

EFECTOS DE LA APLICACION DE CINCO TRATAMIENTOS IGNIFUGANTES SOBRE LA COMBUSTIBILIDAD DE LAS MADERAS DE ACEITE MARIA, CEDRO MACHO, GÜINO Y SAJO ¹

Palabras clave: Tratamientos ignifugantes, combustibilidad, madera, *Calophyllum mariae*, *Tapirira myriantha*, *Carapa guianensis*, *Camnosperma panamensis*

William Klinger Brahan²
Andrea Bohórquez Beltrán³
Nelida Faride Torres Ramírez³

INTRODUCCION

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas, en el cumplimiento de su misión de ofrecer una educación superior integral al servicio público, que promueva el conocimiento social y la investigación, enmarcado dentro de los recursos naturales, ha desarrollado mediante su centro de investigaciones áreas que incluyen la participación activa de la comunidad estudiantil; bajo la orientación de personal idóneo con amplia experiencia en campos diversos. Es así, como la tecnología de maderas conforma una de estas áreas, en donde surgen proyectos que posteriormente se desarrollaron como investigaciones relacionadas con el tratamiento y manejo de los recursos naturales maderables y otros productos del bosque.

En el caso de la madera, ésta ha sido un material indispensable en el desarrollo de la industria nacional fundamentalmente en la construcción, debido a que posee características que la hacen ventajosa en comparación con otros materiales comúnmente utilizados como el acero y el hormigón. Sin embargo, su utilización en el país se ha reducido, principalmente por el desconocimiento de sus excelentes características y por una pérdida de credibilidad en el material que ha tenido su origen en el mal manejo de desventajas naturales como son su biodegradabilidad y su combustibilidad. Por lo tanto, se hace necesario investigar sobre nuevas soluciones que intenten corre-

gir las desventajas de la madera como material de construcción y contribuyan a implementar su utilización masiva en esta industria; algunas de estas soluciones corresponden a los agentes ignífugos, que pueden cumplir con el fin de mejorar el comportamiento que tiene la madera ante la acción del fuego.

La presente investigación, se origina debido a la necesidad de establecer los efectos de la aplicación de cinco tratamientos ignifugantes sobre la combustibilidad de las maderas de Aceite maría (*Calophyllum mariae*), Cedro macho (*Tapirira myriantha*), Güino (*Carapa guianensis*) y Sajo (*Camnosperma panamensis*), con el fin de dar mayor utilización a éstas, en el área de la construcción y reducir así sus limitantes. Se plantea por lo tanto, el uso de ignífugos con distintas formulaciones, utilizando concentraciones químicas que incluyen una mayor proporción de Cloruro de Zinc, además de contemplar el trabajo con otras sustancias que no han sido objeto de estudios anteriores, y que han sido seleccionadas por su reconocimiento internacional como retardantes del fuego, por su facilidad de consecución en el mercado local, por el bajo costo que se requiere para su adquisición y por la sencillez de su preparación.

El proyecto presentó varias fases: Trabajo de campo, pruebas de laboratorio y trabajo de oficina. Estas labores se iniciaron aproximadamente en febrero de 2000 con la selección de las especies.

¹ Proyecto financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

² Ingeniero Forestal. Profesor titular de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

³ Ingeniera Forestal de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

La madera de éstas fue sometida a procesos de conversión hasta unidades experimentales denominadas probetas, para las que se realizó una codificación en donde se tienen en cuenta los tratamientos y el número asignado a cada una de las especies, posteriormente se llevaron a cabo procesos de aclimatación, aplicación de ignífugos por el método de inmersión en agua fría, reaclimatación, incineración y análisis de las variables de combustibilidad obtenidas. El proceso completo tardó aproximadamente 18 meses y fue financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Esta investigación arrojó un mejor comportamiento ante el fuego en la especie cedro macho, en contraste con el sajo, que expresó los resultados menos favorables. El segundo y tercer lugar de acuerdo al mejor comportamiento combustible, lo ocupan las maderas de aceite maría y güino, respectivamente. Al aplicar los ignífugos, se encontró que la madera de aceite maría fue la más afectada por los tratamientos, especialmente por el 3 y el 5; la madera de cedro macho no se ve afectada por estos y que prácticamente todos los tratamientos son efectivos para reducir el tiempo de extinción de la llama en las maderas de güino y sajo, además, las diferencias significativas se expresaron solo en la variable tiempo de extinción de la llama, y según las comparaciones entre los tratamientos la madera de aceite maría resultó ser la más susceptible para el tratamiento 2, 3, 4 y 5. En segundo lugar éstos tratamientos afectaron en forma favorable la madera de güino y en último la madera de sajo, debido a que expresó las cifras más bajas del análisis de significancia. En cuanto a la aplicación de los tratamientos en general, la madera de cedro macho fue la de menor susceptibilidad.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto que sobre la combustibilidad de las maderas de Aceite maría (*Calophyllum mariae*), Cedro Macho (*Tapirira myriantha*), Güino

(*Carapa guianensis*) y Sajó (*Camnosperma panamensis*), tiene el tratamiento ignífugante con las cinco siguientes formulas de retardantes del fuego:

- * Carbonato de potasio (20%), cloruro de calcio (30%) y cloruro de zinc (50%)
- * Bromuro de potasio (20%), cloruro de calcio (13%) y fosfato trisódico (67%)
- * Cloruro de amonio (21%), cloruro de zinc (59%) y sulfato de amonio (20%)
- * Ácido fosfórico (25%), carbonato de potasio (55%) y cloruro de calcio (20%)
- * Bromuro de potasio (30%), carbonato de potasio (60%) y sulfato de amonio (10%).

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- * Comparar la velocidad de combustión, la pérdida porcentual de peso y el tiempo de extinción de la llama de las maderas de Aceite maría, Cedro Macho, Güino y Sajó, cuando son sometidas a la acción del fuego sin ninguna clase de tratamiento previo, y cuando mediante el método de inmersión, son tratadas con cada uno de los ignífugos relacionados en el objetivo general.
- * Comparar el comportamiento combustible de las maderas objeto de estudio (testigos entre sí), y el efecto de los cinco ignífugos sobre el comportamiento ante el fuego de cada una de ellas.
- * Determinar la efectividad de los 5 ignífugos en cada una de las maderas y comparar dicha efectividad entre las diferentes maderas.

MARCO TEORICO

ANTECEDENTES

Existen algunos autores e instituciones que han dedicado esfuerzos para la realización de investigaciones y desarrollo de proyectos relacionados con tratamientos ignífugantes aplicados a la madera.

En 1988, Winandy, *et al.*, realizaron una investigación llamada «Efectos de los tratamientos retardantes del fuego y resecado sobre las

propiedades mecánicas de contrachapados de abeto Douglas y de álamo». Pretendió determinar efectos de varios tratamientos de retardantes del fuego y regímenes de secado en las propiedades de flexión y cizallamiento horizontal de contrachapados de uso exterior de dos especies.

Además existen algunas investigaciones recientes que se relacionan en forma directa con el tema del presente proyecto y han sido desarrolladas principalmente por el Centro de Investigaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y dirigidas por el Ingeniero Forestal William Klinger Brahan.

Estas investigaciones, fueron desarrolladas entre 1998 y 2000 con madera de las especies almendro (*Dypterix panamensis*), abarco (*Cariania pyriformis*), chingalé (*Jacaranda copaia*), otobo (*Dialyanthera otoba*) y zapato, (*Basiloxylum zapato*). El primer proyecto se elaboró en 1998 con la colaboración de Cardoso y Álvarez en calidad de auxiliares de investigación, y se titula «Incidencia del método de aplicación de ignífugos en el comportamiento ante el fuego de cinco maderas colombianas»; el segundo proyecto se llevó a cabo en 1999 con la colaboración de Benavides y Zambrano, en calidad de auxiliares de investigación, y lleva el título de «Incidencia del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas»

El tercer proyecto desarrollado en 2000 por **Klinger, et al. (2000)**, y fue titulado «Incidencia del tratamiento con tres formulaciones de ignífugos en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas» empleó tres formulaciones de ignífugos en concentraciones de 70%, 20% y 10%, compuestas por: sulfato de amonio, bórax, dicromato de sodio; sulfato de amonio, bórax, ácido bórico y sulfato de amonio, bórax, cloruro de zinc, respectivamente. Las variables evaluadas correspondieron a la pérdida porcentual de peso, el tiempo de extinción de la llama y la velocidad de carbonización, determinando una estrecha correlación entre el

efecto que las distintas formulaciones tienen sobre el comportamiento combustible de las maderas y el grupo al cual esta pertenece, sin embargo, las maderas de mayor densidad no merecen ser tratadas ya que es claramente desfavorable el efecto de los ignífugos sobre su comportamiento ante el fuego.

MARCO CONCEPTUAL

Los conceptos básicos a tener en cuenta en la presente investigación corresponden a: la Combustión en la madera, cuando una madera se calienta, el calor es absorbido rápidamente por la misma, debido a la reacción endotérmica que se produce en ella, comenzando el proceso de la pirólisis, la cual se inicia cuando un pedazo de madera es calentado sin contacto con el aire, se desarrollan zonas paralelamente a la superficie de absorción de calor, delimitadas por la temperatura lograda en el exterior (Bourne, 1958), de tal forma que eleva la temperatura hasta alcanzar el punto de ignición (275°C, según la Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). Para que el fuego se extienda y pueda avanzar a través de una estructura deben existir los siguientes elementos (**Klinger, 1999**): Una fuente de calor que sea capaz de encender los vapores inflamables, una reflexión de calor que sea tan intensa como para crear vapores inflamables en el área de combustión, un combustible y oxígeno.

Los factores que intervienen en la combustión de la madera son el tamaño de la muestra, la velocidad de pérdida de calor desde la superficie hacia el interior de la muestra, la velocidad de suministro de calor a la madera y la presencia de bordes pronunciados; dichos factores componen una resistencia mecánica inicial al fuego. Sin embargo, los factores más relevantes que influyen en la combustión de la madera corresponden al contenido de humedad, el peso específico aparente, el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras (**Klinger, 1994**), la sección geométrica de la madera (**Delgado, 1975**) y las condiciones físicas y fitosanitarias.

Para cuantificar con exactitud los efectos de la acción del fuego en la madera, es necesario definir ciertos indicadores que permitirán llevar a cabo un análisis preciso, mediante las variables velocidad de Combustión (VC), pérdida porcentual de peso (PPP), y tiempo de extinción de la llama (TE).

ASPECTOS METODOLOGICOS

La metodología empleada para la presente investigación se llevó a cabo en primer lugar, teniendo en cuenta la selección de las especies, con base en investigaciones anteriores que determinaron resultados favorables de la ignifugación

sobre maderas que no tienen muy alta densidad. Esta madera provenía del departamento del Chocó y correspondía a las especies de aceite maría, cedro macho, güino y sajo. Luego del trabajo de campo, la madera se ubicó en las instalaciones de la Universidad Distrital, se sometió a procesos de conversión, en bloques y fue codificada para ser diferenciada fácilmente a nivel macroscópico. Estos bloques fueron seccionados nuevamente en unidades experimentales con dimensiones de 15 cm de longitud, 5 cm de base y 5 cm de altura, denominadas probetas. 60 de estas probetas fueron elaboradas por cada especie evaluada, para un total de 240.



Fotografía 1. Bloques de madera



Fotografía 2. Elaboración de probetas

Debido a la cantidad de material y para evitar posibles confusiones en los procesos de aclimatación y reaclimatación de la probetería, aplicación de ignífugos y pruebas de combustibilidad, se llevó a cabo una codificación para las probetas, en donde tuvieron en cuenta los tratamientos y el número asignado a cada una de ellas. El número correspondiente a cada tratamiento varió de T0 a T5,4 y el número de probetas varió de P1 a P10.

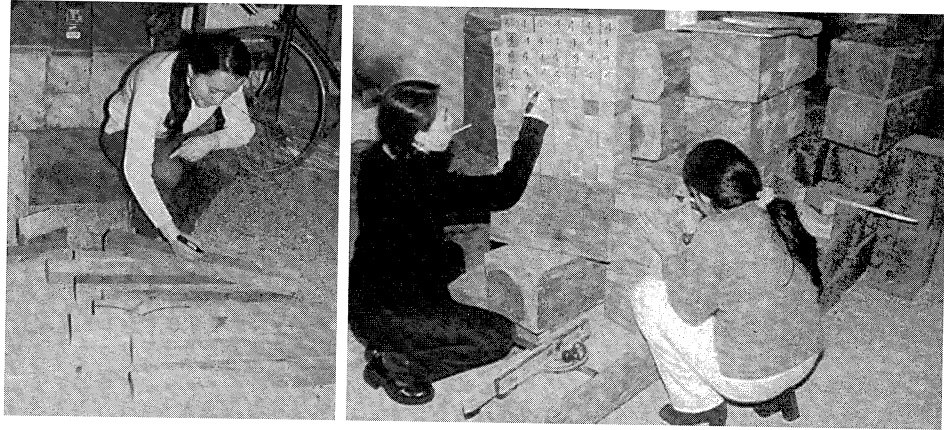
Posteriormente, las probetas se sometieron a condiciones controladas de humedad relativa de 48% y temperatura de 30°C, este proceso se conoce como aclimatación de la probetería y tardó un tiempo aproximado de 20 días.

Al mismo tiempo, en el laboratorio de maderas se realizaron 13 pruebas de solubilidad corres-

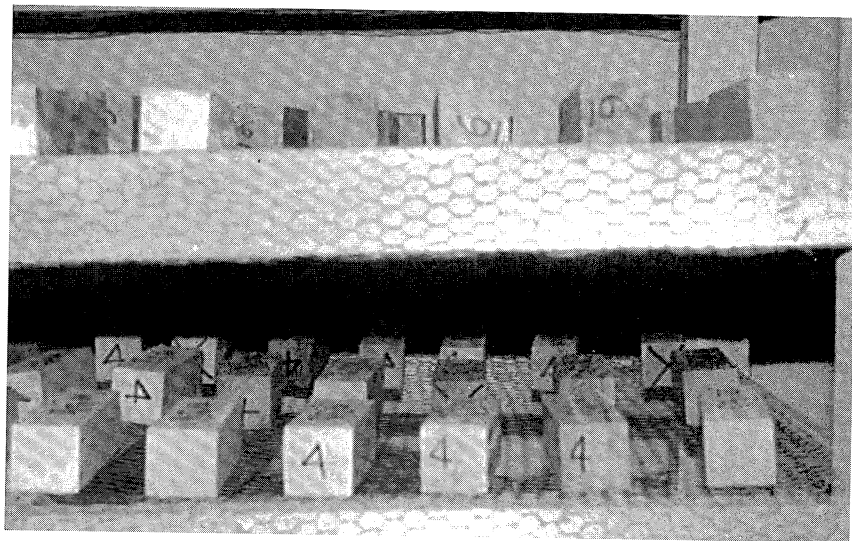
pondientes a cada uno de las sustancias químicas previamente elegidas, con el fin de observar la velocidad y grado de disolución en agua.

Adicionalmente, se determinaron las proporciones adecuadas tanto de agua como de sustancia química que permitieran arrojar datos más acertados sobre los aspectos a evaluar, para la conformación de los 5 ignífugos, se seleccionaron las 8 sustancias químicas que presentaron las mejores características de solubilidad y estos fueron: ácido fosfórico, bromuro de potasio, carbonato de potasio, cloruro de amonio, cloruro de calcio, cloruro de zinc, fosfato trisódico y sulfato de amonio.

⁴ T0 corresponde al tratamiento testigo. T1 a T5 son los tratamientos ignífugos evaluados sobre las maderas. Efectos de la aplicación de cinco tratamientos ignífugantes sobre la combustibilidad de las maderas de Aceite maría, Cedro macho, Güino y Sajo

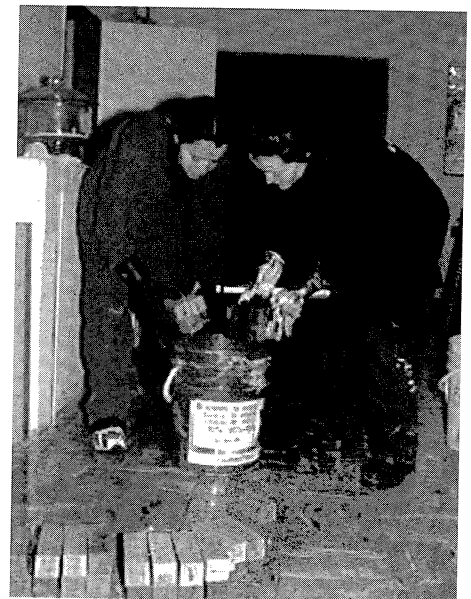


Fotografía 3 y 4. Codificación de la probetería.



Fotografía 5. Aclimatación de la probetería

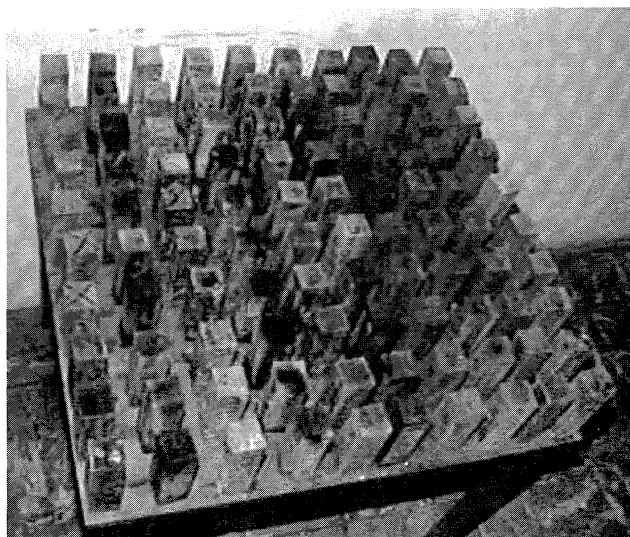
La preparación de los ignífugos se llevó a cabo en dos etapas. En la primera, para cada uno de los cinco tratamientos se emplearon 1500 gr. de sustancias químicas por 7.5 litros de agua (con una proporción de 1:5 respectivamente) para 20 probetas contenidas en el mismo recipiente; correspondientes a las especies Aceite María (Número 4) y Sajo (Número 6). La segunda etapa de la preparación de los tratamientos ignífugantes se realizó con las mismas condiciones para las probetas de las especies restantes: Güino (Número 8) y Cedro Macho (Número 0).



Fotografía 6. Aplicación de Ignífugos

Después de la preparación de las sustancias, se empleó el método de inmersión total de las probetas dentro de cada tratamiento ignífugo en agua fría; en cada recipiente se depositaron 20 probetas de cada especie según la etapa correspondiente; durante tres semanas se removieron diariamente los tratamientos y se cambió la distribución y posición de las probetas para lograr una mayor efectividad en el

proceso. Posteriormente las probetas se sometieron a un proceso de limpieza manual para eliminar los residuos de ignífugo, se llevaron al cuarto climático para alcanzar el equilibrio climático la estabilidad en condiciones controladas y fueron pesadas periódicamente con el fin de establecer las condiciones de estabilidad requeridas para iniciar el proceso de combustión.



Fotografía 7. Probetas luego del proceso de limpieza manual

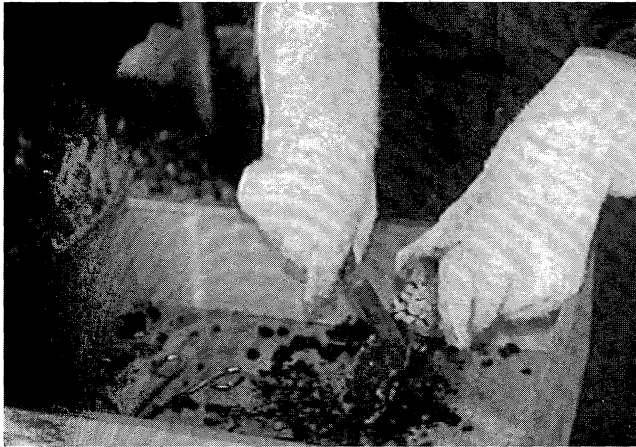
Luego de haber alcanzado la humedad de equilibrio en el cuarto climático, las probetas se sometieron a mediciones de contenido de humedad, peso y dimensiones; luego, se trasladaron al horno con el fin de ser quemadas. Allí, se dispusieron frontalmente por su cara tangencial a una distancia de la llama previamente establecida, durante 300 segundos se expusieron a la acción directa del fuego con una intensidad homogénea de la misma, posteriormente se cerró la válvula abastecedora del combustible con el fin de permitir la extinción de la llama.

Luego de todo este proceso, se midieron parámetros físicos de las maderas como son: contenido de humedad antes y después de la combustión, peso húmedo antes y después de la combustión, peso anhidro antes y después de la combustión, dimensiones de la probeta antes y después de la combustión y las variables indicadoras de la combustibilidad como son: la pérdida porcentual de peso, la velocidad de carbonización y el tiempo de extinción de la llama. **Ver Tabla 1.**

TABLA 1. Obtención de Variables Indirectas

VARIABLE	FORMULA
Peso anhidro antes y después de la combustión (gr)	$Po = Ph / [1 + (CH/100)]$
Pérdida Porcentual de Peso (%)	$PPP = [(Po a - Po d) / Po a] * 100$
Velocidad de Carbonización (mm/seg)	$VC = DC / 300 \text{ seg.}$

* Po a: Peso anhidro antes de la combustión
Po d: Peso anhidro después de la combustión
DC: Dimensión carbonizada



Fotografía 8. Proceso de incineración de la madera

Las pruebas estadísticas empleadas para determinar si eran válidos o no los resultados obtenidos fueron las pruebas de significancia para la cual se calculan las medias poblacionales y la desviación estándar de los indicadores de combustibilidad (pérdida porcentual de peso, tiempo de extinción de la llama y velocidad de carbonización). Esta prueba tiene una probabilidad

del 95%. Cuando el valor de Z de cada comparación estaba fuera del rango de -1.96 a +1.96 la prueba se estableció como significativa; cuando el valor de Z se encontraba dentro del rango mencionado las pruebas se suponían no significativas.

La fórmula empleada para los cálculos de significancia es la siguiente:

$$Z = \frac{X_1 - X_2}{\sqrt{[(S_1^2/N_1) + (S_2^2/N_2)]}}$$

Z = Diferencia de medias poblacionales

X₁ = Media de la población 1

X₂ = Media de la población 2

S₁ = Desviación estándar de la población 1

S₂ = Desviación estándar de la población 2

N₁ = Tamaño de la muestra de la población 1

N₂ = Tamaño de la muestra de la población 2

TABLA 2. Valores promedio de las variables de combustibilidad de las maderas en estudio

INDICADOR DE COMUSTIBILIDAD	TRATAMIENTO	ESPECIE			
		ACEITE MARIA	CEDRO MACHO	GUINO	SAJO
PPP (%)	T0	64,37	58,37	66,16	86,03
TE (seg.)	T0	208,32	170,12	405,54	582,59
VC (mm/seg.)	T0	0,0443	0,0279	0,0605	0,1107

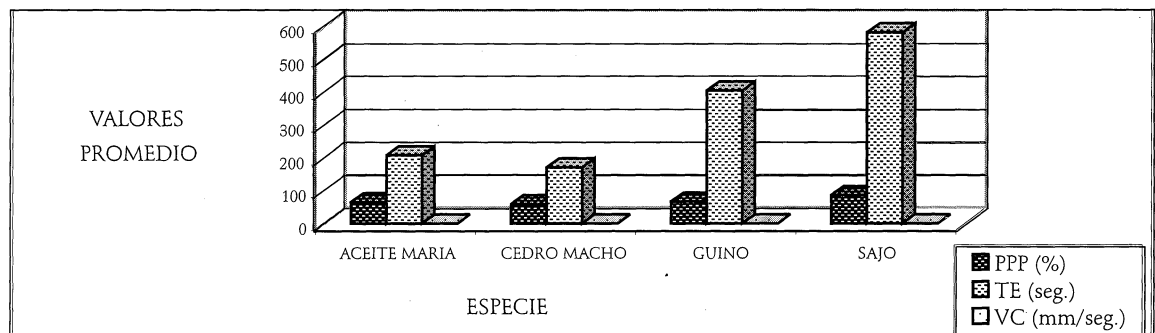


FIGURA 1. Combustibilidad de las maderas en estudio (pruebas de testigos)

TABLA 3. Pruebas de significancia para comparación de testigos entre especies

VARIABLE ESPECIE	Pérdida Porcentual de Peso (%)	Tiempo de Extinción de la llama (seg.)	Velocidad de Carbonización (mm/seg.)
Aceite maría / cedro macho	2.77	1.45	3.26
Aceite maría / güino	-0.29	-1.78	-0.96
Aceite maría / sajo	-3.78	-4.02	-3.39
Cedro macho / güino	-1.32	-2.17	-1.92
Cedro macho / sajo	-4.96	-4.55	-4.21
Güino / sajo	-2.50	-1.26	-1.98

RESULTADOS

Como resultado de esta investigación se encontró a nivel general que cuando las maderas no tienen tratamiento alguno la especie cedro macho expresó los mejores resultados, en contraste con el sajo, que se puede presentar como la menos favorable. El segundo y tercer lugar de acuerdo al mejor comportamiento combustible, lo ocupan las maderas de aceite maría y güino, respectivamente. **Ver Tabla 2 y Figura 1.**

La madera de aceite maría fue la más afectada por los tratamientos, especialmente por el 3 y el 5, que están compuestos por: cloruro de amonio

(21%), cloruro de zinc (59%) y sulfato de amonio (20%); bromuro de potasio (30%), carbonato de potasio(60%) y sulfato de amonio (10%), respectivamente, los resultados demostraron además que el cedro macho no se ve afectado por los tratamientos y que prácticamente todos los tratamientos son efectivos para reducir el tiempo de extinción de la llama en las maderas de güino y sajo, además, las diferencias significativas se expresaron solo en el tiempo de extinción de la llama. Referirse a las **Tablas 4 y 5** y anexos A, B y C

TABLA 4. Valores de las pruebas de significancia entre tratamientos

	VARIABLES DE COMBUSTIBILIDAD		
	PPP (%)	TE (Seg.)	VC (mm/seg.)
T0-T1	-2,21	2,36	-2,00
T0-T2	0,83	5,13	-0,03
T0-T3	2,41	2,69	0,92
T0-T4	-0,48	7,33	-0,25
T0-T5	0,83	4,32	1,98
T1-T2	2,40	3,08	1,56
T1-T3	3,45	0,21	2,35
T1-T4	1,06	6,05	1,54
T1-T5	2,61	2,29	2,70
T2-T3	0,68	-3,42	0,39
T2-T4	-0,92	6,54	-0,15
T2-T5	-0,30	-0,26	0,79
T3-T4	-1,52	7,21	-0,69
T3-T5	-1,49	2,34	1,39
T4-T5	0,83	-3,33	1,16

TABLA 5. Valores promedio de las variables de combustibilidad

INDICADOR DE COMBUSTIBILIDAD	VALOR MEDIO	ESPECIE			
		ACEITE MARIA	CEDRO MACHO	GUINO	SAJO
PPP	T0	64,37	58,37	66,16	86,03
	T1	75,47	58,44	61,96	74,80
	T2	60,76	79,94	94,11	90,55
	T3	57,72	68,31	54,26	79,68
	T4	67,36	71,78	67,55	94,22
	T5	62,09	77,57	78,88	96,89
TE	T0	208,32	170,12	405,54	582,59
	T1	138,06	53,96	93,54	81,84
	T2	79,71	126,82	532,19	306,74
	T3	133,42	149,74	57,20	66,76
	T4	31,67	61,36	59,34	254,23
	T5	84,23	165,35	166,19	211,79
VC	T0	0,0443	0,0279	0,0605	0,1107
	T1	0,0681	0,0408	0,0487	0,0712
	T2	0,0446	0,0686	0,1095	0,1128
	T3	0,0407	0,0489	0,0386	0,0754
	T4	0,0465	0,0637	0,0396	0,1190
	T5	0,0368	0,0602	0,0663	0,1456

Según estas comparaciones, ante la aplicación de los tratamientos 2, 3, 4 y 5, la madera de aceite maría reaccionó positivamente y resultó ser la más susceptible, contraria a cedro macho que fue la de menor susceptibilidad.; los tratamientos 1, 3, 4 y 5 afectaron en forma favorable la madera de güino, demostrando una alta susceptibilidad a estos y el último lugar de afectación de los cinco tratamientos corresponde a la madera de sajo.

CONCLUSIONES

* La reconocida heterogeneidad de las maderas se hace expresamente manifiesta cuando se analiza su comportamiento ante el fuego, las especies aceite maría, cedro macho, güino y sajo presentan valores de densidades disímiles, lo que se traduce también en una combustibilidad diferente entre estas maderas. Sin embargo, a diferencia de lo reportado en otras investigaciones, en este estudio se establece que a una alta densidad de la madera no siempre se encuentra asociado un mejor comportamiento combustible, y que variables como la pre-

sencia de extractivos y el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras tienen una más estrecha correlación con la combustibilidad de las maderas que la densidad.

* El análisis del comportamiento que ante el fuego tienen las maderas de aceite maría, cedro macho, güino y sajo, muestra una absoluta coherencia entre las diferentes variables empleadas para su medición, es decir, la expresión del mejor comportamiento combustible se hace manifiesta simultáneamente en la pérdida porcentual de peso, el tiempo de extinción de la llama y la velocidad de carbonización, lo que no deja dudas acerca de una conclusión que pretenda establecer, cuál de las maderas estudiadas se comporta mejor ante la acción del fuego, lo que sí ocurría en otros estudios en los cuales se encontraba que una madera sólo era mejor que otra para ciertas variables indicadoras de combustibilidad.

* La comparación estadística del comportamiento combustible de las maderas estudiadas, permitió el hallazgo de diferencias altamente significativas entre algunas de ellas. Si se anali-

zan cada una de las variables indicadoras de combustibilidad se puede establecer el orden que de mejor a peor tienen las maderas según su comportamiento ante el fuego, así, cedro macho, aceite maría, güino y sajo, hecho que se corrobora en los altos valores de significancia arrojados por la comparación de las maderas de cedro macho y sajo. Los valores obtenidos en las variables permiten aseverar, que la importancia de éstas como indicadoras de combustibilidad en la madera, se puede ordenar estrictamente como sigue, pérdida porcentual de peso, tiempo de extinción de la llama y velocidad de carbonización.

* La diferencia de composición y estructura que existe entre las maderas y entre las formulaciones de ignífugos no permite encontrar un tratamiento retardante del fuego que resulte efectivo para todas las maderas, ni siquiera para todas las variables indicadoras de combustibilidad en una misma especie. En la madera de aceite maría se pueden reducir significativamente, la pérdida porcentual de peso, el tiempo de extinción de la llama y la velocidad de carbonización, pero esto se logra con tres tratamientos distintos T3, T4 y T5 respectivamente, situación que obliga a pensar en encontrar una formulación que con base en la composición de estos tres ignífugos, conforme una, que por sí sola resulte efectiva para todas las variables indicadoras de combustibilidad en esta madera, para lo cual, por resultados de estudios anteriores y de este mismo, hay que tener presente al sulfato de amonio.

* En las maderas de cedro macho, güino y sajo aunque varios tratamientos resultan mejores que el testigo, sólo se logran diferencias significativas para la variable tiempo de extinción de la llama, en todos los casos al aplicar el tratamiento 3 (cloruro de amonio 21%, cloruro de zinc 59% y sulfato de amonio 20%). Estos datos no sólo permiten concluir que el tratamiento 3 resulta el mejor de todos en el propósito de reducir la combustibilidad de las

maderas y garantizar un buen comportamiento ante la acción de fuego, sino también, que la presencia del sulfato de amonio en las formulaciones, seguramente tiene gran incidencia en el logro de estos resultados. Adicionalmente la presencia de carbonato de potasio en los tratamientos 1 y 4, los cuales resultan con algún grado de efectividad en las maderas de sajo y güino respectivamente, hacen mirar con optimismo una formulación que tenga en cuenta a esta sustancia en su composición química.

* La presencia de sustancias extractivas en los poros de la madera de cedro macho reduce sustancialmente su contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras e impide el paso de los ignífugos hacia el interior de la madera, lo que explica, por una parte, el mejor comportamiento combustible de esta madera, y por la otra, el poco efecto que los tratamientos ejercen sobre su comportamiento ante la acción del fuego. En cambio, los altos valores de humedad de saturación que tiene la madera de aceite maría, explica de alguna manera el gran impacto que tiene la aplicación de los ignífugos sobre la combustibilidad de esta madera y su relativo mal comportamiento combustible.

RECOMENDACIONES

* Se recomienda la realización de investigaciones futuras que intenten reducir la combustibilidad de las maderas colombianas, utilizando para ello una formulación de ignífugo que contemple la presencia del carbonato de potasio y el sulfato de amonio. También se sugiere probar el efecto del cloruro de zinc, ya que aunque no se tiene mucha claridad de su intervención en los relativamente buenos resultados arrojados por el tratamiento 1, el hecho de participar en un alto porcentaje en la composición de este ignífugo, hace válido el análisis más profundo de su efecto retardante del fuego.

* Se recomienda realizar investigaciones minuciosas sobre las composiciones químicas del

tratamiento 5, junto con el efecto que tiene éste sobre las propiedades físico mecánicas de la madera, debido a que dicho tratamiento combinado con altas temperaturas, induce deformaciones en las probetas de todas las maderas estudiadas, especialmente en las menos resistentes y más elásticas; hecho que podría generarles problemas de tipo estructural.

BIBLIOGRAFIA

DELGADO M., Gustavo A. 1975. Propiedades de la madera. Universidad de los Andes Facultad de ciencias forestales. Escuela de ingeniería forestal. Mérida Venezuela.

JUNAC. 1984. Junta Del Acuerdo De Cartagena. Proyectos andinos de desarrollo tecnológico en el área de los recursos forestales tropicales. PADT-REFORT. Lima, Perú.

KLINGER BRAHAN, William, 1994. Una revisión conceptual a los contenidos de humedad de equilibrio y en la zona de saturación de las fibras. Implicaciones y tendencias. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.

KLINGER BRAHAN, WILLIAM; CARDO-SO, LUIS E. Y ALVAREZ O., CARLOS E. 1998. Incidencia del método de aplicación de ignífugos en el comportamiento ante el fuego de 5 maderas colombianas. Bogotá, Colombia. Universidad Distrital.

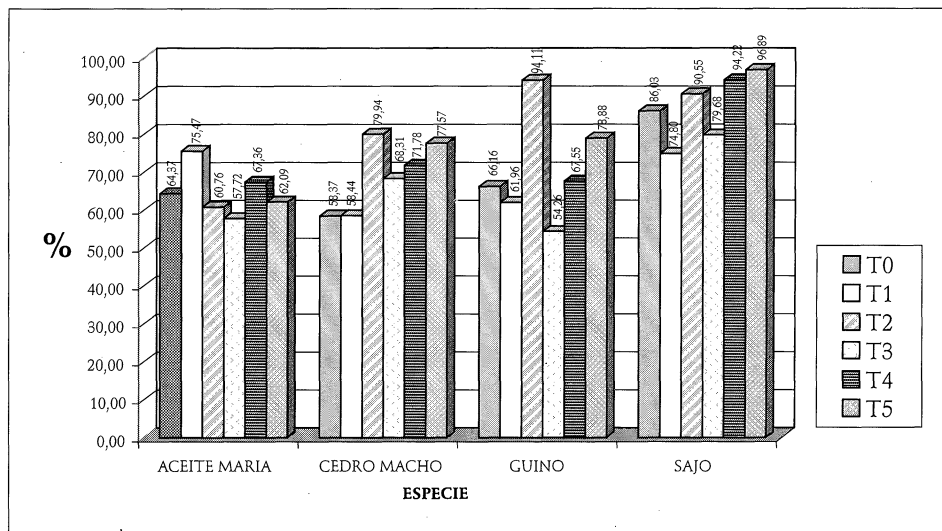
KLINGER BRAHAN, William; BENAVIDES PACHECO, Carlos Mauricio Y ZAMBRANO GUERRERO, Manuel Antonio. 1999. Incidencia del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas. Universidad Distrital. Bogotá, Colombia.

KLINGER BRAHAN, William; HURTADO, Martha Nayibe Y PUENTES G., Margot. 2000. Incidencia del tratamiento con tres formulaciones de ignífugos en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas. Universidad Distrital. Bogotá, Colombia.

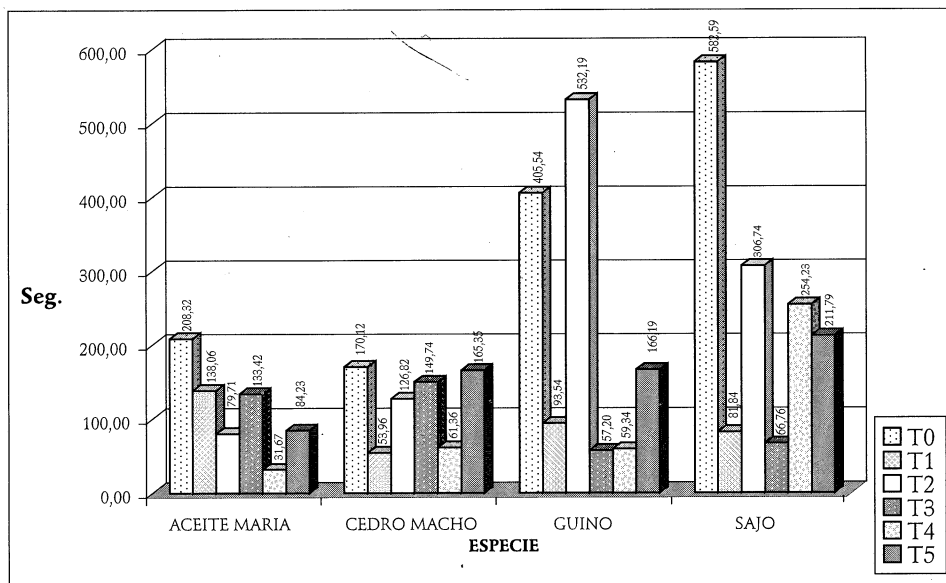
WINANDY, J.E., LEVAN S.L., SCHAFFER E.L. 1988. Effect of FIRE retardant treatment and redrying on the mechanical properties of douglas-fir and aspen plywood. Forest products laboratory. Madison, Winsconsin.

ANEXOS

ANEXO A. Valores promedio de pérdida porcentual de peso para aceita maría, cedro macho, güino y sajo.



ANEXO B. Valores promedio de tiempo de extinción de la llama para aceite maría, cedro macho, güino y sajo.



ANEXO C. Valores promedio de velocidad de carbonización para aceite maría, cedro macho, güino y sajo.

