

Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia

 [Fernando Alzate-Guarín](#)^{1,3},  [Lina Muñoz](#)¹, y  [Andrés Amell](#)²

Como citar: Alzate-Guarín, F., Muñoz, L. & Amell, A. 2021. Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. Hoehnea 49: e492021. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-49/2021>

RESUMEN - (Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia). La inflamabilidad de 11 especies de plantas cultivadas en la ciudad de Medellín-Colombia, se evaluó empleando las variables tiempo de ignición y tiempo de sostenibilidad de la llama, con el objetivo conocer su susceptibilidad a incendiarse y consumirse, utilizando la metodología propuesta por Valette, exponiendo superficies foliares vivas a una fuente de calor externa constante a 420 °C y condiciones controladas. De las especies evaluadas, *Costus guanaiensis* Rusby y *Clusia multiflora* Kunth presentaron mayor tiempo de ignición, y menor valor en la sostenibilidad, es decir, presentan tanto un efecto retardante a la incidencia y propagación de incendios, por tanto se recomiendan como cortafuegos especialmente en zonas con alta frecuencia e impacto de incendios.

Palabras-clave: ignifugo, tiempo de extinción, tiempo de sostenibilidad

ABSTRACT - (Preliminary evaluation of the flammability of some species of cultivated plants in Colombia). It was assessed the flammability of 11 plant species cultivated in Medellín city in Colombia, using the variables time of ignition and time of flame sustainability, with the aim to know the susceptibility to ignite and burn, making use of Valette methodology, in which foliar surfaces are putting on external heat source at 420 °C and controlled conditions. Of the evaluated species, *Costus guanaiensis* Rusby a *Clusia multiflora* Kunth had the higher time to ignition value and the lowest sustainability value, that is, these plants have a retardant effect of the appearance and of the spread of fires, so it is recommended to use these plants like firewall especially in areas with high frequency and fire impact.

Keywords: fireproofing, flame sustainability, time to ignition

Introducción

La inflamabilidad puede definirse según Anderson *et al.* (1970), como la habilidad de cierto combustible a incendiarse y sostener la llama. Esta tiene varios componentes: Ignición (Ignitability) que es el tiempo que demora una superficie en generar llama al disponerse sobre una fuente de calor, Sostenibilidad (Sustainability) referido como el tiempo en que la llama se mantiene con o sin fuente de calor, siendo esta variable muy relacionada con la transferencia de calor y llamas a las plantas o estructuras que rodean al combustible vegetal (Behm *et al.* 2004). La Combustibilidad (Combustibility) se entiende como la rapidez con la cual el fuego arde, y la Consumibilidad (Consumability), es la proporción de masa o volumen consumido por el fuego (Kauf *et al.* 2014, Martin *et al.* 1994, Anderson *et al.* 1970).

Cuando las plantas se exponen a una fuente de calor, terminarán consumiéndose y favorecerán los incendios, a causa de su composición química (Elvira & Lara 1989), especialmente de las sustancias orgánicas y compuestos volátiles que contienen, sin embargo, aunque el material vegetal siempre es combustible, no siempre es inflamable (Vélez 2000). Según Liodakis *et al.* (2002) las plantas pasan

por varias fases en su proceso de inflamabilidad, como son: deshidratación, pirolisis, evaporación de los volátiles, y combustión sin llama.

La intensidad, la propagación y el impacto de los incendios dependen en cierta medida de la susceptibilidad que tengan las plantas frente al fuego, por tanto, frecuentemente aquellas que se inflaman con facilidad, permiten que los incendios se propaguen más rápidamente, y la intervención sobre estos se haga más difícil (White *et al.* 2010).

Algunas características físicas y químicas de las plantas pueden condicionar la inflamabilidad, como son: el tamaño y la forma foliar, la presencia de aceites volátiles y resinas, la humedad, el contenido mineral, de ligninas y de ceras (Zylstra 2014), además del contenido calórico (Dimitrakopoulos *et al.* 2011).

Es probable que los rasgos foliares tales como la composición química y estructura física, sean indicadores clave de la inflamabilidad de las plantas debido a que las hojas tienden a tener una alta proporción entre el área superficial y el volumen (Cornelissen *et al.* 2003), lo que las hace mucho más susceptibles a incendiarse e inducir la inflamabilidad en la totalidad de la planta, por tanto, es apropiado emplear

1. Universidad de Antioquia, Instituto de Biología, Calle 67 N° 53-108, Medellín, Colombia

2. Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, Calle 67 N° 53-108, Medellín, Colombia

3. Autor correspondiente: alveiro.alzate@udea.edu.co

la inflamabilidad foliar como un parámetro importante para aproximarse a la inflamabilidad de la toda la planta.

Doran *et al.* (2004) plantea que las hojas con grosores delgados tienden a secarse rápidamente y se inflaman con facilidad, mientras que las plantas que poseen hojas gruesas o suculentas generalmente mantienen alto contenido de humedad, incluso en sequías, demoran más en incendiarse y por tanto tienen baja inflamabilidad; siendo las hojas pequeñas, en forma de aguja, generalmente más inflamables que aquellas plantas con hojas amplias y planas.

De acuerdo con Chandler *et al.* (1983), por lo general, plantas con altos valores en la proporción área/volumen en las láminas foliares, generan bajos tiempos de ignición y altas tasas de propagación del fuego. En lo que concierne al contenido de humedad, este factor afecta la inflamabilidad físicamente aumentando la capacidad térmica del tejido y químicamente inhibiendo el proceso de combustión flameante (Etlinger & Beall 2004) y por tanto, acorde con Zylstra (2014), la humedad regula la conductancia del calor en la hoja.

Se sabe que algunos tipos de resinas y compuestos volátiles de las plantas son altamente inflamables, se incendian a bajas temperaturas, aún con pequeñas concentraciones (Della Rocca *et al.* 2020, Pausas *et al.* 2016) y esto hace que las plantas que poseen este tipo de compuestos tengan tendencia a incendiarse fácilmente (Liodakis *et al.* 2002).

En Colombia los estudios sobre el comportamiento del fuego en la vegetación, se han enfocado principalmente en mapeos y teledetección satelital a gran escala de coberturas vegetales (Parra 2011, Armenteras 2009), y en evaluaciones de inflamabilidad de la madera con fines industriales, sin tener en cuenta las partes generalmente más sensibles al fuego, como lo son el follaje y las ramas (Doran *et al.* 2004).

De acuerdo con Ganteaume *et al.* (2013), conocer la inflamabilidad de especies vegetales permite realizar recomendaciones sobre el uso y monitoreo de la flora urbana, lo cual es muy relevante, en el caso de ciudades como Medellín, que poseen gran extensión de vegetación no sólo en su área urbana, sino también en sus alrededores, y que por ende pueden ser susceptibles a incendios forestales y a sus consecuencias.

Los objetivos de este trabajo se enfocan en evaluar la inflamabilidad de algunas especies de plantas vasculares cultivadas en la ciudad de Medellín, Colombia, así como algunas de sus características físico-químicas que puedan influir en su inflamabilidad. Al definir las potencialidades ignífugas de estas especies se permite diagnosticar cuáles podrían ser usadas en la prevención de incendios forestales.

Materiales y métodos

Toma de datos - La inflamabilidad de 11 especies de plantas vasculares encontradas en la ciudad de Medellín, se evaluó: *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth, *Calathea zebrina* Lindl., *Clusia multiflora* Kunth, *Costus guanaiensis* Rusby, *Eucalyptus cinerea* Benth., *Guazuma ulmifolia* Lam., *Malpighia glabra* L., *Mammea americana* L., *Philodendron bipinnatifidum* Schott., *Posoqueria latifolia* (Rudge) Schult. y *Yucca aloifolia* L. Las plantas fueron seleccionadas por conocerse reportes de ser propagadoras o ralentizadoras de

incendios forestales, o también por sus características físicas y químicas que llevaron a plantear su posible inflamabilidad.

Para los experimentos solamente se emplearon las hojas de las plantas seleccionadas, ya que además de la litera, las ramas pequeñas y el corcho, son los materiales más abundantes y que generalmente, de manera más fácil se incendian. Tal como lo sugiere Hachmi (2011), se recolectaron hojas de varios individuos para cada especie, las cuales presentaban similar estado de desarrollo, fueron realizados los ensayos de inflamabilidad el mismo día de su recolecta y en el menor tiempo posible, para evitar en lo posible la deshidratación de los tejidos.

Las variables de inflamabilidad que se midieron en las hojas de las plantas fueron: tiempo de ignición el cual se tomó como el tiempo transcurrido hasta que apareció la primera llama sostenida, y tiempo de sostenibilidad, el cual fue la diferencia entre el tiempo de ignición y el de extinción de la llama. En cuanto a las variables físico-químicas, estas fueron: área, grosor, proporción área/volumen y porcentaje de humedad. El área foliar se halló usando el programa Image-J (Schneider *et al.* 2012) con una digitalización previa de fotos tomadas a las hojas recolectadas, escalando apropiadamente las imágenes en el programa. El volumen fue hallado según la metodología empleada por Grootemaat *et al.* (2015) para especies de hoja ancha. El porcentaje de humedad fue calculado como el peso fresco menos peso seco, dividido por el peso seco, tal como lo proponen autores como Petriccione (2005) y Ganteaume *et al.* (2013).

Con el objetivo de efectuar el diagnóstico de la inflamabilidad se han utilizado diferentes metodologías (White *et al.* 2010), pero la escogida en este trabajo se fundamenta en la adaptación del método propuesto por Valette (1990), en la cual se emplea un epirradiator con fuente de calentamiento eléctrico, que genera una temperatura superficial constante de 420 °C. El equipo utilizado consiste de un quemador de combustión en medio poroso sumergido, con una fuente gaseosa de calentamiento, más una base inerte de cerámica donde se disponen las hojas para su quema. Se recurrió a esta metodología con la finalidad de hacer los resultados comparables con los generados en diversos países.

Siguiendo la metodología de Valette (1990), se dispuso un quemador tipo bunsen con dirección transversal y a una altura de 4 cm de la base de cerámica; que permite una ignición más regulada de los gases combustibles emitidos durante la combustión de las hojas (Ganteaume *et al.* 2013, Valette 1990, Núñez *et al.* 1999, Petriccione 2005), para evitar que los gases liberados de la planta interfirieran con la respuesta de los tiempos de inflamabilidad de la hoja.

Para cada especie, se dispuso de 1 g de hojas para su quema y se tomaron los tiempos respectivos con cronómetro digital, realizando 50 repeticiones para cada especie, como lo propone Valette (1990). Las hojas que poseían áreas foliares que excedían la base de cerámica, se cortaban con un área de un cuadrado de 6,25 cm². El control de temperatura se realizó con la ayuda de una cámara termográfica marca Testo 885-2, para comprobar que la temperatura fuera uniforme y estable en la base donde se disponían las hojas.

A partir de los datos obtenidos del número de igniciones positivas y del tiempo de ignición, se obtuvo un valor de

inflamabilidad para cada una de las especies evaluadas, según la metodología adaptada propuesta por Valette (1990).

Adicionalmente, se tomó el porcentaje de humedad de las hojas (Ganteaume *et al.* 2013), depositando las hojas en un horno de secado a 70 °C, hasta obtener peso seco constante. El grosor foliar se midió mediante la ayuda de un tambor micrométrico adaptado a un microscopio óptico, bajo un objetivo de 10X, realizando cortes transversales del tejido y evitando las venas principales. También se calculó el volumen a partir del área y grosor (Grootemaat *et al.* 2015), así como también la proporción Área/Volumen.

Análisis de datos - Se estimaron los valores medios (mediana) de los datos tomados para la inflamabilidad, además se realizó un análisis cluster jerárquico de similitud (Ganteaume *et al.* 2013) con la media de cada una de dichas variables para visualizar la afinidad en la inflamabilidad entre las especies evaluadas.

Posteriormente, se construyó una matriz de correlaciones para todas las especies con todas las variables incluidas, y luego, se llevaron a cabo regresiones lineales simples, tomando como variables respuesta las medias de los tiempos de ignición y de sostenibilidad, y como variables explicativas, las medias de las características foliares de las especies. Debido al bajo número de variables explicativas, se realizaron regresiones simples en lugar de múltiples, en el software R-Rcmdr (R core team 2008). Adicionalmente se hicieron regresiones lineales simples y múltiples entre las variables físico-químicas medidas y las de inflamabilidad para cada especie.

Resultados

Eucalyptus cinerea fue la especie que obtuvo una calificación de mayor inflamabilidad para las especies evaluadas, correspondiendo a la categoría de altamente inflamable, como se presenta en la tabla 1.

En la figura 1 se muestran diagramas de cajas que contienen las medianas para los tiempos de inflamabilidad. *Yucca aloifolia*, *Calathea zebrina*, *Chusia multiflora* y *Costus guanaiensis* presentaron los mayores valores medios de ignición y fueron clasificadas todas dentro de la categoría de Poca Inflamabilidad de acuerdo a Valette (1990), como se presenta en la tabla 1.

Los tiempos medios de ignición y la media de sostenibilidad fueron estimados para el total ensayos positivos de ignición obtenidos. Por otra parte, las medias de las variables físico-químicas fueron calculadas a partir de 30 repeticiones para cada variable. Los resultados se muestran en la tabla 2.

El dendrograma para los tiempos medios de ignición muestra una separación de dos grandes grupos (figura 2), donde el grupo de la derecha abarca a las especies con menores tiempos medios de ignición (tabla 2), incluyendo a *E. cinerea* y *G. ulmifolia*, las cuales tuvieron los más bajos tiempos medios, con valores similares entre sí (valor $p = 0,1439$, $p > 0,05$). Aun así, *Eucalyptus cinerea* presentó mayores frecuencias de ignición (tabla 1) y por tanto, un valor de inflamabilidad mayor al de *Guazuma ulmifolia*.

En el dendrograma para los Tiempos de Ignición, además de *E. cinerea* y *G. ulmifolia*, se agrupan las especies *P. latifolia*, *M. americana*, *B. crassifolia*, *M. glabra* y *P. bipinnatifidum*, las cuales tienen tiempos medios de ignición muy cercanos entre sí, exceptuando a *P. latifolia* (figura 1). La especie *Philodendron bipinnatifidum*, es la única de las plantas evaluadas con área foliar grande (con forma pinnatífida alargada) que no se agrupa en el cluster de la izquierda, debido a que posee un punto de ignición más bajo. Respecto a *Posoqueria latifolia*, esta exhibió el mayor valor de ignición de las especies del grupo de la derecha según la figura 2, y a su vez es la planta con mayor grosor foliar dentro de dicho grupo.

Tabla 1. Resultado de las mediciones de ignición para las especies, ordenadas de mayor a menor inflamabilidad. Se presentan las frecuencias de ignición, el rango de tiempo medio de ignición en segundos, los valores de inflamabilidad y la categoría o clasificación obtenida, según la metodología de Valette (1990).

Table 1. Result of ignition measurements for species, ordered from highest to lowest flammability. The ignition frequencies, the average ignition time range in seconds, the flammability values and the category or classification obtained are presented, according to the methodology of Valette (1990).

Especie	Frecuencia de ignición	Rango de tiempo medio de ignición (s)	Valor de Inflamabilidad	Calificación o Categoría
<i>Eucalyptus cinerea</i>	48	12,5-17,5	4	Altamente inflamable
<i>Malpighia glabra</i>	48	17,5-22,5	3	Inflamable
<i>Guazuma ulmifolia</i>	44	12,5-17,5	3	Inflamable
<i>Posoqueria latifolia</i>	42	22,5-27,5	2	Moderadamente inflamable
<i>Philodendron bipinnatifidum</i>	39	17,5-22,5	2	Moderadamente inflamable
<i>Mammea americana</i>	41	17,5-22,5	2	Moderadamente inflamable
<i>Byrsonima crassifolia</i>	42	17,5-22,5	2	Moderadamente inflamable
<i>Yucca aloifolia</i>	47	>32,5	1	Poca inflamabilidad
<i>Calathea Zebrina</i>	47	>32,5	1	Poca inflamabilidad
<i>Clusia multiflora</i>	47	>32,5	1	Poca inflamabilidad
<i>Costus guanaiensis</i>	45	>32,5	1	Poca inflamabilidad

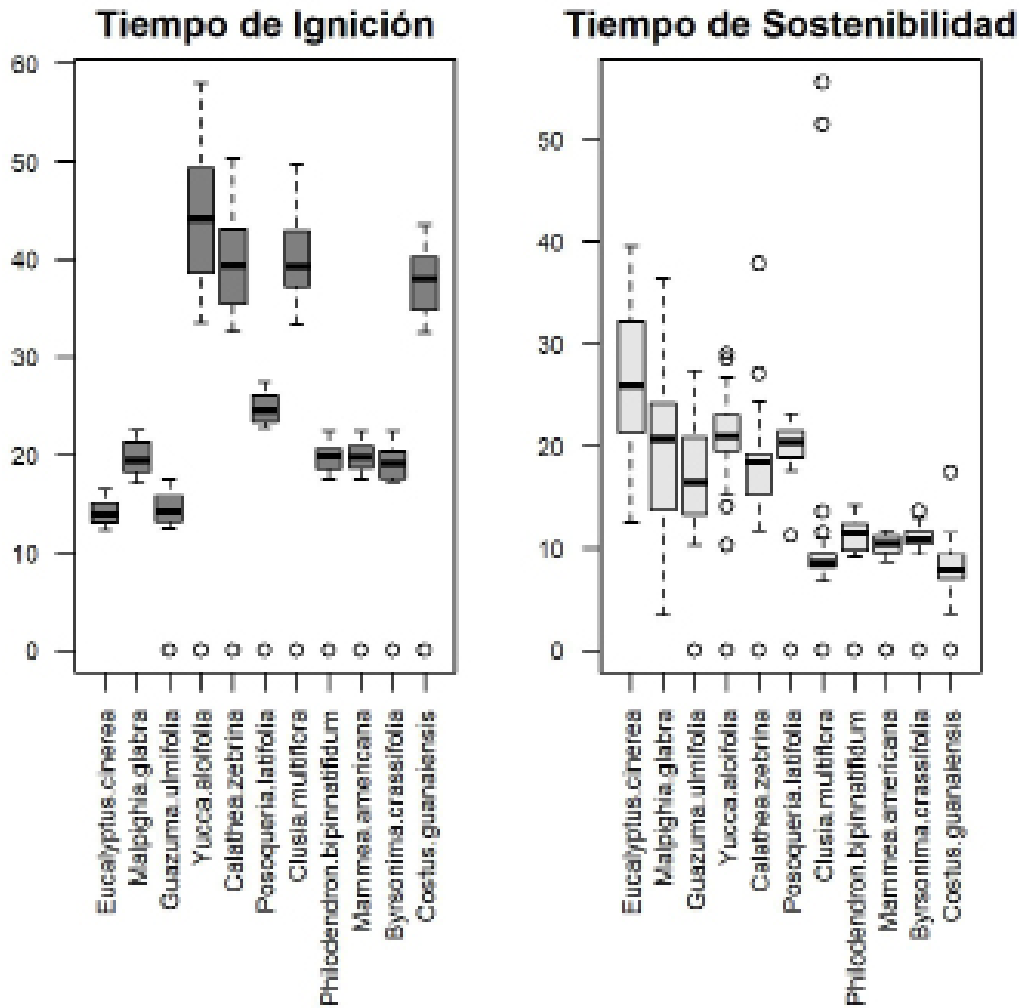


Figura 1. Diagramas de caja para las variables de inflamabilidad estimadas para cada especie. En el eje vertical se presenta la mediana de los tiempos de ignición (izquierda) y de sostenibilidad (derecha), junto con las desviaciones estándar para cada especie.

Figure 1. Box plots for the estimated flammability variables for each species. The vertical axis shows the median of the ignition times (left) and sustainability (right), together with the standard deviations for each species.

Tabla 2. Tiempos medios de inflamabilidad en segundos (s) obtenidos para las 11 especies de plantas evaluadas, Tiempo de ignición (TI) y Tiempo de sostenibilidad (TS) y variables foliares físico-químicas: Área (cm), Grosor (cm), proporción Área/Volumen y porcentaje de humedad estimadas para cada especie.

Table 2. Average flammability times in seconds (s) obtained for the 11 species of plants evaluated, Ignition time (TI) and Sustainability time (TS) and physical-chemical foliar variables: Area (cm), Thickness (cm), Area/Volume ratio and percentage of humidity estimated for each species.

Especie	TI	TS	Área	Grosor	Área/volumen	Porcentaje de humedad
<i>Yucca aloifolia</i>	44,64	21,37	154,83	0,086	11,62	245,31
<i>Clusia multiflora</i>	40,65	10,78	55,48	0,067	14,89	469,31
<i>Calathea zebrina</i>	39,66	18,30	344,76	0,028	35,53	302,42
<i>Costus guanaiensis</i>	38,29	8,3	465,64	0,0429	23,27	785,2
<i>Posoqueria latifolia</i>	25,06	20,52	53,17	0,0576	17,38	140,21
<i>Philodendron bipinnatifidum</i>	20,29	11,80	1029,97	0,0299	33,49	243,92
<i>Mamea americana</i>	20,20	10,55	73,59	0,038	26,75	112,45
<i>Malpighia glabra</i>	19,69	18,81	4,21	0,022	44,97	209,17
<i>Byrsonima crassifolia</i>	19,50	11,19	67,25	0,021	46,58	122,63
<i>Guazuma ulmifolia</i>	14,64	17,80	32,04	0,039	25,44	116,26
<i>Eucalyptus cinerea</i>	14,22	26,68	16,41	0,036	27,84	152,64

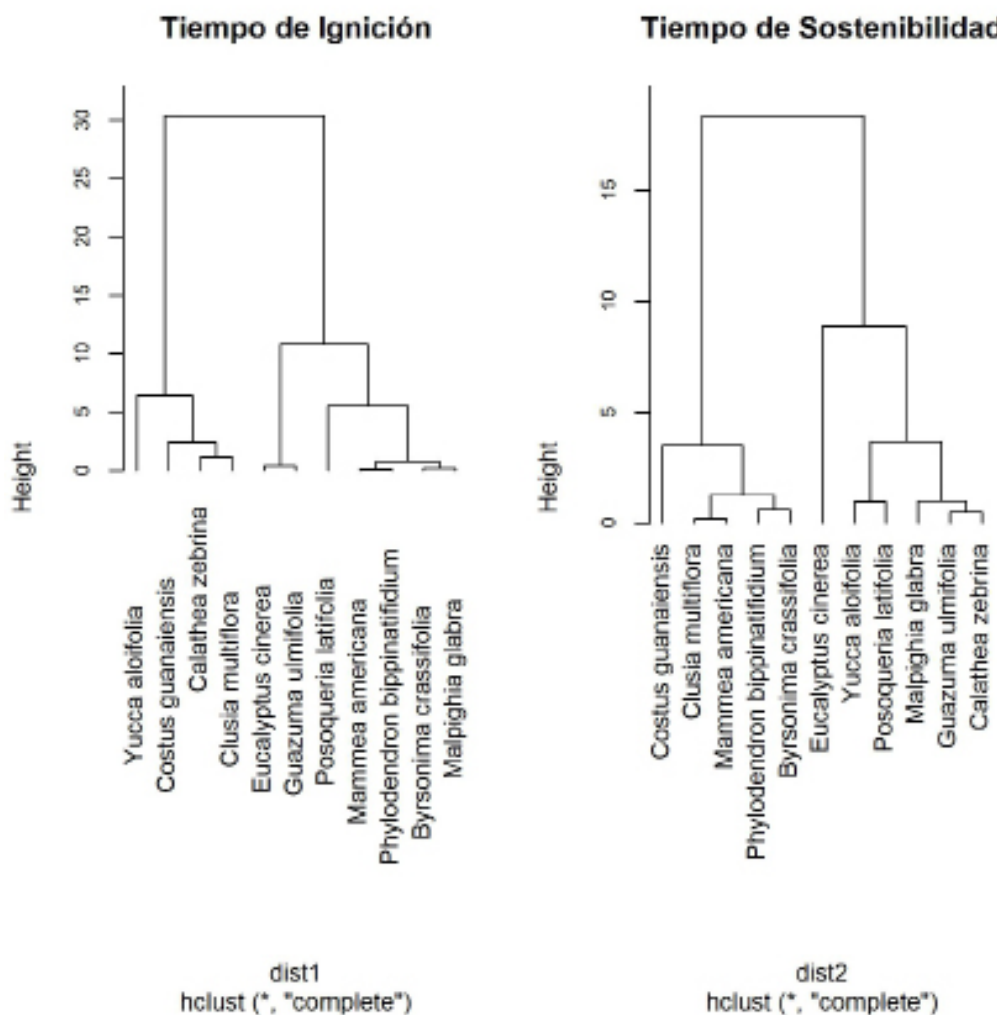


Figura 2. Dendrogramas para el análisis cluster jerárquico por el método de UPGMA para cada variable de inflamabilidad. A la izquierda: Dendrograma para el Tiempo de ignición; a la derecha Dendrograma para el tiempo de sostenibilidad.

Figure 2. Dendrograms for hierarchical cluster analysis by UPGMA method for each flammability variable. Left: Dendrogram for Ignition Time; on the right Dendrogram for sustainability time.

En el cluster de la izquierda para el dendrograma de ignición, se encuentran las especies que mostraron tiempos de ignición más altos. Dentro de este grupo, *Yucca aloifolia* fue la planta con mayor grosor foliar y tuvo el mayor efecto retardante al fuego, mientras que *Costus guanaiensis*, también agrupada en el mismo cluster, presentó el más alto porcentaje de humedad de todas las especies estudiadas (tabla 2).

En general las plantas con tiempos de ignición más retardados (figura 2), presentaron grosos foliares mayores, con la excepción de *Calathea zebrina* y *Posoqueria latifolia*. Además, las plantas con mayores porcentajes de humedad ostentaron mayores valores en el punto de ignición, tal como se puede observar entre la tabla 2 y en el dendrograma de la figura 2.

En general las plantas con los más altos valores de ignición (figura 2) poseen los menores valores en la relación área/volumen, con la excepción de *Calathea zebrina* que tiene una relación área/volumen alta respecto a su cluster, por poseer un bajo grosor foliar, lo cual afecta la razón

área/volumen. Por su parte, la mayoría de especies con los menores valores en el tiempo de ignición de la derecha (figura 2) tienen los valores más altos de proporción área/volumen.

Las especies *C. multiflora*, *P. bipinnatifidum*, *M. americana*, *C. guanaiensis* y *B. crassifolia* se diferencian de las demás por presentar bajos valores medios de sostenibilidad (figura 1, tabla 2). Por su parte, *Eucalyptus cinerea* presentó el valor mayor sostenibilidad de la llama, lo que implica que puede propagar muy fácilmente los incendios a otras superficies o plantas aledañas.

La especie *Costus guanaiensis* fue la planta que extinguió más rápidamente el fuego de su superficie foliar, por lo que se clasifica como baja propagadora de incendios. Otras plantas como lo son *B. crassifolia*, *M. americana*, *P. bipinnatifidum* y *C. multiflora* también se caracterizaron por sus cortos tiempos de sostenibilidad de la llama.

En la tabla 3 se muestran los resultados de las regresiones lineales simples entre las variables de inflamabilidad y las físico-químicas. El tiempo de ignición presentó correlaciones, aunque no muy fuertes, con variables físico-químicas como la

Tabla 3. Regresiones lineales simples para el conjunto de especies. Las variables respuesta son las referentes a inflamabilidad (TI y TS). x: explicativas son las físico-químicas. H: humedad, A: área, G: grosor foliar y A/V: razón área/volumen.

Table 3. Simple linear regressions for the set of species. The response variables are those referring to flammability (TI and TS). x: the explanatory ones are the physical-chemical ones. H: humidity, A: area, G: foliar thickness and A/V: area/volume ratio.

Y	A	B	x	R ²	p-valor
TS	19,66	-0.013801	H	0,2319	0,134
TS	17,51	-0,007132	A	0,1441	0,249
TS	13,99	47,571	G	0,02702	0,6291
TS	17,73	-0,061	A/V	0,01437	0,7256
TI	17,40	0,0365	H	0,4161	0,0321
TI	26,006	0,00469	A	0,01612	0,7099
TI	11,67	359,55	G	0,3992	0,03703
TI	41,22	-0,509	A/V	0,2585	0,1103

humedad (0,6451) y el grosor foliar (0,6318), mientras que el tiempo de sostenibilidad tuvo una correlación negativa baja con el porcentaje de humedad (-0,4934).

La regresión lineal sugiere que las variables porcentaje de humedad y grosor foliar aportan significativamente a explicar la variabilidad en el tiempo de Ignición. El 41,61 % de la variabilidad en el tiempo de ignición es explicado en la regresión lineal por el porcentaje de humedad y el 39,92 % de la variabilidad del tiempo de ignición es explicado por el grosor foliar. El análisis de las demás variables físicas para los tiempos de ignición y de sostenibilidad no arrojaron relaciones significativas ($p > 0,05$). Por su parte los resultados de las regresiones lineales simples y múltiples para cada especie, no arrojaron valores p significativos.

Discusión

Respecto a los tiempos de ignición, la clasificación de *Eucalyptus cinerea* como Altamente Inflamable (tabla 1) concuerda con lo reportado en otros estudios, donde la clasifican en rangos de Moderada a Altamente Inflamable. Algunos autores como Gill & Moore (1996) obtuvieron valores muy similares en el tiempo medio de ignición en ensayos con *E. cinerea*. Esta especie fue seleccionada para tener un punto de comparación y verificación respecto a la metodología clásica del epirradiator, puesto que el montaje realizado fue una adaptación del original. El tener una respuesta dentro de los rangos esperados, permite suponer que la metodología empleada fue acertada y es compatible con la planteada originalmente por Valette (1990).

Pearson (1993) plantea que algunas especies como *E. cinerea* producen aceites esenciales, que por su naturaleza tienden a ser inflamables, y este factor incide en la respuesta de los tiempos de ignición, fomentando la inflamabilidad foliar, por lo que se recomienda considerar este factor dentro de las variables foliares para determinar sus influencias sobre la inflamabilidad de la planta.

Guazuma ulmifolia y *Byrsonima crassifolia* han sido consideradas como plantas que tienen cierta resistencia ante los incendios, y por tanto se cultivan como barreras cortafuego. Santander (1988) menciona que *G. ulmifolia* ha sido usada como retardante de fuegos, aunque no se encontraron trabajos de Inflamabilidad para ninguna de las especies empleadas en esta evaluación, a excepción de *Eucalyptus cinerea*. La especie *B. crassifolia* resultó ser Moderadamente Inflamable y *G. ulmifolia* Inflamable, contrario a lo que se esperaba, considerando los reportes tradicionales, conocidos de algunas regiones de Colombia.

Los porcentajes de humedad y el grosor foliar fueron variables que influyeron en los tiempos medios de ignición entre las especies evaluadas, según lo demuestran las regresiones lineales significativas generadas entre dichas variables. Igualmente, en estudios para otras especies, como en Kauf *et al.* (2014) y White *et al.* (2010), estos dos factores han resultado tener una marcada influencia en la inflamabilidad.

Las plantas con mayores porcentajes de humedad a su vez tuvieron tiempos de ignición bajos. En general, la humedad foliar promueve que los tiempos de ignición disminuyan, dado que soportan más altas temperaturas, pues los tejidos se encuentran más hidratados, lo que según Etlinger & Beall (2004) retarda la aparición de llamas en los tejidos cuando se exponen a altas temperaturas.

Las plantas con mayores grosores foliares (cluster 1 en figura 2) presentaron menores tiempos de ignición y de acuerdo con lo planteado por Zylstra (2014), usualmente las plantas crasas o con considerables grosores foliares, exhiben tiempos de inflamabilidad bajos, pues al tener mayor grosor, ostentan mayor contenido de humedad, lo que retarda el proceso exotérmico de ignición.

Para este estudio, las especies de hojas con mayores tamaños foliares presentaron mayor inflamabilidad. A pesar de que solamente se dispuso una porción de hoja en la base de calentamiento, al realizar la correlación de la inflamabilidad con la fracción área/volumen real de las hojas, se encuentra que las especies con mayores valores en esta proporción, poseen menor inflamabilidad (figura 2), resultado que concuerda con lo esperado para esta variable de acuerdo con lo propuesto por Chandler *et al.* (1983).

La realización de mediciones de inflamabilidad con las láminas foliares completas para las especies: *C. guanaiensis*, *C. zebrina*, *Y. aloifolia* y *P. bipinnatifidum*, permitiría corroborar la influencia del área y la proporción área/volumen sobre la inflamabilidad foliar. Para ello se requiere implementar modificaciones a la metodología propuesta por Valette (1990) que permita incluir mayor cantidad de biomasa sobre la base del epirradiator.

Respecto a los tiempos de sostenibilidad, se puede evidenciar en las regresiones lineales, que ninguna de las variables físico-químicas aporta significativamente a explicar la sostenibilidad de la llama. Por tanto, es posible que existan otras variables no tenidas en cuenta en este estudio que expliquen o ejerzan influencia sobre este factor de la inflamabilidad. White *et al.* (2010) plantean que el contenido calórico, definido como la energía térmica potencial que puede liberarse durante la combustión de un combustible

(Dimitrakopoulos *et al.* 2013), es indicador de la habilidad con que un material sostiene la llama.

La suma de todas las variables morfológicas y los componentes químicos como el contenido calórico y mineral, el contenido de compuestos orgánicos y elementos celulares tanto de las hojas de las plantas como de los individuos enteros, podrían explicar de una manera más amplia y quizá más precisa la inflamabilidad de las especies (White *et al.* 2010, Dimitrakopoulos *et al.* 2013, Núñez 1999, Liodakis *et al.* 2002). Por lo tanto, el desarrollo de estudios más amplios podría ser más concluyente en explicar el comportamiento de estas plantas ante el fuego.

La importancia relativa de cada variable para cada especie puede ser única y diferir respecto a otras, incluso White *et al.* (2010) propone que, para una misma especie, bajo ciertas condiciones ambientales, climáticas y fenológicas pueden variar las mencionadas características, ocasionando cambios, aunque sean leves en los valores de las variables de la inflamabilidad. Por consiguiente, los análisis para cada especie que incluyan mediciones bajo diferentes condiciones pueden ser adecuados para conocer la variabilidad intraespecífica en la respuesta de inflamabilidad.

Según la clasificación de Valette (1990), las cuatro plantas que presentaron menores tiempos de ignición (figura 1), cuya clasificación corresponde a la categoría de Poca Inflamabilidad (tabla 1), son las especies que demoran más en presentar la fase exotérmica de liberación de llamas, y por tanto sus superficies foliares son más resistentes a incendios. Este tipo de especies pueden ser empleadas como barreras verdes, siendo esto una estrategia que, según Batista (2012) permite un control más oportuno de los incendios forestales.

Los menores valores de sostenibilidad obtenidos para las especies *C. multiflora*, *P. bipinnatifidum*, *M. americana*, *C. guanaiensis* y *B. crassifolia*, indican que estas no retienen la fase exotérmica tanto como el resto de plantas evaluadas. Por tanto, en un incendio se extinguirá rápidamente la llama de su superficie foliar evitando la propagación rápida a otras superficies como plantas cercanas, infraestructuras, matrices de bosque o cultivos.

Conclusiones

Las plantas que poseen mayores tiempos de ignición y un corto tiempo de sostenibilidad son ideales para ser cultivadas como cortafuegos en zonas con alta frecuencia e impacto de incendios. Estas plantas presentan tanto un efecto retardante a la incidencia y propagación de incendios en sus superficies foliares vivas. En este estudio, las plantas con mayores tiempos de ignición y menores tiempos de sostenibilidad fueron *Costus guanaiensis* y *Clusia multiflora* (figura 1), las cuales constituyen excelentes opciones para ser incluidas en programas de control de incendios de áreas naturales, tanto urbanas como rurales. Sin embargo, su siembra y utilización deben estar supeditadas a tener las condiciones medioambientales requeridas por las especies.

El conocimiento de la inflamabilidad de las especies de plantas permite una apropiada evaluación del riesgo a incendios de áreas o coberturas vegetales a partir de la caracterización de la inflamabilidad particular de su

vegetación, lo cual no ha sido incluida en los planes de manejo de la mayoría de ciudades del mundo y lo cual puede ser establecido mediante análisis como el realizado en este trabajo y de forma preliminar, analizando las características morfológicas, anatómicas y metabólicas de las especies a considerar como barrera cortafuegos.

Agradecimientos

Este trabajo de investigación fue posible gracias al personal del Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de la Energía-GASure, Grupo de Estudios Botánicos GEOBOTA y el herbario HUA de la Universidad de Antioquia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Fernando Alzate-Guarín: Concibió el proyecto junto a Lina Muñoz y participó en la adecuación del modelo experimental, además tomo parte del análisis de datos y redacción del artículo.

Lina Muñoz: Participó en el diseño del proyecto, toma de datos, experimentación, análisis de resultados y redacción del artículo.

Andrés Amell: Participó en la adecuación del diseño experimental, análisis de resultados y redacción del artículo.

Literatura citada

- Anderson, H.E. 1970. Forest Fuel Ignitability. *Fire Technology* 6(4): 312-319.
- Armenteras, D., González-Alonso, F. & Franco, C.A. 2009. Distribución geográfica y temporal de incendios en Colombia utilizando datos de anomalías térmicas. *Caldasia* 31(2): 303-318.
- Batista, A.C., Biondi, D., Tetto, A.F., de Assunção, R., Tres, A., Travenisk, R.C. & Kovalsky, B. 2012. Evaluación de la Inflamabilidad de Árboles y Arbustos Utilizados en la Implementación de Barreras Verdes en el Sur del Brasil. En: A. González-Cabán, (Coord.). *Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Climate Change and Wildfires*. U.S. Department of Agriculture; Forest Service; Pacific Southwest Research Station, Albany, pp.278-286.
- Behm, A.L., Long, A.J., Monroe, M.C., Randall, C.K., Zipperer, W.C. & Hermansen-Báez, L.A. 2004. Fire in the Wildland-Urban Interface: Preparing a Firewise Plant List for WUI Residents, University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS) y USDA Forest Service University of Florida.
- Cornelissen, J., Lavorel, S., Garnier, E., Diaz S., Buchmann, N., Gurvich, D., Reich P., Ter Steege, H., Morgan, H., Van Der Heijden, M., Pausas, J. & Pooter H. 2003. Handbook of protocols for standardized

- and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* 51: 335-380.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L. & Williams, D.** 1983. *Fire in Forestry: Forest Fire Behavior and Effects*. 1 ed. John Wiley & Sons, Ltd. New York.
- Della Rocca, G., Danti, R., Hernando, C., Guijarro, M., Michelozzi, M., Carrillo, C. & Madrigal, J.** 2020. Terpenoid Accumulation Links Plant Health and Flammability in the Cypress-Bark Canker Pathosystem. *Forests* 11(6): 651-667.
- Dimitrakopoulos, A., Mitsopoulos, I., & Kaliva, A.** 2013. Comparing flammability traits among fire-stricken (low elevation) and non-fire-stricken (high elevation) conifer forest species of Europe: A test of Mutch hypothesis. *Forest Systems*, 21 (1): 133-137.
- Doran, J.D., Randall, C.K. & Long, A.J.** 2004. *Fire in the wildland-urban interface: selecting and maintaining fire wise plants for landscaping*. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Services, Florida Cooperative Extension Service Circular 1445. Gainesville.
- Elvira, L.M. & Lara, H.** 1989. Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque: estudio piloto con aplicación a los incendios forestales, Monografías INIA.
- Etlinger, M.G. & Beall, F.C.** 2004. Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. *International Journal of Wildland Fire* 13(4): 479-488.
- Ganteaume, A., Jappiot, M., Lampin, C., Guijarro, M. & Hernando, C.** 2013. Flammability of some ornamental species in wildland-urban interfaces in southeastern France: laboratory assessment at particle level. *Journal of Environmental Management* 52: 467-480.
- Gill, A.M. & Moore, P.H.** 1996. Ignitibility of leaves of Australian plants. CSIRO Division of Plant Industry: Canberra.
- Grootemaat, S., Wright I., van Bodegom, P., Cornelissen, J. & Cornwell, W.** 2015. Burn or rot: leaf traits explain why flammability and decomposability are decoupled across species. *Functional Ecology* 29: 1486-1497.
- Hachmi, M. H., Sesbou, A., Benjelloun, H., El Handouz, N. & Bouanane, F.** 2011. A simple technique to estimate the flammability index of Moroccan forest fuels. *Journal of Combustion* ID 263531.
- Kauf, Z., Fangmeier, A., Rosavec, R. & Spanjol, Z.** 2014. Testing vegetation flammability: the problem of extremely low ignition frequency and overall Flammability Score. *Journal of Combustion*.
- Liodakis, S., Bakirtzis, D. & Dimitrakopoulos, A.** 2002. Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data. *Thermochimica Acta* 390(1-2): 83-91.
- Martin, R.E., Gordon, D.A., Gutierrez, M.E., Lee, D.S., Molina, D.M., Schroeder, R.A. Sapsis, D.B., Stephens, S.L. & Chambers, M.** 1994. Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation. *Proceedings of the International Conference on Fire and Forest Meteorology* 12: 130-137.
- Núñez, L., Rodríguez, J. & Proupín, J.** 1999. Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the humid Atlantic zone of Galicia (NW Spain). *Thermochimica acta* 349(1):103-119.
- Parra, A. & Bernal, F.** 2011. Introducción a la ecología del fuego. En: A. Parra (ed.). *Incendios de la Cobertura Vegetal en Colombia*. Universidad Autónoma de Occidente: Cali, Colombia, pp. 17-51.
- Pausas, J., Alessio, G., Moreira, B. & Segarra-Moragues, J.** 2016. Secondary compounds enhance flammability in a Mediterranean plant. *Oecologia* 180:103-110.
- Pearson, M.** 1993. The Good Oil: Eucalyptus oil distilleries in Australia. *Australasian Historical Archaeology* 11: 99-107.
- Petriccione, M.** 2005. *Infiammabilità della lettiera di diverse specie vegetali di ambiente mediterraneo*. Tesis de doctorado, Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Napoles.
- Santander, C. & Campos, J.** 1988. El Guacimo (*Guazuma ulmifolia* Lam.), especie forestal de uso múltiple para los trópicos húmedos. 1ed. CASAF Ltda, Costa Rica.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. & Eliceiri, K.W.** 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9(7): 671-675.
- Valette, J.C.** 1990. Inflammabilité des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. *Revue forestière française* 42:76-92.
- Vélez, R.** 2000. *La defensa contra Incendios Forestales: fundamentos y experiencias*. 2 ed. McGraw Hill, Madrid.
- White, R.H. & Zipperer, W.C.** 2010. Testing and classification of individual plants for fire behaviour: plant selection for the wildland-urban interface. *International Journal of Wildland Fire* 19:213-227.
- Zylstra, P.** 2014. Live fuel moisture and wildland fire behavior. In: D. Viegas (ed.) *Advances in forest fire research*. Coimbra, Portugal. Imprensa da Universidade de Coimbra, pp. 326-335.

Recibió: 01/06/2021

Aceptado: 03/11/2021

Editor Asociado: Natália Macedo Ivanauskas

