

# EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE IGNÍFUGOS EN EL COMPORTAMIENTO COMBUSTIBLE DE LAS MADERAS DE CHANUL, MACHARE, PANTANO Y NÍSPERO <sup>1</sup>

**Palabras clave:** Aplicación ignífugos, combustibilidad de la madera, comportamiento ante el fuego.

**Key Words:** Retardants application, Wood Combustibility, Fire performance .

*William Klínger Brahan<sup>2</sup>  
Myriam Patricia Cortés García<sup>3</sup>  
John González Farías<sup>3</sup>*

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el fin de encontrar evidencias empíricas que confirmaran los hallazgos de investigaciones anteriores, en cuanto a la fuerte incidencia del contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras sobre el comportamiento combustible de la madera, inclusive por encima de parámetros tan utilizados como la densidad, así como al poco o nulo efecto que ejercían los ignífugos sobre la combustibilidad de maderas pesadas, semiduras y livianas y la gran efectividad sobre maderas. Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que a pesar de la mayor densidad que presentan las maderas de nispero y chanul, en comparación con la de machare, esta presenta menores valores de pérdida de peso y menores tiempos de extinción de la llama cuando se la expone al fuego, lo cual se explica porque posee menores valores de contenido de humedad en el punto de saturación de las fibras, contrario a lo que se esperaba que ocurriese si se pensara en su menor valor de densidad. De igual manera, los resultados muestran que sobre maderas tan duras como el nispero, la aplicación de los ignífugos no tiene efectos significativos sobre su combustibilidad, situación que sugiere la búsqueda de alternativas de manejo y protección de estas maderas contra el fuego, que se sustenten en parámetros físicos y no en tratamientos químicos.

## ABSTRACT

The goal of this project was to find empirical evidence in order to confirm former results about the strong incidence of moisture content up to fiber saturation point on the wood combustibility, even above density, one of the most used parameters; and also the low or null effect of fire retardants on the combustibility of hard woods, contrary to its effectiveness on light and almost-hard woods. The results showed that although the nispero and chanul woods had a higher density than the machare wood, when exposed to fire, the last one showed the lowest loss of weight and extinction times. This was explained because of the lower values of moisture content up to fiber saturation point of the machare wood, contrary to the expected performance if its low density was considered. The results showed that the application of fire retardants had no significant effects on combustibility of hard woods such as nispero, suggesting additional alternatives of management and protection of these woods against fire taking into account physical rather than chemical parameters.

## INTRODUCCIÓN

La combustibilidad de la madera es uno de los aspectos que más influye negativamente a la hora de elegirla como material de construcción, debido a la asociación directa que se hace de esta con

<sup>1</sup> Proyecto de Investigación financiado por el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital.

<sup>2</sup> Ingeniero Forestal M. Sc., Profesor Titular de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital.

<sup>3</sup> Auxiliares de investigación del Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

el riesgo de incendio, desconociendo así sus bondades como elemento estructural.

En la presente investigación se evaluó el comportamiento ante el fuego de cuatro maderas comerciales de alta densidad y medianos contenidos de humedad en la zona de saturación de las fibras, mediante la aplicación de cinco formulaciones de ignífugos por el método de inmersión. Para ello se expusieron al fuego, en un incinerador cuya fuente de llama es gas propano, probetas de madera tratadas previamente con las sustancias y secadas en un cuarto climático, para evaluar la afectación de las variables: pérdida porcentual de peso, tiempo de extinción de la llama y velocidad de carbonización.

Este estudio comenzó en abril del 2000 y tuvo una duración de 18 meses, se adelantó con financiación del Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y el apoyo administrativo del Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal. Además se contó con la colaboración de la Universidad Tecnológica del Chocó, y los aserraderos y frentes de aprovechamiento forestal vecinos de la ciudad de Quibdó.

Como resultado de la investigación se encontró que no existe diferencia en la combustibilidad de las cuatro especies y que la aplicación de ignífugos reduce la combustibilidad de las maderas estudiadas. Individualmente, la más beneficiada fue la madera de pantano, pero en el análisis comparativo entre especies la de mejor comportamiento fue machare, al verse positivamente beneficiada por dos tratamientos, en las variables pérdida porcentual de peso y velocidad de carbonización.

## JUSTIFICACIÓN

Entre los sistemas existentes para controlar y prevenir la aparición de la combustión en la madera, se encuentran el sobredimensionamiento de las piezas, la separación física a través de barreras como corta fuegos, aislantes y muros, o la utilización de sustancias químicas denominadas ignífugos, que tienen la propiedad de reducir el grado de combustibilidad y/o la velocidad de propagación de la llama.

El desconocimiento de la efectividad de los ignífugos y su incidencia en las características de las maderas colombianas con potencial para conformar elementos estructurales en la construcción de viviendas incentivó que desde 1998 el programa de Ingeniería Forestal haya desarrollado varias investigaciones relacionadas con el objetivo de dilucidar el comportamiento de la madera tratada con ignífugos.

Los resultados obtenidos hasta el momento indican que en maderas de densidades bajas y con altos contenidos de humedad en la zona de saturación de las fibras la aplicación de ignífugos mejora su comportamiento ante el fuego, en contra vía con lo encontrado en las maderas pesadas con bajos contenidos de humedad en la zona de saturación de las fibras, donde la incidencia no era significativa, y por el contrario algunos tratamientos podrían tender a perjudicar su comportamiento ante el fuego.

Teniendo como premisa esta hipótesis y con el objeto de observar el comportamiento ante el fuego de otras especies maderables y formulaciones de ignífugos, se realizó la presente investigación, la cual busca ampliar el rango de comparación y conocimiento sobre el tema, y de esta manera, mejorar las perspectivas de la madera como material de construcción.

Las maderas para este estudio provienen del departamento del Chocó, en donde aun son abundantes y fueron escogidas por su amplia utilización principalmente en construcciones pesadas a la intemperie, traviesas, muebles pesados, pisos de alto tráfico y ebanistería. Son tan importantes estas maderas desde el punto de vista regional, que han sido incluidas por la Junta del Acuerdo de Cartagena en el listado de maderas estructurales y denominadas como especies de interés para los países miembros del Pacto Andino.

## OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de la aplicación de cinco formulaciones de ignífugos, mediante el método de inmersión, en la combustibilidad de las made-

ras de chanul (*Humiriastrum procerum*), machare (*Symphonia globulifera*), pantano (*Hieronyma chocoensis*) y níspero (*Manilkara bidentata*).

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- \* Comparar el comportamiento ante el fuego de las maderas chanul, machare, níspero y pantano, cuando no poseen ningún tratamiento y cuando son tratadas con las siguientes cinco formulaciones de ignífugos: fórmula 1: Sulfato de amonio, cloruro de calcio y bromuro de potasio. Fórmula 2: Cloruro de amonio, carbonato de potasio y cloruro de zinc. Fórmula 3: Sulfato de amonio, cloruro de calcio y carbonato de potasio. Fórmula 4: Fosfato de amonio, cloruro de amonio y cloruro de calcio. Fórmula 5: Cloruro de zinc - bromuro de potasio - sulfato de amonio.
- \* Determinar la incidencia que tiene la aplicación de cinco formulaciones de ignífugos mediante el método de inmersión, en las variables de velocidad de carbonización, tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso de las maderas de chanul, machare, níspero y pantano.

## PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

El estudio respondió las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles serán los efectos que la aplicación de cinco formulaciones de ignífugos tienen sobre la velocidad de carbonización, el tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso en las maderas chanul, machare, níspero y pantano?

¿Cuál de las maderas, chanul, machare, pantano y níspero tendrá un mejor comportamiento ante el fuego?

¿Cuál de las cinco formulaciones de ignífugos será más eficaz para reducir la velocidad de carbonización, el tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso de las maderas de chanul, machare, níspero y pantano?

## MARCO TEÓRICO

### ANTECEDENTES

García y Calvo (1993) evaluaron un método sencillo para determinar el comportamiento al fuego de las maderas de chopo, pino y haya; para lo cual hicieron el seguimiento de la pérdida de peso y de la rapidez con que dicha materia se pierde en el tiempo; a través de un modelo matemático calcularon los fenómenos más importantes que inciden en la reacción al fuego.

Las probetas utilizadas en los ensayos tuvieron forma de disco con las siguientes dimensiones: diámetro interno de 3 cm, diámetro externo de 9,5 cm y ancho de 1,8 cm.

El equipo de pirólisis combustión constó de un quemador formado por un mechero Bunsen alimentado por butano, extractor de gases y humos, dos pirómetros y una balanza monoplato. Para cada probeta se registró la pérdida de peso y la temperatura cada 15 segundos, hasta un total de 20 minutos; también se midió el tiempo en el que se inicia la inflamación de la probeta, el tiempo desde el inicio del ensayo hasta que la llama cubre toda la superficie de la probeta (extensión de la llama), el tiempo en el que se registra la máxima altura de llama del ensayo y el tiempo al que se extingue la llama.

Los antecedentes más recientes referentes a la combustibilidad de la madera se encuentran en los trabajos realizados por el Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal de la Universidad Distrital. El primero realizado por Klinger, *et al.*, (1998), cuyo objetivo fue determinar la incidencia del método de aplicación de ignífugos en el comportamiento ante el fuego de las maderas de almenadro (*Dypterix panamensis*), abarco (*Cariniana pyriformis*), zapato (*Basyloxylum zapato*) chingalé (*Jacaranda copaia*) y otobo (*Dialyanthera otoba*), y la relación entre este comportamiento y el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras de las maderas.

Se ignifugaron probetas de 5 cm x 5 cm x 15 cm de cada especie, con una fórmula de sulfato de amonio, bórax y ácido bórico, en proporción de

70%, 20% y 10% respectivamente, para lo cual emplearon tres métodos: aspersión, inmersión y presión; luego se quemaron las probetas en un horno y se midieron tres variables: tiempo de extinción de la llama, velocidad de carbonización y pérdida porcentual de peso.

Los investigadores concluyeron que el efecto de los sistemas de aplicación de ignífugos sobre el comportamiento combustible de las maderas se encuentra en función del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras de las maderas; cuando este contenido es alto, las maderas tienen mejor comportamiento ante el fuego, siendo mejor, en orden descendente, el método de presión, inmersión y aspersión. Para maderas como almendro y abarco, cuyos contenidos de humedad en la zona de saturación de las fibras no son altos, no hubo diferencias significativas entre las maderas ignifugadas y las no ignifugadas, por el contrario, los tratamientos perjudicaron el comportamiento ante el fuego de las maderas; en casi todos los casos hubo un incremento del valor de las variables por efectos de los tratamientos.

Klinger, *et al.* (1999) determinaron el comportamiento combustible de las maderas abarco, almendro, zapato, chingalé y otobo y a su vez la incidencia del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras en este comportamiento. Para esto midieron tres variables: la velocidad de carbonización, el tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso de cada una de las maderas.

Se encontró que el comportamiento combustible de las maderas es distinto y está relacionado con el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras. Se determinó que el abarco se comporta mejor ante el fuego, para dos de las variables evaluadas, tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso, seguido del almendro, zapato, chingalé y otobo, que es la que peor se comporta ante el fuego.

Klinger, *et al.* (2000) estudiaron la incidencia del tratamiento con tres formulaciones de ignífugos en la combustibilidad de las cinco maderas ante-

riormente mencionadas; el método empleado fue el de inmersión, y midieron las variables de velocidad de carbonización, tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso. Las formulaciones empleadas fueron: sulfato de amonio, bórax y cloruro de zinc; sulfato de amonio, bórax y ácido bórico; sulfato de amonio, borax y dicromato de sodio, en proporción de 70%, 20% y 10%.

Concluyeron que los tratamientos ignifugantes empleados no tuvieron un efecto positivo sobre el comportamiento combustible de la madera de almendro (grupo A), por la dificultad del método de inmersión para penetrar la madera. Todas las formulaciones afectaron positivamente la combustibilidad de la madera de zapato, pero sólo sobre las variables pérdida porcentual de peso y velocidad de carbonización. La fórmula 1 resultó altamente efectiva para reducir la combustibilidad de chingalé, para todas las variables analizadas. Los resultados mostraron que para el otobo, madera del grupo D, la respuesta fue notablemente significativa a todos los tratamientos y a todas las variables analizadas, las cuales se comportaron mejor en la madera ignifugada que en la testigo. Este buen comportamiento se explica por el alto contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras que tiene esta madera.

## MARCO CONCEPTUAL

### COMBUSTIÓN DE LA MADERA

#### *Aspectos generales*

La combustión es la reacción de una sustancia y el oxígeno, con desprendimiento de calor, fenómeno que generalmente va acompañado de una emisión de llama, incandescencia o emisión de humo. (NTC 1355, 2000). Para que el fuego se extienda y pueda avanzar debe existir combustible, una reflexión del calor tan intensa como para generar gases inflamables en el área de combustión, una fuente de calor que sea capaz de encender los gases inflamables y oxígeno. (Junac, 1988).



### ***Evolución de la combustión en la madera***

En el desarrollo de la combustión se distinguen las siguientes zonas:

**Zona A** (hasta 200 °C). Cuando la madera se calienta, empieza a producir desecación, el agua de impregnación rompe su unión higroscópica a temperatura de 98° a 103° C. En esta etapa, la madera se deshidrata, produciendo vapor de agua y posiblemente trazas de dióxido de carbono, ácido fórmico y ácido acético. Los gases producidos, resultado de una pirólisis muy lenta, no son combustibles.

**Zona B** (200 °C a 280 °C) En esta zona los gases producidos no son combustibles, sin embargo se alcanza una condición exotérmica a temperaturas inferiores a la que alcanzaría la pirólisis en ausencia de aire. La temperatura a la cual reaccionan globalmente la pirólisis y la oxidación tornándose perceptiblemente exotérmicas ha sido adoptada como una de las definiciones del punto de ignición de la madera y fluctúa, según la definición de varios autores entre 150 °C y 240 °C (Silva, 1970).

**Zona C** (280 °C a 500 °C) por la presencia de una fuente externa de calor las zonas A y B se trasladan más al interior y son sucedidas por la zona C. En esta zona la combustión se produce completamente por la ignición de los gases combustibles formados, que al salir de tal forma arrastrando gotas de alquitrán altamente inflamables. El residuo de esta zona es el carbón.

**Zona D** (por encima de 500° C) en esta zona los gases se agotan y se extingue la llama. A altas temperaturas, donde la pirólisis de gases ha sido suficientemente gastada, el oxígeno puede reaccionar con el remanente de carbón de la superficie; este carbón puede quemar por incandescencia (Fleischer, 1960).

### ***Factores que afectan la combustibilidad de la madera***

Contenido de humedad:

El efecto del contenido de humedad sobre la combustibilidad de las maderas es inversamente

proporcional, ya que buena parte del calor aplicado es requerido para la liberación del agua que se adhiere a las paredes celulares por fuerzas físicas y químicas. Contenidos de humedad altos dificultan el proceso de combustión, porque el vapor resultante baja la temperatura del área en combustión, reduce la cantidad de oxígeno y retarda el momento de ignición (Klinger, 1989).

Forma física:

Muestras pequeñas de madera con bordes pronunciados, como astillas, encienden más rápidamente que piezas grandes con bordes redondeados, porque la conducción del calor al interior de la madera mantiene la superficie por debajo del punto de ignición por más tiempo. Las secciones grandes se deterioran gradualmente formando una capa de carbón que dificulta la transmisión de calor y obstaculiza la liberación de gases inflamables del material aún no afectado (Delgado, 1975 y Junac, 1982).

Densidad:

Se ha comprobado que existe una estrecha relación entre el peso específico de las maderas y la temperatura de ignición. En general las especies de baja densidad experimentan la ignición a temperaturas más bajas que las de alta densidad. (Levan, 1985 citado por Klinger, 1999). El peso específico bajo facilita la ignición debido a la menor cantidad de masa expuesta. Entre dos piezas de madera con iguales dimensiones, se consumirá en más tiempo la de mayor peso específico (Junac, 1982).

Aplicación de ignífugos:

Los ignífugos son sustancias que reducen el grado de combustibilidad de la madera y la velocidad de propagación de la llama. Tienen la propiedad de desprender gases incombustibles al descomponerse por el calor y mezclarse con los procedentes de la pirólisis de la madera (Junac, 1988). El principal efecto de la impregnación con un ignífugo es retardar el normal incremento de la temperatura bajo condiciones de fuego, disminuir la tasa de dispersión de la llama, o la de penetración o destrucción de la madera en contacto con el fuego y hacer el fuego más fácilmente extinguido.

Muchos químicos tienen efectos de retardantes del fuego, pero limitaciones de costo o características objetables para usos específicos los hacen poco prácticos comercialmente. Entre estas características de uso están la poca permanencia en el tiempo de sus características de resistencia al fuego, efectos sobre la resistencia física de la madera, tendencia a corroer los metales, efectos negativos sobre pegantes y pinturas, higroscopicidad y toxicidad para seres vivos. Las sales usadas en las fórmulas retardadoras de fuego son en general las mismas que se conocen hace más de 50 años y son fosfato monoamónico y diamónico, sulfato de amonio, cloruro de zinc, tetraborato de sodio y ácido bórico.

Recubrimientos retardantes de fuego:

Los recubrimientos son útiles para controlar o reducir la rapidez de la dispersión de la llama en una edificación. Estos incorporan materiales fundibles de bajo derretimiento los cuales barnizan la superficie, de esa manera previene que el oxígeno reaccione con los materiales subyacentes. El tipo más común de pintura retardadora de fuego incorpora materiales que se descomponen ante el calor liberando gases, los cuales soplan o abultan la película de pintura para formar una capa aislante celular intumesciente (Junac, 1982).

## VARIABLES E HIPÓTESIS

### VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES

Las variables independientes son las cinco formulaciones de ignífugos y las variables dependientes son la velocidad de carbonización, el tiempo de extinción de la llama y la pérdida porcentual de peso.

#### Hipótesis

- \* Hipótesis nula: la aplicación de cinco fórmulas diferentes de ignífugos no tiene efectos en el comportamiento combustible de las maderas.
- \* Hipótesis alterna: la aplicación de cinco fórmulas diferentes de ignífugos tiene efectos en el comportamiento combustible de las maderas.

## ASPECTOS METODOLÓGICOS

### ELECCIÓN DE LAS ESPECIES

Para la realización del estudio se escogieron cuatro maderas que se caracterizan por tener densidades altas y contenidos de humedad en la zona de saturación de las fibras entre 28% y 30% estas son maderas aptas para la construcción (Tabla 1).

Tabla 1. Maderas utilizadas en el estudio

GRUPO	NOMBRE VULGAR	NOMBRE CIENTÍFICO	FAMILIA	CHZSF %	DENSIDAD ANHIDRA	DENSIDAD BÁSICA
C	Chanul	<i>Humiriastrum procerum</i>	HUMIRIACEAE	31.66	0.773	0.621
B	Machare	<i>Symphonia globulifera</i>	GUTTIFERAE	27.01	0.692	0.581
C	Pantano	<i>Hieronyma chocoensis</i>	EUPHORBIACEAE	30.27	0.752	0.627
C	Níspero	<i>Manilkara bidentata</i>	SAPOTACEAE	30.02	1.086	0.819

Fuente: Klinger (1994) y Lastra (1986).

## **TOMA DE MUESTRAS Y ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS**

Se escogieron al azar árboles de las especies mencionadas, provenientes de aprovechamientos forestales del Chocó, y se verificó que cumplieran con los requisitos de calidad para ser utilizados en los ensayos. Ubicadas las trozas en Bogotá se elaboraron probetas con dimensiones de 15 cm x 5 cm x 5 cm. Para cada especie se cortaron 60 probetas. Una vez cortadas las probetas, se procedió a hacer una selección de aquellas que no presentaron defectos, estas fueron marcadas teniendo en cuenta la especie, el tratamiento y el número de cada probeta, para facilitar su identificación en el momento de realizar los ensayos.

## **CLIMATIZACIÓN DE LAS PROBETAS**

Las probetas fueron llevadas al cuarto climático, donde alcanzaron el contenido de humedad de

equilibrio. Las condiciones del cuarto inicialmente fueron de 50% de humedad relativa y 22 grados °C de temperatura, al final del proceso de aclimatación de las probetas, el cuarto alcanzó condiciones de 48% de humedad relativa y 30 °C de temperatura. Este procedimiento fue aplicado nuevamente después de la aplicación de los ignífugos, hasta alcanzar el contenido de humedad de equilibrio antes de ser incineradas.

## **PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS IGNÍFUGOS**

En la elaboración de los ignífugos se utilizaron sales inorgánicas solubles en agua. Se prepararon cinco fórmulas de ignífugos, compuesta por tres sales en porcentajes iguales, y una proporción de 1:5 químico por cinco de agua. La inmersión de las probetas en cada solución ignífuga se hizo en recipientes plásticos, y allí permanecieron por espacio de 20 días.

Tabla 2. Formulaciones utilizadas en el estudio.

FORMULACIÓN
1: Sulfato de amonio - cloruro de calcio - bromuro de potasio
2: Cloruro de amonio - carbonato de potasio - cloruro de zinc
3: Sulfato de amonio - cloruro de calcio - carbonato de potasio
4: Fosfato de amonio - cloruro de amonio - cloruro de calcio
5: Cloruro de zinc - bromuro de potasio - sulfato de amonio

## **INCINERACIÓN DE LAS PROBETAS**

Concluida la reaclimatación las probetas fueron llevadas a un incinerador, de un metro de largo por cincuenta centímetros de diámetro de dimensión, el cual presenta un revestimiento aislante térmico interno y un tubo de salida para gases y humo. Para la generación de la llama se usó un piloto alimentado por gas propano. Allí las probetas fueron sometidas al fuego durante 5 minutos continuos, después de este tiempo se suspendió el fuego y se dejaron en el quemador hasta que la llama se extinguió.

## **DETERMINACIÓN DE LA COMBUSTIBILIDAD**

### *La velocidad de carbonización*

Es la relación que existe entre la profundidad de la superficie carbonizada y el tiempo que dura esta carbonización. Esta medida en unidades de longitud sobre tiempo. La capa de carbón se calculó tomando la medida de las probetas antes de ser incineradas, comparándola con la dimensión de la madera remanente después de ser incinerada. Para ello se eliminó la capa de carbón formada, paso seguido se midió con un tornillo micrométrico.

### **Tiempo de extinción de la llama**

Es el tiempo que transcurre entre el momento en que es retirada la fuente de calor y la extinción total de la llama en la madera (Klinger, 1998). Mediante el uso de un cronómetro se registró el tiempo que permanece la probeta en autoignición hasta la extinción total de la llama.

### **Pérdida porcentual de peso**

Es la diferencia entre el peso de la materia sólida antes y después de quemarse, expresada en porcentaje de materia sólida no quemada. Para su determinación, se establecieron los pesos anhidros antes y después de la incineración, mediante la confrontación de la medida del peso y el conteni-

do de humedad de las probetas. Estos pesos se obtuvieron midiendo con xilohigrómetro los contenidos de humedad de la madera y aplicando la fórmula de peso anhidro.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Para el análisis de los resultados se realizó una inferencia estadística entre el testigo y cada uno de los tratamientos por especie estudiada y entre formulaciones como indicador de eficiencia para cada una de las cuatro maderas y en conjunto para todas las maderas. Cada inferencia se evaluó a través de una prueba de hipótesis o prueba de significancia a un nivel del 5%, por medio de la siguiente fórmula:

$$Z = \frac{X_0 - X_1}{\sqrt{\frac{S_0^2}{n_0} + \frac{S_1^2}{n_1}}}$$

$X_0$	:	Media de población 0
$X_1$	:	Media de población 1
$N_0$	:	Tamaño de la muestra de la población 0
$N_1$	:	Tamaño de la muestra de la población 1
$S_0$	:	Desviación estándar de la población 0
$S_1$	:	Desviación estándar de la población 1

## **COMPORTAMIENTO DE LAS MADERAS ANTE EL FUEGO**

Las maderas de chanul, machare, níspero y pantano no presentaron diferencias significativas en su comportamiento ante el fuego en las tres variables evaluadas. La única excepción es la variable tiempo de extinción de la llama entre las maderas de níspero y pantano, donde la segunda muestra mejores condiciones. Sin embargo, la madera de machare, única del grupo B, obtiene los menores valores de pérdida de peso y velocidad de carbonización, comparada con machare, pantano y níspero, maderas clasificadas dentro del grupo C.

## **EFFECTOS DE LOS IGNÍFUGOS EN EL COMPORTAMIENTO COMBUSTIBLE DE LAS MADERAS** **Efectos en la madera de chanul**

Las formulaciones 1,3 y 2 reducen significativamente el tiempo de extinción de la llama

en comparación con los testigos. Sin embargo, para las variables pérdida porcentual de peso y velocidad de carbonización los resultados no son significativos. El ignífugo 4 tiene un comportamiento favorable para chanul, en la reducción de la pérdida de peso, pero en tiempo de extinción de la llama y velocidad de carbonización los resultados no son significativos. El tratamiento 5 presenta resultados muy favorables en las variables tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso.

### **Efectos en la madera machare**

Para esta madera, los tratamientos 1 y 3 disminuyen el tiempo de extinción de la llama de forma significativa, pero en las otras variables no presentan resultados considerables. La formulación 2 es favorable porque disminuye significativamente la pérdida porcentual de peso y el tiempo de extinción de la llama. El tratamiento 4 da resultados desfavorables, al evaluar las

tres variables en conjunto. La formulación 5 muestra resultados benéficos; dos de las variables observadas generan resultados muy significativos, la pérdida porcentual de peso se reduce en 12,5% y registra un favorable tiempo de extinción de llama con 1,23 minutos.

**Efectos en la madera pantano**

Los tratamientos 2 y 3 generan resultados muy favorables para todas las variables observadas, en comparación con la madera testigo. La formulación número 4 disminuye significativamente la pérdida porcentual de peso, pero en cuanto al tiempo de extinción de la llama, el resultado es desfavorable. La formulación número 5 presenta resultados positivos para tiempo de extinción de la llama y pérdida porcentual de peso.

**Efectos en la madera Níspero**

Los tratamientos 1, 2, 3 y 5 reducen significativamente el tiempo de extinción de la llama. Para las variables pérdida porcentual de peso y velocidad de carbonización los valores no alcanzan a ser significativos. El tratamiento 4, es poco favorable para esta madera, ninguno de los valores generados alcanza a ser significativo.

**COMPARACIÓN DEL EFECTO DE LOS IGNÍFUGOS EN EL COMPORTAMIENTO COMBUSTIBLE DE LAS MADERAS**

**Efectos sobre la madera de chanul**

Sobre la pérdida porcentual de peso de la madera de chanul, los ignífugos 4 y 5 resultan ser los más efectivos. Entre los tratamientos 4 y 5 los trata-

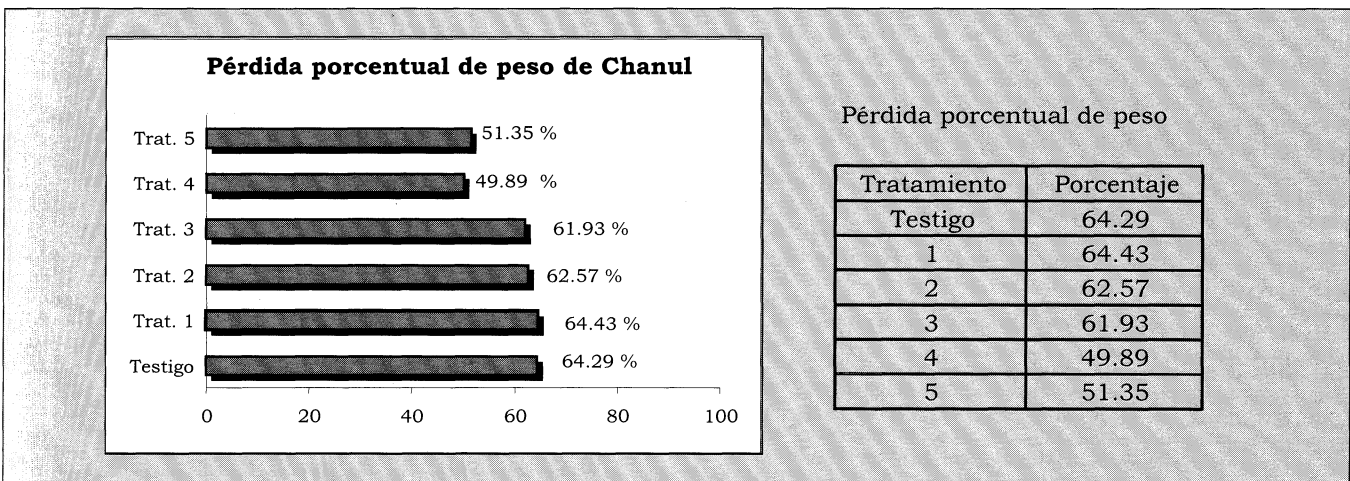


Figura 1. Comparación de la pérdida porcentual de peso en la madera chanul.

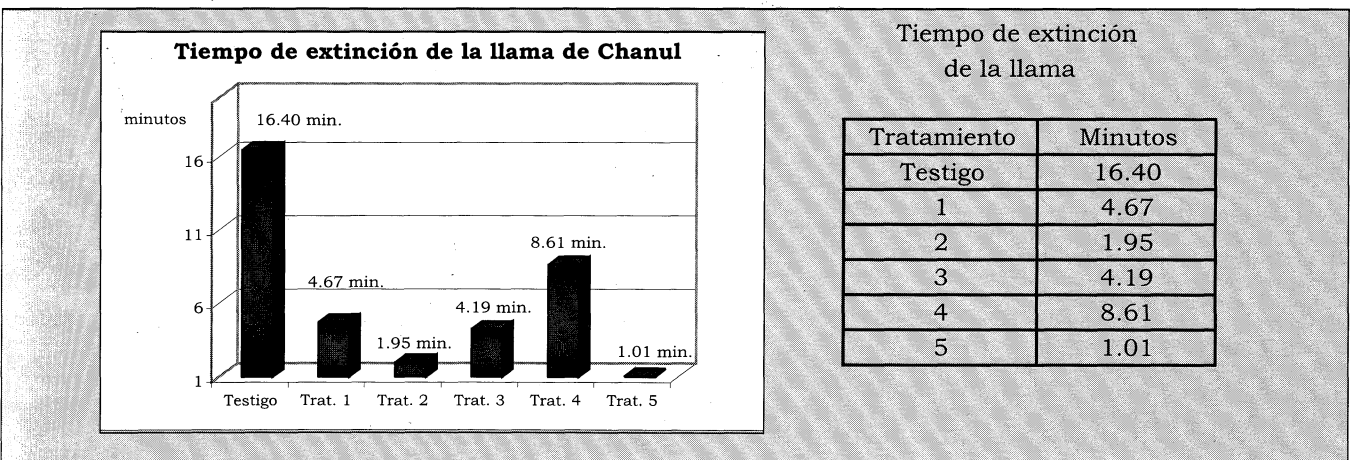


Figura 2. Comparación del tiempo de extinción de la llama en la madera chanul.



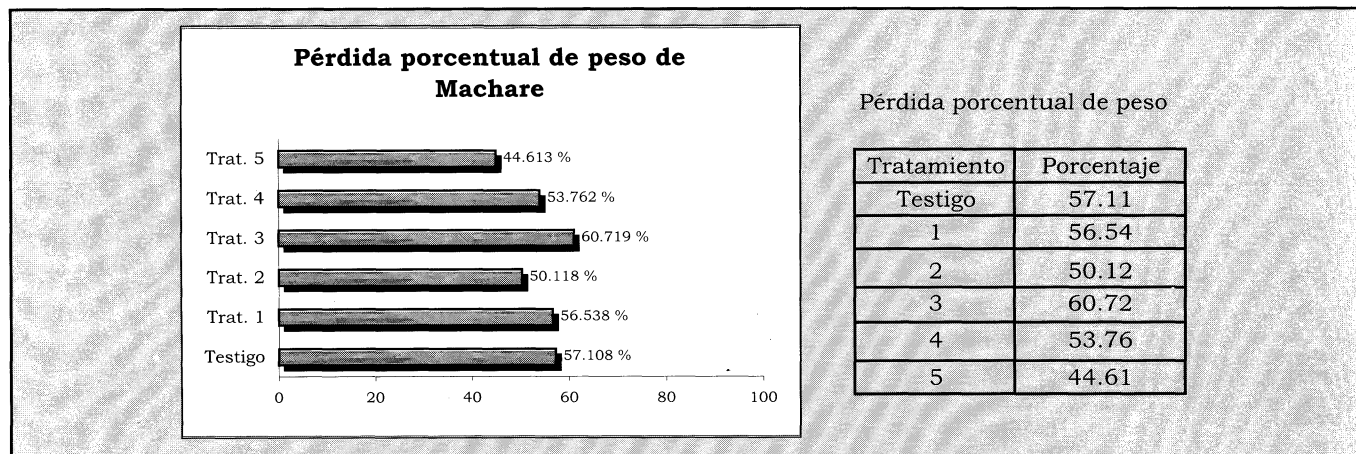


Figura 3. Comparación de la velocidad de carbonización en la madera chanul.

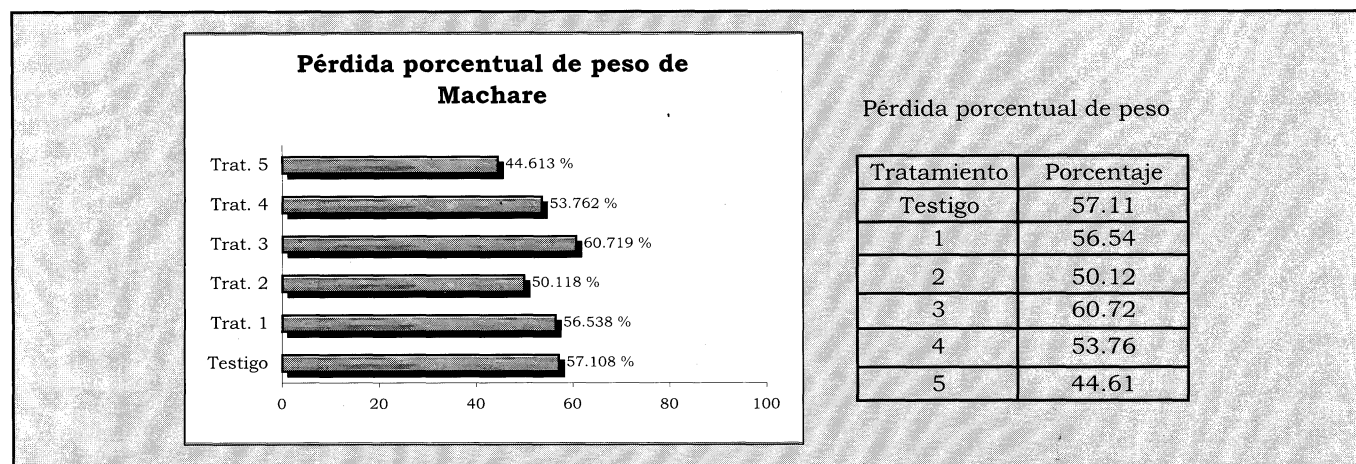


Figura 4. Comparación de la pérdida porcentual de peso en la madera machare.

mientos 1, 2 y 3, se encuentran diferencias significativas, si se comparan los efectos que ellos generan sobre la pérdida de peso en la madera de chanul (Figura 1).

Con respecto a la variable tiempo de extinción de la llama, con la formulación 5 se logra el mejor comportamiento, especialmente al compararlo con 2 y 4, donde la diferencia es significativa.

Para la velocidad de carbonización, se destacan los tratamientos 4 y 5 como ideales, pero estas diferencias únicamente son significativas con respecto al 2 (Figura 3).

#### Comparación de los efectos sobre la madera de machare

Para pérdida porcentual de peso, la formulación 5 obtiene valores de significancia muy favorables

con respecto a las demás, especialmente al comparar con 3 y 4. El tratamiento 2 también arroja valores de significancia benéficos comparado con el tratamiento 3, y en menor proporción de efectividad comparado con las fórmulas 4 y 1. Al comparar el tratamiento 3 con las formulaciones 5, 4 y 2, genera diferencias significativamente desfavorables (Figura 4).

El tratamiento 5 es el que más reduce el tiempo de extinción de la llama. Las diferencias más significativas se presentan con el tratamiento 3, seguido de las formulaciones 4 y 2, como se ve en la Figura 5. La fórmula 1 es mejor con respecto a 2, 3 y 4, pero solo es significativa comparada con el ignífugo 4.

En cuanto a la velocidad de carbonización, el tratamiento 5 genera disminuciones significativas



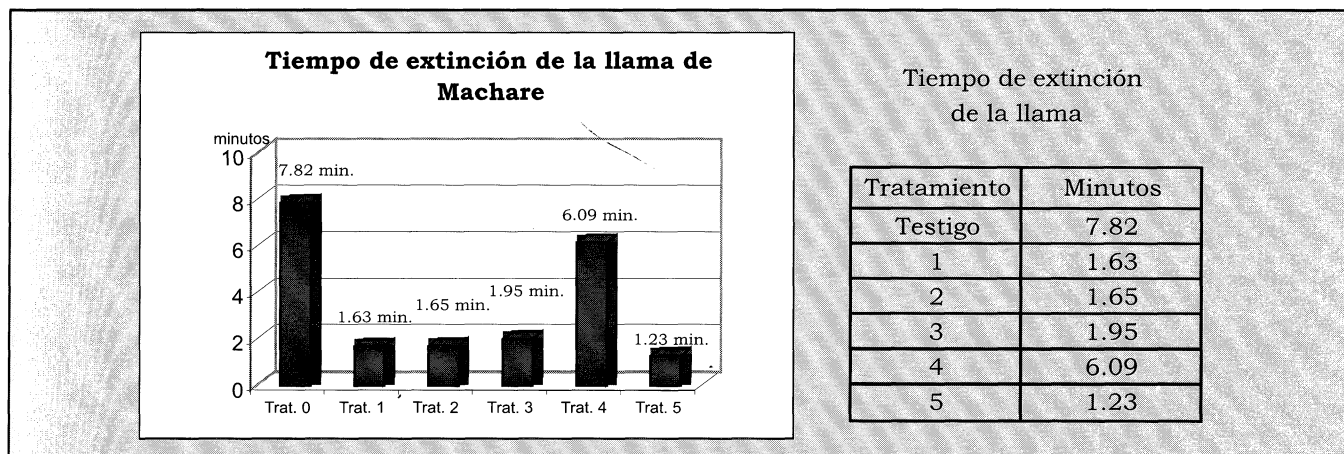


Figura 5. Comparación del tiempo de extinción de la llama en la madera machare

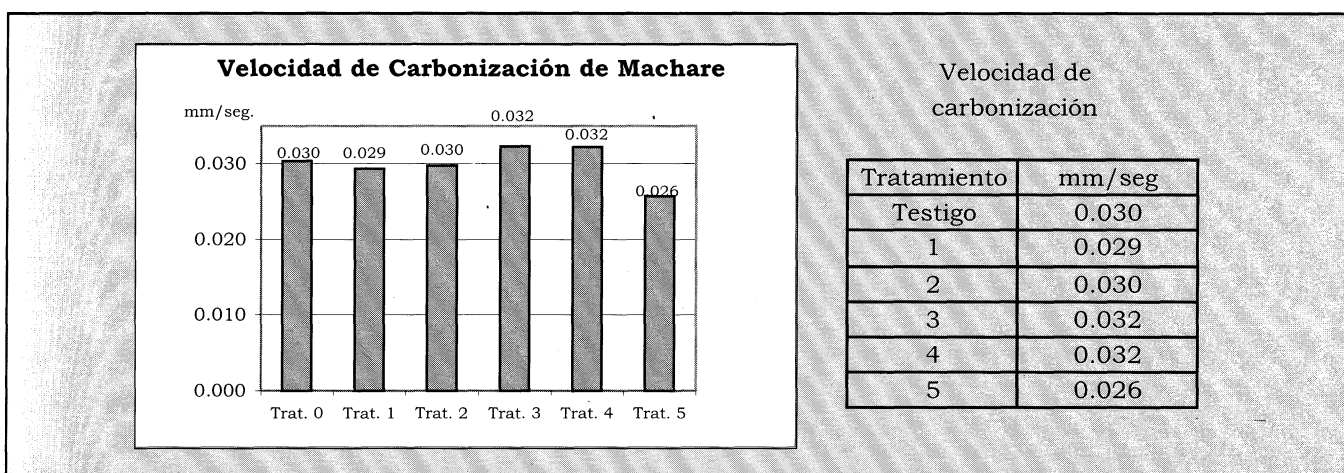


Figura 6. Comparación de la velocidad de carbonización en la madera machare.

con respecto a los tratamientos 2, 3 y 4, principalmente con este último (Figura 6).

**Comparación de los efectos sobre la madera de pantano**

Para la madera pantano, la formulación 2 produce efectos favorables en la variable pérdida porcentual de peso, comparada con los demás tratamientos, aunque solamente es significativo con respecto al tratamiento número 5 Figura 7.

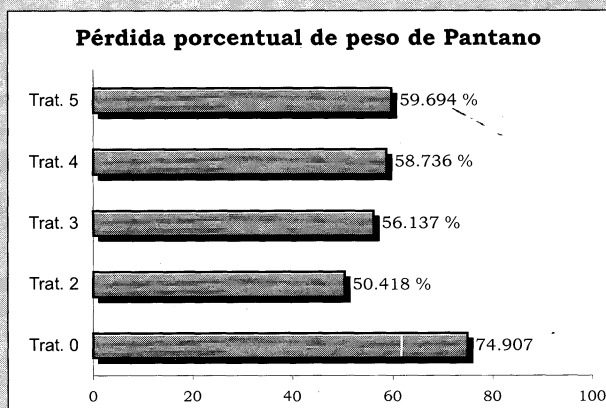
Para la variable tiempo de extinción de la llama, el ignífugo número 2 es el mejor, debido a que obtiene valores de significancia favorables con respecto a los demás tratamientos utilizados. Los resultados se observan en la Figura 8.

En la comparación entre tratamientos para la velocidad de carbonización de pantano, ningún

tratamiento presenta diferencias significativas con respecto a otro. Sin embargo los tratamientos 2 y 3 resultan más benéficos que las formulaciones 4 y 5 (Figura 9).

**Comparación de los efectos sobre la madera de níspero**

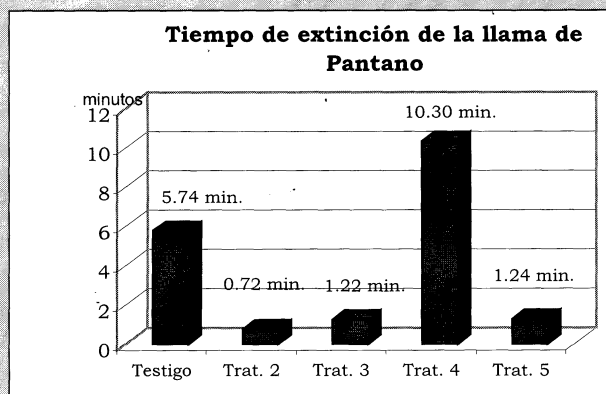
Para la pérdida porcentual de peso ninguno de los tratamientos aplicados genera diferencias significativas con respecto a los otros ignífugos. En tiempo de extinción de la llama, los tratamientos 1, 2 y 5 generan resultados significativos favorables comparados con la formulación número 4. El ignífugo número 1 arroja resultados positivos comparado con los demás, aunque solamente es significativo comparado con el 4.



Pérdida porcentual de peso

Tratamiento	Porcentaje
Testigo	74.91
2	50.42
3	56.14
4	58.74
5	59.69

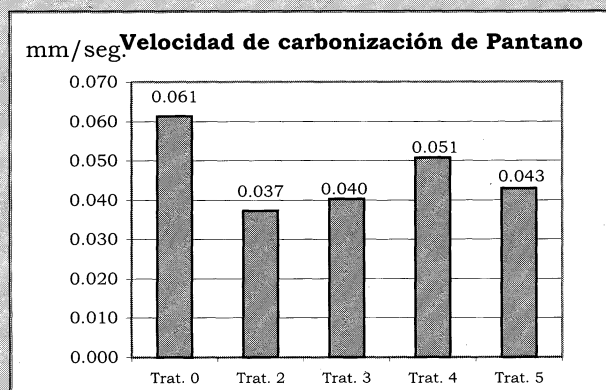
Figura 7. Comparación de la pérdida porcentual de peso en la madera pantano.



Tiempo de extinción de la llama

Tratamiento	Minutos
Testigo	5.74
2	0.72
3	1.22
4	10.30
5	1.24

Figura 8. Comparación del tiempo de extinción de la llama en la madera pantano.



Velocidad de carbonización

Tratamiento	mm/seg
Testigo	0.061
2	0.037
3	0.040
4	0.051
5	0.043

Figura 9. Comparación de la velocidad de carbonización en la madera pantano

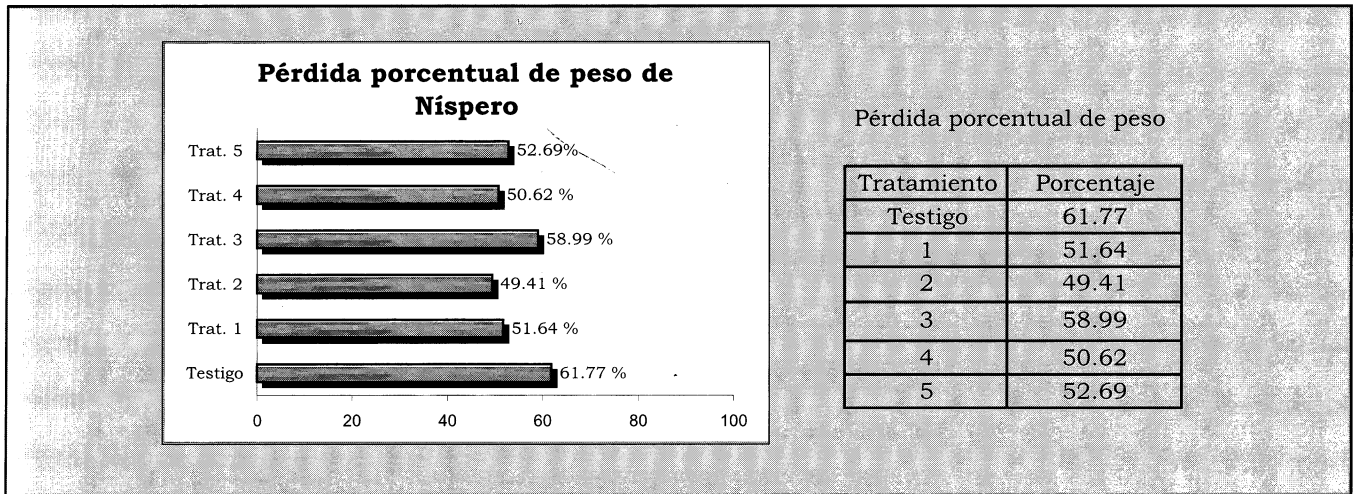


Figura 10. Comparación de la pérdida porcentual de peso en la madera níspero.

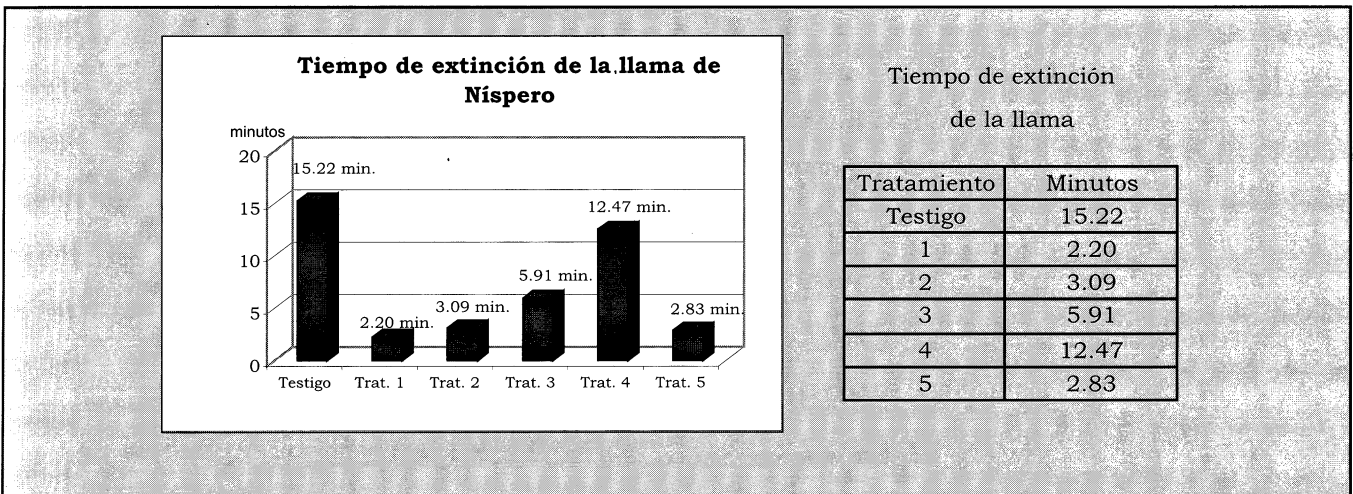


Figura 11. Comparación del tiempo de extinción de la llama en la madera níspero.

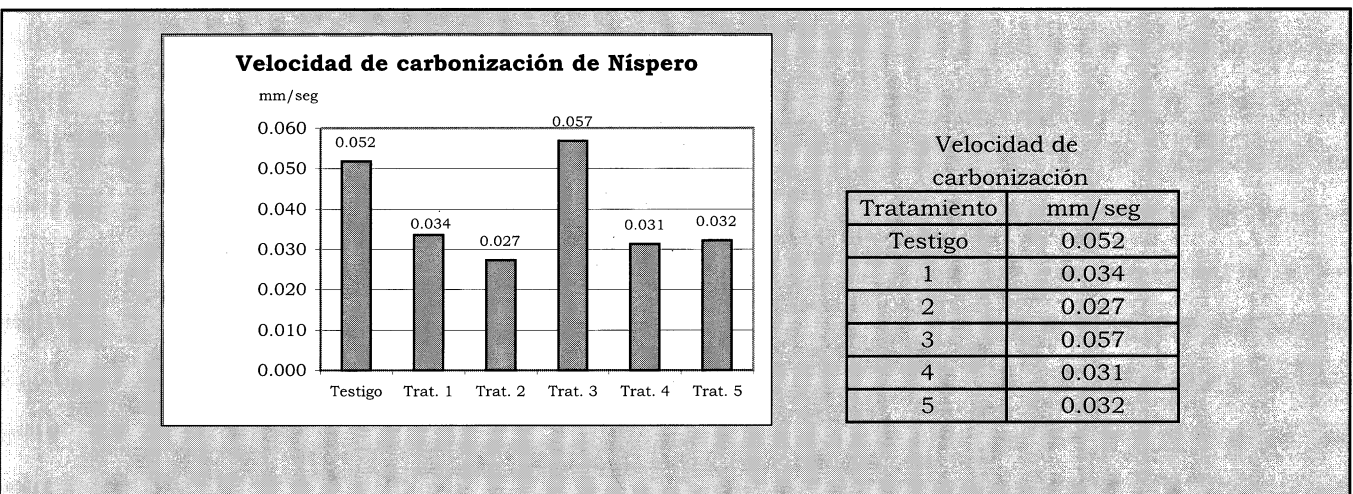


Figura 12. Comparación de la velocidad de carbonización entre en la madera níspero.

Para la velocidad de carbonización, no se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos aplicados a la madera níspero. La formulación número 3 tiene un comportamiento desfavorable en comparación con todos los demás tratamientos, pero la diferencia no es significativa (Figura 12).

### **COMPARACIÓN DE LOS EFECTOS DE LOS TRATAMIENTOS ENTRE LAS MADERAS**

Para comparar los efectos que tienen los diferentes tratamientos en las maderas, no se tuvieron en cuenta aquellos con resultados que no fueron efectivos.

Cloruro de amonio, carbonato de potasio y cloruro de zinc (tratamiento 2)

La madera más favorecida con este tratamiento es pantano, con una disminución en la pérdida porcentual de peso de 24,5%; esta reducción es la mayor de todas las observadas en el estudio. Para la variable velocidad de carbonización, se observan buenos resultados en la disminución en las maderas de pantano y de níspero, con una reducción de 0,024 mm/s para ambas maderas. En cuanto al tiempo de extinción de la llama, la madera más beneficiada resulta ser el chanul, con una reducción de 14,45 minutos.

Sulfato de amonio, Bromuro de potasio y cloruro de zinc (tratamiento 5)

En cuanto a pérdida porcentual de peso, este tratamiento es más eficaz para la madera de pantano, seguido de cerca por las reducciones generadas en las maderas de chanul y machare. En velocidad de carbonización, níspero experimenta los mayores beneficios, seguida de pantano, con reducciones de 0,020 y 0,018 mm/s, respectivamente. Para la variable tiempo de extinción de la llama, este tratamiento muestra una alta eficiencia en chanul comparada con las otras tres maderas, generando la mayor reducción observada en este estudio para esta variable, de 15,39 minutos.

## **CONCLUSIONES**

El comportamiento combustible de las maderas chanul, machare, pantano y níspero no presenta diferencias significativas para las tres variables observadas en este estudio. A pesar de lo anterior, la madera de machare, única perteneciente al grupo B, según su contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras, resulta ser la de mejor comportamiento ante el fuego, cuando se evalúan las tres variables en su conjunto.

En general, se observa un mejor comportamiento ante el fuego de todas las maderas estudiadas cuando son tratadas con las formulaciones de ignífugos. Sin embargo, los resultados muestran diferentes grados de afectación de las variables indicadoras de combustibilidad. Este nivel de afectación es más alto sobre la variable tiempo de extinción de la llama, para la cual prácticamente todos los tratamientos mostraron efectividad en las cuatro maderas estudiadas. En un segundo nivel de afectación se encuentra la pérdida porcentual de peso, que se vio significativamente afectada por alguno de los tratamientos en las maderas de chanul, machare y pantano. La velocidad de carbonización es la variable menos afectada por la aplicación de los tratamientos, hecho que la convierte en un parámetro de poca importancia a la hora de comparar el comportamiento combustible de diferentes maderas.

En general no se encuentra ningún tratamiento que sea el más efectivo para todas las maderas, hecho que nuevamente, al igual que en estudios anteriores, explica el alto grado de heterogeneidad de este material y nos sugiere tener mucho cuidado al momento de establecer conclusiones de tipo genérico acerca de él. Mientras que para las maderas de chanul y machare, la formulación de mejor comportamiento es la compuesta por cloruro de zinc, bromuro de potasio y sulfato de amonio (formulación 5), para la madera de pantano es el tratamiento 2, compuesto por cloruro de amonio, carbonato de potasio y cloruro de zinc,



el que resulta más efectivo. Para la madera de níspero, aunque los resultados no son totalmente desfavorables, no se podría recomendar ningún tratamiento. La falta de efectividad de los ignífugos se puede explicar por la presencia de sustancias extractivas en sus poros, las cuales no pudieron ser suficientemente removidas por el método de aplicación de ignífugo, inmersión en agua fría.

Los tratamientos que resultaron más efectivos, formulación 2 y 5, tienen en común la presencia de un componente de amonio y otro de potasio en las sales que conformaron la mezcla y en especial la presencia del cloruro de zinc, situación que podría explicar los resultados arrojados en los ensayos. Lo anterior advierte la necesidad de una evaluación futura de formulaciones que, junto con el sulfato de amonio, el cual mostró su indiscutible efectividad en estudios anteriores, contemple la presencia de estas nuevas sustancias que por los resultados obtenidos hacen pensar en su bondad para este tipo de tratamientos.

Según los resultados obtenidos en el presente estudio, la alta densidad de las maderas no implica necesariamente un mejor comportamiento combustible; a su vez, tampoco es indicativa de un comportamiento negativo ante la aplicación de tratamientos ignífugos. Sumado a lo anterior, otros factores como la presencia de sustancias extractivas y el contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras pueden en el futuro convertirse en parámetros que posibiliten una mejor predicción de comportamiento que ante el fuego tienen las maderas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Delgado, G.** 1975. Propiedades de la madera, Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales, Escuela de Ingeniería Forestal, Mérida, Venezuela.
- Fleischer, H. O.** 1960. «The performance of wood in fire», Reporte No. 2202. Forest Products

Laboratory, Forest Service U.S. Department of Agriculture.

**García, A. y R. Calvo** 1993. Determinación del comportamiento al fuego de la madera mediante un método sencillo, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología, Madrid.

**Icontec 2000.** Norma Técnica Colombiana NTC 1691, «Norma para Caracterización de Ignición Superficial de Materiales para Construcción». Instituto Colombiano de Normas Técnicas - Ministerio de Desarrollo Económico, Bogotá, 32 págs.

**Junta del Acuerdo de Cartagena (Junac)** 1988. Manual del Grupo Andino para la preservación de maderas.

**Klinger, W.; C. Álvarez y E. Cardoso** 1998. Incidencia del método de aplicación de ignífugos en el comportamiento ante el fuego de cinco maderas colombianas, Universidad Distrital. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Bogotá.

**Klinger, W.; M. Zambrano y M. Benavides** 1999. Incidencia del contenido de humedad en la zona de saturación de las fibras en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas, Universidad Distrital, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Proyecto Curricular de Ingeniería Forestal, Bogotá.

**Klinger, W.; N. Hurtado y M. Puentes** 2000. Incidencia del tratamiento con tres formulaciones de ignífugos en el comportamiento combustible de cinco maderas colombianas, Universidad Distrital, Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Proyecto curricular de Ingeniería Forestal, Bogotá.

**Silva, E.** 1970. Teorías sobre la protección de la madera contra el fuego. Instituto de pesquisas tecnológicas. Universidad Armando de Salles Oliveira. Sao Paulo, Brasil.