obteniéndose valores de $p=0,030$; $0,000$; $0,037$; $0,000$; $0,004$ y $0,000$ para *B. virgata*, *B. crassifolia*, *C. hirta*, *R. correifolia*, *O. wrightiana* y *A.*

erecta respectivamente. A través del análisis de varianza o de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se obtuvieron valores de $p=0,000$ en todos los casos demostrándose la existencia de diferencia significativa entre los valores medios mensuales de esta variable para cada una de las ocho especies. Los resultados de las pruebas de Duncan y U de Mann-Whitney, se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Distribución anual de la duración de la combustión

Especies	Duración de la combustión (s)											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>P. caribaea</i>	10,37 ^a	9,01 ^f	10,98 ^a	35,39 ^a	42,52 ^{bc}	43,31 ^b	38,60 ^d	42,56 ^{bc}	52,15 ^a	42,01 ^{bc}	38,81 ^d	38,81 ^d
<i>M. apétala</i>	4,79 ^c	5,86 ^c	7,57 ^b	40,56 ^{bc}	41,66 ^{abc}	38,85 ^{cd}	40,63 ^{bc}	41,05 ^{abc}	40,87 ^a	32,82 ^a	42,02 ^{ab}	36,39 ^d
<i>B. virgata</i>	6,33 ^f	5,06 ^g	6,77 ^{ef}	37,46 ^d	43,60 ^b	39,97 ^{cd}	39,92 ^{cd}	40,12 ^{cd}	41,55 ^d	42,87 ^{bc}	51,06 ^a	38,42 ^d
<i>B. crassifolia</i>	7,54 ^d	6,64 ^d	11,44 ^a	43,50 ^a	46,10 ^{de}	45,99 ^{de}	45,26 ^a	44,23 ^a	43,31 ^a	48,85 ^{cd}	53,43 ^b	62,80 ^a
<i>C. hirta</i>	5,24 ^c	7,42 ^a	7,05 ^{ab}	46,35 ^{gh}	53,95 ^{abc}	52,20 ^{bcd}	50,93 ^{bcd}	48,56 ^{efg}	47,58 ^{gh}	44,89 ^b	54,06 ^{abc}	56,71 ^a
<i>R. correifolia</i>	13,26 ^a	14,30 ^{de}	19,14 ^a	76,28 ^{bc}	75,22 ^{bc}	78,05 ^b	76,06 ^{bc}	72,57 ^{bc}	63,04 ^d	59,11 ^d	85,89 ^a	90,33 ^a
<i>O. wrightiana</i>	7,81 ^f	8,29 ^f	11,68 ^{cd}	37,14 ^{de}	38,21 ^{cd}	41,21 ^{bc}	40,37 ^{bc}	43,10 ^{ab}	44,51 ^a	33,99 ^e	34,92 ^e	34,37 ^e
<i>A. erecta</i>	11,09 ^c	8,58 ^a	12,46 ^b	22,15 ^{de}	20,98 ^a	22,80 ^d	23,47 ^{cd}	22,17 ^{de}	21,34 ^e	23,49 ^{cd}	13,10 ^f	27,19 ^b
Media	47,88	42,76	47,08	42,35	45,28	45,30	44,40	44,30	44,29	41,00	46,66	48,13

Valores con letras iguales para una misma especie no difieren a un nivel de significación de 0,05

Análisis de los valores medios anuales de las variables tiempo de inflamación, duración de las llamas y duración de la combustión

Los valores medios anuales de las variables tiempo de inflamación,

duración de las llamas y duración de la combustión obtenidos para cada especie se muestran en la Tabla 6. Los resultados de las pruebas de Duncan y U de Mann-Whitney, se muestran también en esta Tabla.

Tabla 6. Valores medios anuales de las variables T_i , D_{II} y D_c

Especies	T_i	D_{II}	D_c
P. caribaea	12,78 ^b	15,30 ^a	40,74 ^c
M. apetala	8,67 ^{de}	9,25 ^c	39,57 ^c
B. virgata	7,44 ^{ef}	8,15 ^{cd}	42,41 ^c
B. crassifolia	8,74 ^{de}	11,76 ^b	49,23 ^b
C. hirta	6,62 ^t	13,85 ^a	51,03 ^b
R. correifolia	16,94 ^a	9,08 ^{cd}	75,63 ^a
O. wrightiana	10,57 ^{cd}	8,03 ^{cd}	37,92 ^c
A. erecta	11,62 ^{bc}	7,13 ^d	23,09 ^d

Valores con letras iguales para una misma especie no difieren a un nivel de significación de 0,05

T_i : tiempo de inflamación; D_{II} : duración de las llamas; D_c : duración de la combustión

Humedad de las muestras

La distribución anual de la humedad de las muestras sometidas a los ensayos se

muestra en la Tabla 7. De acuerdo con estos resultados, el mayor valor promedio de humedad lo presentó la especie R. correifolia.

Tabla 7. Distribución anual de la humedad de las muestras sometidas a los ensayos

Especies	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Noviembre	Diciembre	Media
P. caribaea	125,39	128,55	135,50	128,54	132,75	144,87	143,97	141,36	130,15	151,79	134,63	135,52	136,09
M. apetala	94,75	111,21	100,24	106,64	123,37	107,48	201,89	186,90	171,40	172,74	101,61	97,94	131,35
B. virgata	122,45	148,91	133,32	178,61	152,32	147,34	163,18	166,43	174,09	181,27	129,04	137,08	152,84
B. crassifolia	149,65	156,02	142,99	154,62	149,65	129,09	128,51	131,47	179,83	157,60	112,04	108,33	141,65
C. hirta	168,03	171,41	198,11	178,98	147,36	152,70	156,59	174,98	210,54	193,31	151,13	190,02	174,43
R. correifolia	203,76	173,59	202,63	187,75	172,50	207,44	193,35	211,78	273,39	265,88	183,61	209,41	207,09
O. wrightiana	151,78	128,43	83,31	141,15	122,53	174,69	123,72	140,15	165,33	160,21	123,51	136,29	137,59
A. erecta	168,60	135,32	106,30	82,85	166,26	132,09	191,51	209,14	244,64	259,76	166,52	197,80	174,23
Media	148,05	144,18	137,80	144,89	145,84	153,21	162,84	170,28	193,67	192,82	137,76	151,55	

Tiempo de inflamación, duración de las llamas y humedad de las muestras

Las variables T_i , D_{II} y contenido de humedad de las muestras se ajustaron a la distribución normal con $p=0,110$;

0,408 y 0,812 respectivamente. La variable D_c no se ajustó a esa distribución ($p=0,026$). El coeficiente de

correlación no paramétrico de Spearman, considerando una probabilidad de significación del 5 %, entre las variables Ti, Dll y Dc y entre ellas y el contenido de humedad de las muestras en el momento de los

ensayos, se muestra en la Tabla 8. Se observa que no existe correlación entre las variables Ti y Dc. No obstante, en el resto de los casos las correlaciones entre las variables son muy bajas.

Tabla 8. Correlación entre las variables Ti, Dll y Dc y la humedad de las muestras

Variab les	r	p
Tiempo de inflamación - Duración de las llamas	- 0,320	0,001
Tiempo de inflamación - Duración de la combustión	0,071	0,490
Tiempo de inflamación - Humedad de las muestras	0,369	0,000
Duración de las llamas - Duración de la combustión	0,389	0,000
Duración de las llamas - Humedad de las muestras	- 0,258	0,011
Duración de la combustión - Humedad de las muestras	0,282	0,005

Distribución anual de la inflamabilidad

La distribución anual de la inflamabilidad de las ocho especies estudiadas se muestra en la Tabla 9. Se puede observar que las especies *B. crassifolia* y *C. hirta* son extremadamente inflamables todo el año, mientras que *M. apetala* y *B. virgata* lo son casi todo el año. También se observa que *P. caribaea*, *O. wrightiana* y *A. erecta* son muy o extremadamente inflamables todo el año. *R. correifolia* por su parte, es moderadamente inflamable casi todo el año. En correspondencia con esto en el análisis de conglomerados que

muestra la figura 2 se observan tres grupos bien diferenciados.

Primero están *B. crassifolia* y *C. hirta*, similares a una distancia pequeña, después hay un segundo grupo que incluye al resto de las especies excepto *R. correifolia* que es diferente y forma el tercer grupo. Elvira y Hernando (1989) realizaron un estudio similar con especies vegetales del mediterráneo encontrando que unas eran muy inflamables durante casi todo el año, otras muy inflamables durante el verano, mientras que otras eran medianamente inflamables o poco inflamables.

Tabla 9. Distribución anual de la inflamabilidad por especie

Especies	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P. caribaea	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	5	5
M. apetala	5	5	5	5	5	5	5	4	2	5	5	5
B. virgata	5	5	5	5	5	5	5	4	4	2	5	5
B. crassifolia	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
C. hirta	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
R. correifolia	4	4	3	2	4	4	3	3	3	3	3	4
O. wrightiana	5	5	4	4	5	4	5	4	4	5	5	5
A. erecta	5	5	5	4	5	5	4	4	5	4	5	5

0 = Muy poco inflamable; 1 = Poco inflamable; 2 = Inflamable; 3 = Moderadamente inflamable; 4 = Muy inflamable; 5 = Extremadamente inflamable

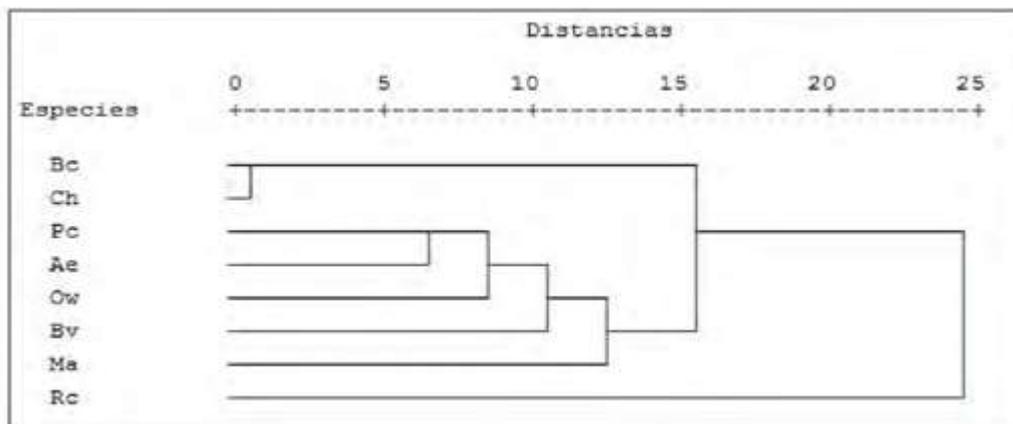


Fig. 2. Dendrograma sobre la inflamabilidad de las especies.

CONCLUSIONES

Los menores tiempos de inflamación promedio que se obtuvieron se corresponden con el período noviembre febrero, siendo la especie con menor valor promedio para esta variable durante el año la C. hirta. El mayor valor promedio se obtuvo para el caso de la R. correifolia.

El menor valor medio de duración de las llamas durante los ensayos de inflamabilidad se obtuvo para la A.

erecta y el mayor para el P. caribaea. Lo mismo ocurrió en el caso de la duración de la combustión.

Las especies B. crassifolia y C. hirta son extremadamente inflamables todo el año, mientras que M. apetala y B. virgata lo son casi todo el año. Por otra parte las especies P. caribaea, O. wrightiana y A. erecta son muy o extremadamente inflamables todo el año, mientras que la R. correifolia, es moderadamente inflamable casi todo el año.

RECOMENDACIONES

Que estos resultados se tomen en cuenta por los especialistas del Cuerpo de Guardabosques y por las Empresas Forestales con el fin de realizar actividades de prevención de incendios acordes a las condiciones de inflamabilidad de las especies vegetales estudiadas.

Motivar a estudiantes y profesores de la carrera a realizar estudios de inflamabilidad en otros ecosistemas forestales, debido a la importancia que estos poseen para las actividades de manejo del fuego.

Introducir los resultados obtenidos en la asignatura Manejo de Fuego y en los cursos de postgrado.

Utilizar este material como fuente bibliográfica de consulta para estudiantes de la carrera y para profesionales interesados en la materia tratada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARNALDOS VIGER, Josep et al. *Manual de ingeniería básica para la prevención y extinción de incendios forestales*. España: Ediciones Mundi-Prensa, 2004.

BATISTA, A. C. «Modelos de estimativa do comportamento do fogo.» *ANAIS. 1º. Seminario SulAmericano sobre Controle de Incendios Florestais e 5a. Reuniao Técnica Conjunta SIF/FUPEF/IPEF sobre controle de incendios florestais. Belo Horizonte* 1998.

BROWN, A.A.; DAVIS, K.P. *Forest fire: control and use*. New York: McGraw-Hill, 1973.

CIESLA, W.M. *Sostenibilidad de los bosques mediante su protección contra incendios, insectos y enfermedades*. Roma: Estudio FAO Montes, 1995.

ELVIRA, L.M.; HERNANDO, C. *Inflamabilidad y energía de las especies*

de sotobosque. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid. 1989. ISBN: 84-7498-341-X

HEIKKILÄ, T.V.; GRÖNOVIST, R. Y JURVÉLIUS, M. *Handbook on Forest Fire Control: A guide for trainers. 21*. Forestry Training Programme; Finland. National Board of Education, 1993.

HERNÁNDEZ, A. et-al. *Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de suelos*. MINAGRI. Ciudad de la Habana. 1999, ISBN: 959-246-022-1. 64 p.

LEÓN, H., y BRUDER, A. *Flora de Cuba*. La Habana: Ed.: Cultural, S.A, 1946, **I**, 442 p.

LEÓN, H., y BRUDER, A. *Flora de Cuba*. La Habana: Imp. P. Fernández y Cía, 1953, **III**, 504 p.

LEÓN, H., y BRUDER, A. *Flora de Cuba*. La Habana: Imp. P. Fernández y Cía, 1957, **V**, 556 p.

MARINO, E. et-al. Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: a comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire* [en línea]. 2010, mayo, **19**(3) 314-324 pp. ISSN: 1049-8001. Disponible en: <http://www.publish.csiro.au/wf/WF08123>

RAMÍREZ, J. *Incendios Forestales en Venezuela*. Venezuela, Instituto Forestal Latinoamericano, 1996.

RAMOS, M.P. *Manejo del Fuego*. La Habana, Cuba: Editorial Félix Varela, 2010.

RICO, F. *Los incendios forestales*. 1^{er} Congreso Iberoamericano aplicadas a la Gestión sobre técnicas de emergencias para la reducción de desastres naturales. [en línea]. Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/pdf/spa/doc4982/doc4982-contenido.pdf>

SALAS, F.J. y CHUVIECO, E. Aplicación de imágenes Landsat - TM a la cartografía de modelos combustibles. *Revista de Teledetección* [en línea]. 1995, diciembre, **5**, 18 - 28 pp. ISSN: 1133-0953. Disponible en: <http://www.aet.org.es/?q=revista5-3>

SAMEK, V. y DEL RISCO, E. *Los pinares de la provincia de pinar del Río, Cuba. Estudio sinecológico*. La Habana, Cuba: Editorial Academia, 1989.

SOARES, R.V. *Incêndios Florestais. Controle e uso do Fogo*. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 1985.

SOLÓRZANO, C.F. *Manual de Prevención y Combate de Incendios Forestales*. Venezuela: Ministerio de Agricultura y Cría, 1958.

WADSWORTH, F.H. *Producción Forestal para América Tropical*. Departamento de Agricultura de los EE. UU., Servicio Forestal, 2000.

Fernando Jaime Mesa. Estudiante de Ingeniería Forestal Quinto Año. Universidad de Pinar del Río "Hnos Saíz Montes de Oca". Cuba.
