

Revista Cubana de Ciencias Forestales

Volumen 13, número 2; 2025, mayo-agosto



Carga de combustible y su inflamabilidad para un área de páramo en el sur de Ecuador

Fuel load and their inflammability in a paramo area in south Ecuador

Carga de combustívoel e inflamabilidade para uma área de páramo no sul do Equador

Luis Muñoz-Chamba^{1*} , Abigail González¹ , Johana Muñoz¹ 
Zhofre Aguirre¹ 

¹Universidad Nacional de Loja. Ecuador.

*Autor para la correspondencia: mluis1111@gmail.com

Recibido: 03/11/2024.

Aprobado: 04/05/2025.

Publicado: 05/05/2025

RESUMEN

La caracterización de combustibles vegetales presentes en los páramos del Ecuador constituye una tarea clave para dar inicio a actividades sobre el manejo integral del fuego. Esta investigación se propuso determinar la carga del combustible vegetal y su inflamabilidad en un área de páramo en el sur de Ecuador. Se evaluaron los combustibles arbustivos, herbáceos y muertos. Las estimaciones se realizaron mediante un método directo en tres subparcelas de 0,25 m² distribuidas sistemáticamente en una parcela de 4 m². Se colectaron muestras de los combustibles, que fueron movilizadas al laboratorio para el respectivo secado. La relación entre peso húmedo y seco de las muestras permitió calcular el factor de conversión que sirvió para estimar la carga de combustible. Para la



inflamabilidad se seleccionaron muestras secas de 5 g, con 20 repeticiones por combustible, y con el método de llama directa se calculó el tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama, combustibilidad y la categoría de inflamabilidad. La carga de combustible del páramo fue de 8,2 t ha⁻¹, donde el 47,2 % fue muerto, 40,1 % herbáceo y 12,7 % arbustivo. La categoría de inflamabilidad de los tres tipos de combustibles fue muy extremadamente inflamable. El componente herbáceo fue más representativo en cuanto a tiempo de ignición, altura de llama y combustibilidad; mientras que, el componente arbustivo sobresalió en la sostenibilidad. El páramo presenta una importante carga de combustibles y una categoría de muy extremadamente inflamable, lo que convierte a este ecosistema como altamente inflamable y susceptible a los incendios forestales.

Palabras clave: biomasa; comportamiento del fuego; diversidad florística; incendios forestales; régimen del fuego.

ABSTRACT

Characterizing vegetable fuels present in the paramos of Ecuador is a key task to initiate activities on integrated fire management. This study determined the plant fuel load and flammability in a paramo area in southern Ecuador. Shrub, herbaceous, and dead fuels were evaluated. The estimates were made using a direct method in three subplots of 0.25 m² systematically distributed in plot of 4 m². Collected fuel samples were mobilized to the laboratory for the subsequent drying. The relationship between the wet and dry weight of the samples allowed the calculation of the conversion factor used to estimate the fuel load. For flammability, dry samples of 5 g were selected, with 20 repetitions per fuel, and with the direct flame method, ignition time, sustainability, flame height, combustibility, and flammability category were calculated. The moorland fuel load was 8.2 t ha⁻¹, where 47.2 % was dead, 40.1 % herbaceous and 12.7 % shrub. The flammability category of the three types of fuels was very extremely flammable, the herbaceous component was more representative in terms of ignition time, flame height, and combustibility, while the shrub component excelled in sustainability. The paramo under study has a significant fuel load and a category of very extremely flammable, which makes this ecosystem highly flammable and susceptible to fires.



Keyword: biomass; fire behavior; fire regimen; floristic diversity; forest fire.

RESUMO

A caracterização dos combustíveis vegetais presentes nos páramos do Equador constitui uma tarefa chave para dar início às atividades de manejo integral do fogo. Nesse contexto a pesquisa teve como objetivo determinar a carga de combustível vegetal e sua inflamabilidade numa área de páramo no sul do Equador. Foram avaliados os combustíveis arbustivos, herbáceos e mortos. As estimativas foram realizadas por meio do método direto em três subparcelas de 0,25 m², distribuídas sistematicamente em uma parcela de 4 m². Amostras dos combustíveis foram coletadas e transportadas ao laboratório para secagem. A relação entre o peso úmido e seco das amostras permitiu calcular o fator de conversão utilizado para estimar a carga de combustível. Para a avaliação da inflamabilidade, foram selecionadas amostras secas de 5 g, com 20 repetições por tipo de combustível; utilizando o método de chama direta foram determinados o tempo de ignição, a sustentabilidade da chama, a altura da chama, a combustibilidade e a categoria de inflamabilidade. A carga de combustível do páramo foi de 8,2 t ha⁻¹, sendo 47,2% de material morto, 40,1% herbáceo e 12,7% arbustivo. A categoria de inflamabilidade dos três tipos de combustível foi classificada como extremamente inflamável, com o componente herbáceo se destacando no tempo de ignição, altura da chama e combustibilidade; enquanto o componente arbustivo apresentou maior sustentabilidade da chama. O páramo apresenta uma carga significativa de combustíveis e uma categoria de inflamabilidade extremamente elevada, o que torna este ecossistema altamente inflamável e suscetível a incêndios florestais.

Palavras-chave: biomassa; comportamento do fogo; diversidade florística; incêndios florestais; regime do fogo.



INTRODUCCIÓN

Los combustibles vegetales forman parte de la composición y estructura de todo ecosistema y son el único elemento del triángulo del fuego que los seres humanos pueden manipular mediante quemas prescritas (Nguyen *et al.*, 2025; Weston *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2020; Garrido *et al.*, 2016; Ramos Rodríguez, 2010). En diversas investigaciones se ha caracterizado a los combustibles mediante la cantidad o carga, la inflamabilidad, la distribución espacial, horizontal y vertical, el tipo de combustible, la densidad y el contenido de humedad (Ramos Rodríguez, 2010; Skowronski *et al.*, 2020).

El combustible *vegetal* hace referencia al material orgánico vivo y muerto presente en un ecosistema en diferentes formas y cantidades, generalmente expresada en toneladas por hectárea o kilogramos por m², y que al entrar en contacto con el fuego se convierte en humo y ceniza (Nguyen *et al.*, 2025; Skowronski *et al.*, 2020; Ramos Rodríguez, 2010). Es considerado como un elemento fundamental para la ocurrencia y propagación del fuego y determina la cantidad de calor que será liberada durante las quemas de acuerdo a la cantidad de combustible existente y su inflamabilidad.

La inflamabilidad es una característica de los combustibles determinada por características fisiológicas, físicas y químicas de las plantas; y, se relaciona con la facilidad de entrar en ignición y sostener el fuego (Jian *et al.*, 2024). Su estimación principalmente ha sido a partir del tiempo en que inicia la llama, aunque otros investigadores han incorporado también otras variables como la duración de la llama, y la velocidad de quema después de la ignición (Hachmi *et al.*, 2011). Su estudio, sea a nivel de especie o ecosistema, resulta crucial para la prevención y el combate de incendios forestales, ya que permitiría predecir el comportamiento del fuego según la presencia de diferentes tipos de combustibles

Ante esta evidente importancia de los combustibles en los ecosistemas y su rol en el comportamiento del fuego, en Ecuador existen pocos estudios relacionados con los combustibles en ecosistemas andinos, generando una brecha significativa entre el manejo integral del fuego, la conservación de los ecosistemas y seguridad en el área. Razón por la que cuando el fuego no es controlado se expande y destruye los ecosistemas naturales provocando la pérdida de biodiversidad, alteran la composición de especies y



facilita el establecimiento de especies invasoras (Kelly *et al.*, 2020), sin contar con respuestas inmediatas para su prevención y control.

Las investigaciones relacionadas con el fuego en el sur de Ecuador se han incrementado significativamente en los últimos años; y, principalmente, sobre combustibles forestales e inflamabilidad, los estudios se centran en la determinación de cargas de combustibles forestales vivos y muertos y su inflamabilidad en el bosque nativo y matorral (Coronel, *et al.*, 2024; Muñoz-Chamba *et al.*, 2023). A nivel de paisaje, es necesario completar el conocimiento de los combustibles y su inflamabilidad en ecosistemas frágiles y susceptibles como son los páramos andinos del sur, los cuales prestan importantes servicios ecosistémicos como la regulación y generación de caudal, presentan en sus composiciones florísticas importantes abundancias de especies leñosas y alta abundancia de especies del género *Puya* (Hofstede *et al.*, 2023).

Los incendios forestales, que en Ecuador son ocasionados en un 96 % por actividades antrópicas y un 4 % por causas naturales (Neger, 2021), y constituyen una amenaza para estos ecosistemas frágiles (Hofstede *et al.*, 2023). El páramo en estudio corresponde a un ecosistema afectado por diferentes incendios forestales ocurridos en los últimos 20 años, lo que ha llevado a reconocerlo como páramo antrópico, caracterizado por la alteración de su composición florística y con ello, una serie de procesos ecológicos como alteración de los ciclos biogeoquímicos, reducción de la infiltración del agua en el suelo, y aumento de procesos erosivos, lo que a su vez ha propiciado la aparición y dominancia de especies agresivas o invasivas como plantas del género *Pteridium* (Tillaguango-Pintado *et al.*, 2023).

Bajo este contexto, la investigación tuvo como objetivo determinar el contenido de la carga de combustible vegetal (vivo y muerto) y su inflamabilidad en un área de páramo en el sur de Ecuador, el cual es considerado como susceptible a la ocurrencia de incendios forestales (Sarango-Cobos, *et al.*, 2019; Muñoz-Chamba, *et al.*, 2023).



MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El páramo antrópico se localiza en la parte alta del Parque Universitario Francisco Vivar Castro (PUFVC), al sur del Ecuador, en la ciudad, cantón y provincia de Loja. Las características climáticas asociadas al lugar son un clima templado lluvioso, con una precipitación anual de 955 mm, temperatura media anual de 16,6 °C, humedad relativa de 71,96 %, evaporización media de 111,33 mm, velocidad del viento entre 3,64 a 5,44 m/s (Aguirre, *et al.*, 2016).

El rango altitudinal donde se localiza el páramo antrópico es entre 2300 y 2468 m s.n.m, con una superficie aproximada de 20,58 ha. El terreno presenta pendientes superiores al 35 %, con pocas áreas con un relieve ondulado localizado en la parte alta. Este ecosistema ha sufrido modificaciones en la estructura y composición de su vegetación (Aguirre y Yaguana, 2014), las especies dominantes en el caso de las hierbas son *Calamagrostis intermedia* (J. Presl) Steud., *Pteridium esculentum* (G.Forst.) Cockayne y *Baccharis sagittalis* DC., y entre las especies arbustivas destacan *Baccharis latifolia* Pers., *Hypericum laricifolium* Juss. y *Gynoxys nítida* Muschl (Figura 1).

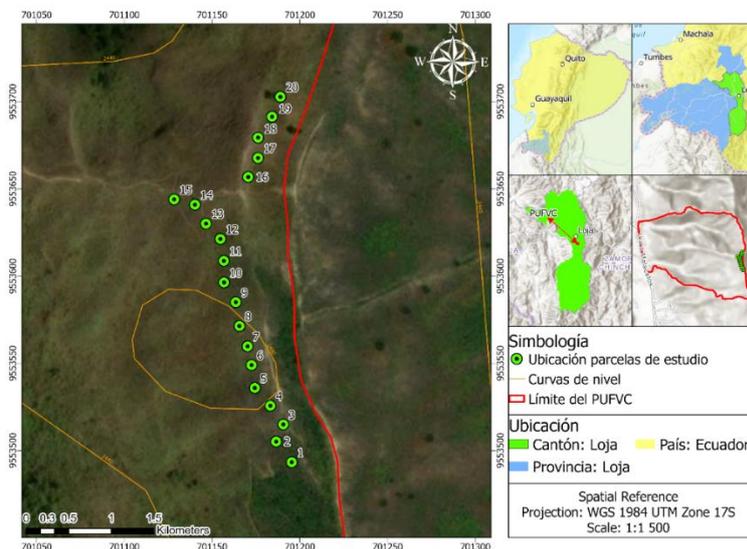


Figura 1. - Ubicación del Parque Universitario Francisco Vivar Castro y de las unidades de estudio en el páramo antrópico



Diseño, número y tamaño de las muestras

Para evaluar la carga de combustible en la parte alta del páramo antrópico y asegurar una cobertura representativa del área muestreada, se implementó un diseño de muestreo sistemático en un tramo lineal de 200 m. En este tramo, se establecieron 20 parcelas temporales de 4 m², distribuidas equidistantemente cada diez metros, asegurando una distribución homogénea en la zona de estudio. Este diseño permitió capturar de manera adecuada la variabilidad espacial del combustible vegetal total (herbáceo, arbustivo y muerto), con un error relativo permitido del 15 %, lo que confirmó que el número de parcelas utilizadas fue estadísticamente representativo. Para su cálculo se utilizó un valor z de 1,96, error permitido del 15 % y un coeficiente de variación del 33,95 %.

La inflamabilidad de los tres tipos de combustibles fue analizada mediante un diseño completamente aleatorizado. De un total de 100 gramos secos por tipo de combustible, se realizaron 20 ensayos utilizando muestras de cinco gramos de material seco por combustible. El número de repeticiones se basó en el estudio de Hachmi *et al.* (2011) quienes demostraron que la reducción de ensayos en pruebas de inflamabilidad que hicieron con especies forestales (50, 36, 24 y 12) no afecta significativamente la precisión de los resultados, pudiendo trabajar con hasta 12 muestras.

Estimación de la carga de combustible

La carga de combustible estimada fue para material vivo (arbustos y hierbas) y muerto (hojarasca). Previo a la recolección de los tipos de combustibles, se levantó la composición florística del sitio de estudio, diferenciando entre hierbas y arbustos.

La estimación se realizó mediante un método directo o destructivo, que consistió en la extracción y recolección de todos los tipos de combustibles estudiados. Por lo tanto, para reducir el impacto en la vegetación y suelo del páramo antrópico dentro de las áreas de 4 m², fue necesario hacer un submuestreo del material en tres subparcelas de 50 × 50 cm distribuidas diagonalmente dentro de la cada parcela de 4 m².



En cada subparcela de 50 × 50 cm se separó el combustible arbustivo, herbáceo y muerto, registrándose el peso en húmedo (g). Posteriormente, por tipo de combustible, se mezcló las tres muestras y se obtuvo una muestra compuesta de 1 000 gramos, las cuales fueron trasladadas al laboratorio de Fisiología vegetal e ingresadas a una estufa de aire circular a una temperatura de 55 ± 1°C, hasta que el peso se estabilizó.

Posteriormente, se determinó un factor de conversión por tipo de combustible (Ayala *et al.*, (2014), que se obtuvo de la relación del peso seco y húmedo de las muestras. Este factor se utilizó para obtener la carga del combustible seco (Tabla 1).

Tabla 1. - Fórmulas utilizadas para la estimación del contenido de combustible vegetal seco

Tipo de combustible	Fórmula
Arbustivo	Cara de combustible = Peso húmedo _{arbusto} * r
Herbáceo	Cara de combustible = Peso húmedo _{hierba} * r
Muerto	Cara de combustible = Peso húmedo _{hojarasca} * r

Fuente: Ayala *et al.* (2014)

Estimación de la inflamabilidad

La inflamabilidad se determinó bajo condiciones de laboratorio, considerando material combustible como hojas y ramillas menores o iguales a 6 mm de diámetro. Previo al cálculo de las características de inflamabilidad, se determinó por tipo de combustible el contenido de humedad con base húmeda.

Las características de la inflamabilidad se evaluaron mediante el método de llama directa, que consistió en colocar una muestra sobre una malla de 22 × 15 cm, extendida de manera horizontal. Se aplicó la llama directamente al combustible hasta que entró en ignición. Las características de inflamabilidad evaluadas fueron: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad, consumibilidad y altura de máxima de la llama (Hachmi *et al.*, 2011). La categoría de inflamabilidad se determinó en función del índice de inflamabilidad (FI) con la fórmula propuesta por Hachmi *et al.* (2011), que utiliza el tiempo de ignición (TI), sostenibilidad (TC) y altura máxima de la llama (FH) ecuación 1.



$$FI = \left[\frac{TC + 30 - \frac{TI}{2}}{TI + 10} \right] \text{EXP} \left[\frac{FH}{FH + 40} \right]^2 \quad (1)$$

La interpretación de la categoría de inflamabilidad se realizó en función de los valores del índice de inflamabilidad, que fueron: cuando $FI < 0,5$ la categoría fue de muy poco inflamable; $0,5 \leq FI < 1,5$ poco inflamable; $1,5 \leq FI < 2,5$ moderadamente inflamable; $2,5 \leq FI < 3,5$ inflamable; $3,5 \leq FI < 4,5$ extremadamente inflamable; $4,5 \leq FI$ muy extremadamente inflamable.

Análisis de la información

Para la carga de combustible y las características de inflamabilidad, se realizaron comparaciones entre los tres tipos de combustible. Se aplicaron métodos no paramétricos como Kruskal-Wallis, al no cumplir los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas. Además, al existir significancia estadística entre los tipos de combustibles, se aplicó la prueba de Wilcoxon con una significancia de 0,05. El análisis estadístico se realizó en el software RStudio 4.2.2.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carga de combustible vivo y muerto

La carga total de combustible en el páramo antrópico fue de $8,2 \text{ t ha}^{-1}$, donde el combustible vivo (herbáceo y arbustivo) representó el 52,8 % del total, y el combustible muerto constituyó el 47,2 % (Tabla 2). Según la prueba de Kruskal-Wallis, existen diferencias significativas entre los tres tipos de combustibles ($p = 0,0001$; $\alpha = 0,05$), donde las hierbas y el combustible muerto se diferencian de los arbustos con las cargas más altas (Figura 2).



Tabla 2. - Estadísticas de las cargas de combustibles para el estrato herbáceo, arbustivo y muerto del PUFVC, de octubre a diciembre de 2023

Estadística	Combustible herbáceo	Combustible arbustivo	Combustible muerto
Carga promedio de combustible (t ha ⁻¹)	3,29	1,04	3,87
Número de observaciones	20	20	20
Representatividad (%)	40,1	12,7	47,2
Mediana (t ha ⁻¹)	3,33	0,73	3,74
Mínimo (t ha ⁻¹)	1,00	0,17	1,18
Máximo (t ha ⁻¹)	7,46	3,48	7,99
Desviación estándar (t ha ⁻¹)	± 1,47	± 0,89	± 1,79
Error típico (t ha ⁻¹)	± 0,33	± 0,20	± 0,40
Significancia estadística según prueba Wilcoxon, α=0,05	a	b	a

Nota: letras diferentes indican diferencias significativas.

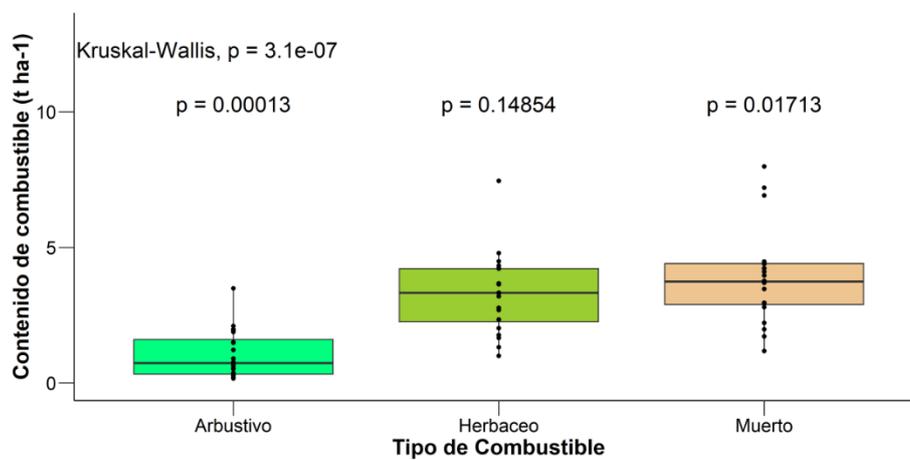


Figura 2. - Comparación de las cargas de los tres tipos de combustibles estudiados en el páramo antrópico del PUFVC, octubre a diciembre de 2023



La carga de combustible reportada para el páramo antrópico del PUFVC puede ser comparada con otros páramos intervenidos de Colombia (Torres *et al.*, 2012), con valores que oscilan entre 3,46 t ha⁻¹ a 7,62 t ha⁻¹; mientras que, en páramos conservados del Parque Nacional Podocarpus y Sangay en Ecuador, la carga de combustible fue de 9,35 t ha⁻¹ (Urgiles *et al.*, 2018) y 13,1 t ha⁻¹ respectivamente (Cargua *et al.*, 2014), valores que son considerados superiores al páramo estudiado. Estos resultados refuerzan la idea de que las actividades antrópicas disminuyen significativamente la carga de combustibles en los páramos.

Los combustibles vivos tuvieron mayor representatividad en el páramo antrópico, con el 40,1 % de hierbas y 12,7 % de arbustos. Al parecer este patrón es común de observar en páramos intervenidos y conservados (Urgiles *et al.* 2018; Torres, *et al.*, 2012), debido a que en los páramos el estrato herbáceo a partir de los 3000 m s.n.m es el de mayor representatividad, aunque la diversidad y composición puede variar por la altitud, la orientación de la pendiente y la influencia de factores ambientales (Zheng *et al.*, 2022).

Por otra parte, en el caso de los combustibles muertos, la carga reportada para el PUFVC (3,87 t ha⁻¹) resultó inferior al de páramos conservados en el Parque Nacional Podocarpus (5,42 t ha⁻¹) (Urgiles *et al.*, 2018) y Sangay (112,16 t ha⁻¹) (Cargua *et al.*, 2014). No obstante, su representatividad en el páramo antrópico fue alta, estando entre los de mayor carga, lo cual podría obedecer a las diversas afectaciones ocurridas, como el caso de incendios forestales suscitados en el PUFVC en años anteriores. Esto, sin duda, ha dado paso al establecimiento de especies pioneras agresivas como *Baccharis latifolia* (Aguirre *et al.*, 2019) y especies del género *Pteridium*, principalmente esta última que se caracteriza por aportar cantidades importantes de biomasa muerta (Valdez-Ramírez *et al.*, 2020).

Inflamabilidad del combustible vivo y muerto

La inflamabilidad de los combustibles herbáceos, arbustivos y muertos fue realizada con contenidos de humedad entre 20 % y 56 %, con diferencias estadísticas entre estos (Kruskal-Wallis; $p= 0,000$; $\alpha= 0,05$) (Tabla 3). Esta característica de los combustibles es una de las más importantes en los procesos del fuego, ya que influye directamente en la ignición y propagación, además, determina la medida en la que se puede llegar a consumir un combustible (Kane y Prat-Guitart, 2020). La presencia de humedad en los



combustibles estudiados fue variable, lo que podría estar influenciado por factores como las características fisiológicas de las plantas, la estructura de los combustibles y las condiciones climáticas (Ferrer *et al.*, 2022; Alzate-Guarín *et al.*, 2022; Bar-Massada y Lebrija-Trejos, 2021; Rosales-Solórzano, 2020; Zylstra *et al.*, 2016). Los tres tipos de combustibles estudiados se ubicaron en la categoría muy extremadamente inflamable (Tabla 3); sin embargo, sus diferencias pueden ser analizadas o comparadas por las características estimadas como el tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama y combustibilidad.

Tabla 3. - Estadísticas de las características de inflamabilidad para los combustibles herbáceos, arbustivos y muertos del páramo antrópico del PUFVC.

Variable	Unidad	Combustible muerto	Combustible herbáceo	Combustible arbustivo
Contenido de humedad promedio	%	20,11 a	46,1 5 b	55,00 c
Tiempo de ignición promedio	S	4,85 ab	4,11 a	6,35 b
Sostenibilidad promedio	S	49,05 b	40,65 a	80,50 b
Altura de la llama máxima promedio	Cm	40,40 b	66,05 a	50,70 c
Combustibilidad promedio	g/s	0,05 b	0,11 a	0,09 b
Categoría de inflamabilidad	Categoría	Muy extremadamente inflamable	Muy extremadamente inflamable	Muy extremadamente inflamable

Nota: Letras iguales indican significancia estadística, según prueba Wilcoxon ($\alpha=0,05$).

Para el tiempo de ignición los valores fueron entre 1 s a 15 s, diferenciándose el combustible herbáceo con los valores más rápidos (Tabla 3), lo que es sostenido por Burger y Bond (2015) quienes mencionan que estos entran en ignición con mayor rapidez porque están constituidos por material fino y ligero menor a 6 mm de diámetro. En el caso particular del origen de los combustibles, es decir la especie, podrían explicar los valores reportados para las hierbas, ya que por ejemplo, las familias Ericaceae y Asteraceae, que fueron las más representativas en el páramo antrópico, presentan en su estructura compuestos químicos y fenólicos inflamables, lo cual es ratificado por Guerrero *et al.* (2021) quienes mencionan que la presencia de fenoles y aceites esenciales favorecen la presencia de llama en tiempos rápidos. Adicionalmente, en especies de la



familia Ericaceae se registran compuestos químicos, pertenecientes al grupo de los terpenos y compuestos aromáticos derivados del fenilpropano (Pandey *et al.*, 2017; Kiran y Prakash, 2015; Mitic *et al.*, 2018; Matulevich y Gil, 2014); así mismo las especies de la familia Asteraceae tienen una gran importancia fitoquímica y estructuras que producen y secretan diferentes compuestos químicos entre los cuales destacan los pécticos, lipídicos, taninos y esteroidales (Tosoratto *et al.*, 2016) que aceleran los tiempos de ignición, como el caso del fenilpropano que es inflamable a los 30 °C. En este sentido, la inflamabilidad del combustible vivo, principalmente la parte foliar, se ve influenciada por una amplia gama de compuestos químicos que requieren de una comprensión más profunda para una adecuada planificación en el manejo del fuego (Guerrero *et al.*, 2024).

La sostenibilidad estuvo entre 20 s y 144 s, con diferencias entre combustibles (Kruskal-Wallis, $p=0,000$; $\alpha=0,05$), destacando los arbustos con la mayor duración de la llama, aunque estos no fueron diferentes a los valores reportados para los combustibles muertos (Tabla 3).

En el caso de la altura de la llama, los valores estuvieron entre 20 cm a 85 cm, con diferencias estadísticas significativas entre los combustibles (Kruskal-Wallis; $p=0,000$; $\alpha=0,05$), destacando las hierbas con los valores más altos. Esta particularidad reportada para el páramo antrópico podría ser explicada por el tamaño pequeño de las hojas que presentan las hierbas, lo que es corroborado por Popović *et al.* (2021), quienes mencionan que las hojas finas y largas en las hierbas inducen a llamas altas (estrato herbáceo).

Para la combustibilidad se registraron valores entre 0,03 g s⁻¹ y 0,21 g s⁻¹, con diferencias estadísticamente entre los combustibles (Kruskal-Wallis; $p=0,000$; $\alpha=0,05$), destacando las hierbas y el combustible muerto con los valores más altos.

Al comparar los valores reportados para las características de inflamabilidad como el tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama y combustibilidad con otras investigaciones como Coronel *et al.* (2024), Muñoz-Chamba *et al.* (2023), Alzate-Guarín *et al.* (2022), De Magalhães y Schwilk (2012), se observa una alta variabilidad lo que podría ser respuesta a la influencia de factores como el tamaño de los combustibles analizados, a los métodos de estimación empleados, a la cantidad de material vegetal utilizada, contenido de humedad y el origen del combustible. De acuerdo con Popović



et al. (2021), las características de las plantas influyen significativamente en la inflamabilidad de las especies, lo que impacta en la dinámica de los ecosistemas y en la planificación hacia un manejo sostenible del fuego.

Sobre el origen del combustible, las hierbas más representativas fueron *Calamagrostis intermedia*, *Baccharis sagittalis* y *Pteridium esculentum*, las cuales al momento de las pruebas de inflamabilidad se consumió la totalidad de las muestras, mientras que en el caso de *Puya parviflora* mostró mayor resistencia en la roseta de la planta con alto desprendimiento de pavesas.

Los resultados del presente estudio, en cuanto a las características de la inflamabilidad y la categoría registrada para los tres tipos de combustibles del páramo antrópico, permitirían inferir que se trata de un ecosistema inflamable. Esto sin duda, refuerza la idea que se tiene sobre el páramo antrópico en cuanto a que es susceptible a incendios forestales (Tillaguango-Pintado *et al.*, 2023), que los procesos antropogénicos relacionados con el fuego traen consigo la regeneración de especies leñosas exóticas como *Pinus patula* y otras especies inflamables, especialmente en quemas controladas (Amoako *et al.*, 2023), afecciones a las propiedades del suelo (Beltrán-Pineda y Lizarazo-Forero, 2013; Camargo-García, *et al.*, 2012), amenazando la diversidad y endemismo (Matson y Bart, 2013).

CONCLUSIONES

La carga de combustible determinada en el páramo antrópico del PUFVC se encuentra representada en su mayoría por el combustible muerto (47,2 %) y herbáceo (40,1 %), y en menor medida por el combustible arbustivo (12,7 %), constituyendo las bases para futuros monitoreos y una gestión adecuada de los combustibles en el manejo integral del fuego.

Las características de inflamabilidad entre los tres tipos de combustibles (herbáceo, arbustivo y muerto) presentaron una variedad de respuesta en cuanto al tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama y combustibilidad, destacando en su mayoría los combustibles herbáceos, seguido por los combustibles muertos. La categoría de



inflamabilidad determinada para los tres tipos de combustibles fue de muy extremadamente inflamable, por lo cual se puede inferir que el páramo antrópico es un ecosistema inflamable y, por lo tanto, susceptible ante la ocurrencia de un incendio forestal.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación 01-DI-FARNR, financiado por la Universidad Nacional de Loja, Dirección General de Investigaciones, del cual este estudio formó parte como complemento a la investigación principal. A la Ing. Lucia Quichimbo por su apoyo como parte del Laboratorio de Fisiología Vegetal, a los técnicos del herbario Reinaldo Espinosa por su aporte en la identificación de especies, y a todos los estudiantes pasantes que ayudaron en el levantamiento de información en campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE, Z., JARAMILLO DÍAZ, N. y QUIZHPE CORONEL, W., 2019. Arvenses asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador. S.l. [en línea]. Ecuador: Ediloja. Disponible en: https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2019-12/ARVENSES%20ASOCIADOS%20A%20CULTIVOS%20Y%20PASTIZALES%20DEL%20ECUADOR_compressed.pdf.

AGUIRRE, Z., REATEGUI BETANCOURT, J.L. y ERAS, V.H., 2016. Dinámica de crecimiento de las especies leñosas en una parcela permanente de bosque seco en Loja, Ecuador. Arnaldoa, [en línea]. vol. 23, no. 1. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/308638950_Dinamica_de_crecimiento_de_las_especies_lenosas_en_una_parcela_permanente_de_bosque_seco_en_Loja_Ecuador

AGUIRRE, Z. y YAGUANA PUGLLA, C., 2014. Parque universitario de educación ambiental y recreación Ing. Francisco Vivar Castro [en línea]. 2014. S.l.: Universidad Nacional de Loja. Disponible en:



<https://zhofreaguirre.files.wordpress.com/2012/03/parque-universitario-francisco-vivar-c-unl.pdf>.

ALZATE-GUARÍN, F., MUÑOZ, L. y AMELL, A., 2022. Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. *Hoehnea* [en línea], vol. 49, [consulta: 22 enero 2025]. ISSN 0073-2877, 2236-8906. DOI <https://doi.org/10.1590/2236-8906-49/2021>. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/hoehnea/a/FZ5YWpcZW8xTBppSzyFzTfN/>.

AMOAKO EE, ISSIFU H, HUSSEINI R. 2023. The Effects of Prescribed Dry Season Burning on Woody Species Composition, Mole National Park, Ghana. *Tropical Conservation Science*, 16. doi:10.1177/19400829231164936

AYALA, L., VILLA, M., AGUIRRE MENDOZA, Z. y AGUIRRE MENDOZA, N., 2014. Cuantificación del carbono en los páramos del parque nacional Yacuri, provincias de Loja y Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ* [en línea], vol. 4, no. 1, [consulta: 22 enero 2025]. ISSN 1390-5902. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/237>.

BAR-MASSADA, A., Y LEBRIJA-TREJOS, E. 2021. Spatial and temporal dynamics of live fuel moisture content in eastern Mediterranean woodlands are driven by an interaction between climate and community structure. *International Journal of Wildland Fire*, [en línea] vol. 30 no. 3, pp. 190-196. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/wf20015>

BELTRÁN-PINEDA, M.E. y LIZARAZO-FORERO, L.M., 2013. Grupos Funcionales de Microorganismos en Suelos de Páramo Perturbados por Incendios Forestales. *Revista de Ciencias Universidad del Valle*, [en línea] vol. 17, no. 2, ISSN 2248-4000, 0121-1935. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/267165574.pdf>

BURGER, N. y BOND, W.J., 2015. Flammability traits of Cape shrubland species with different post-fire recruitment strategies. *South African Journal of Botany* [en línea], vol. 101, pp. 40-48. [consulta: 5 junio 2025]. ISSN 0254-6299. DOI



- 10.1016/j.sajb.2015.05.026. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915003130>.
- GARCÍA, J.C.C., DOSSMAN, M.Á., RODRÍGUEZ, J.A., ARIAS, L.M. y QUINTERO, J.H.G., 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. Acta Agronómica [en línea], vol. 61, no. 2, pp. 151-165. [consulta: 5 junio 2025]. ISSN 2323-0118. Disponible en:
https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/35618.
- CARGUA, F.E., RODRÍGUEZ, M.V., RECALDE, C.G. y VINUEZA, L.M., 2014. Cuantificación del Contenido de Carbono en una Plantación de Pino Insigne (*Pinus radiata*) y en Estrato de Páramo de Ozogoché Bajo, Parque Nacional Sangay, Ecuador. Información tecnológica, [en línea] vol. 25, no. 3, ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642014000300011. Disponible en:
https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642014000300011
- CORONEL ARMIJOS, A.G., MUÑOZ CHAMBA, L., MUÑOZ CHAMBA, J. y AGUIRRE, Z., 2024. Inflamabilidad de especies representativas en un matorral andino del sur de Ecuador. Bosques Latitud Cero, [en línea] vol. 14, no. 1, ISSN 2528-7818, 1390-3683. Disponible en:
<https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/2071>
- FERRER PALOMINO, A., SÁNCHEZ ESPINO, P., BORREGO REYES, C., JIMÉNEZ ROJAS, J. A., Y RODRÍGUEZ Y SILVA, F. 2022. Estimation of moisture in live fuels in the mediterranean: Linear regressions and random forests. Journal of Environmental [en línea] Management, vol. 322, 116069. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479722016425>



- GARRIDO RIVERO, R., CARREIRA FERNÁNDEZ, R. y IGLESIAS MONTES, R., 2016. Defensa y prevención de incendios forestales [en línea]. España: Editorial Síntesis. [consulta: 22 enero 2025]. ISBN 978-84-9077-306-2. Disponible en: <https://www.sintesis.com/libro/defensa-y-prevencion-de-incendios-forestales>.
- GUERRERO, F., ESPINOZA, L., CARMONA, C., BLACKHALL, M., QUINTERO, C., OCAMPO-ZULETA, K., PAULA, S., MADRIGAL, J., GUIJARRO, M., CARRASCO, Y., BUSTAMANTE-SÁNCHEZ, M. A., MIRANDA, A., YÁÑEZ, K., BERGMANN, J., TABORGA, L., Y TOLEDO, M. 2024. Unraveling the chemistry of plant flammability: Exploring the role of volatile secondary metabolites beyond terpenes. *Forest Ecology and Management*, [en línea] vol. 572, pp. 122-269. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122269>; <https://digital.csic.es/handle/10261/367929>
- GUERRERO, F., HERNÁNDEZ, C., TOLEDO, M., ESPINOZA, L., CARRASCO, Y., ARRIAGADA, A., MUÑOZ, A., TABORGA, L., BERGMANN, J. y CARMONA, C., 2021. Leaf Thermal and Chemical Properties as Natural Drivers of Plant Flammability of Native and Exotic Tree Species of the Valparaíso Region, Chile. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [en línea] vol. 18, no. 13, ISSN 1660-4601. DOI 10.3390/ijerph18137191; Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/13/7191>
- GOMES, L., MIRANDA, H. S., SOARES-FILHO, B., RODRIGUES, L., OLIVEIRA, U., Y BUSTAMANTE, M. M. C. 2020. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.507710>
- HACHMI, M., SESBOU, A., BENJELLOUN, H., EL HANDOUZ, N. y BOUANANE, F., 2011. A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion* [en línea], vol. 2011, no. 1, [consulta: 22 enero 2025]. ISSN 2090-1976. DOI 10.1155/2011/263531. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2011/263531>.



- HOFSTEDE, R., MENA VASCONEZ, P. y SUÁREZ ROBALINO, E., 2023. Los páramos del Ecuador: Pasado, presente y futuro [en línea]. Ecuador: USFQ Press. [consulta: 22 enero 2025]. ISBN 978-9978-68-265-4. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=977958>.
- JIAN, M., JIAN, Y., ZENG, H., CAO, D., Y CUI, X. 2024. Current Status and Prospects of Plant Flammability Measurements. *Fire*, [en línea] vol. 7 no. 8, pp. 266. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/fire7080266>
- KANE, J.M. y PRAT-GUITART, N., 2020. Fuel Moisture. *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* [en línea]. S.l.: Springer Nature Switzerland AG, [en línea] [consulta: 22 enero 2025]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327671358_Fuel_Moisture.
- KELLY, L. T., GILJOHANN, K. M., DUANE, A., AQUILUÉ, N., ARCHIBALD, S., BATLLORI, E., BENNETT, A. F., BUCKLAND, S. T., CANELLES, Q., CLARKE, M. F., FORTIN, M.-J., HERMOSO, V., HERRANDO, S., KEANE, R. E., LAKE, F. K., MCCARTHY, M. A., MORÁN-ORDÓÑEZ, A., PARR, C. L., PAUSAS, J. G., BROTONS, L. 2020. Fire and biodiversity in the Anthropocene. *Science*, [en línea] vol. 370 no. 6519, eabb0355. Disponible en: <https://doi.org/10.1126/science.abb0355>
- KIRAN, S. y PRAKASH, B., 2015. Assessment of Toxicity, Antifeedant Activity, and Biochemical Responses in Stored-Grain Insects Exposed to Lethal and Sublethal Doses of *Gaultheria procumbens* L. Essential Oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [en línea] vol. 63, no. 48, ISSN 1520-5118. DOI 10.1021/acs.jafc.5b03797. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26558484/>
- DE MAGALHÃES, R.M.Q. de y SCHWILK, D.W., 2012. Leaf traits and litter flammability: evidence for non-additive mixture effects in a temperate forest. *Journal of Ecology*, [en línea] vol. 100, no. 5, ISSN 1365-2745. DOI 10.1111/j.1365-2745.2012.01987.x. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/23257537>



MATSON, E. y BART, D., 2013. Interactions among fire legacies, grazing and topography predict shrub encroachment in post-agricultural páramo. *Landscape Ecology*, [en línea] vol. 28, no. 9, ISSN 1572-9761. DOI 10.1007/s10980-013-9926-5. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/263189026_Interactions_among_fire_legacies_grazing_and_topography_predict_shrub_encroachment_in_post-agricultural_paramo

MATULEVICH PELÁEZ, J.A. y GIL ARCHILA, E., 2014. Composición Química del Aceite Esencial de Hojas de Bejaria resinosa (Ericaceae). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, [en línea] vol. 10, no. 2, DOI 10.18359/rfcb.331. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305196313_Composicion_Quimica_del_Aceite_Esencial_de_Hojas_de_Bejaria_resinosa_Ericaceae

MITIC, V., ILIC, M., STANKOV-JOVANOVIC, V., STOJANOVIC, G. y DIMITRIJEVIC, M., 2018. Essential oil composition of *Erica spiculifolia* Salisb - first report. *Natural product research* [en línea], vol. 32, no. 2, [consulta: 23 enero 2025]. ISSN 1478-6427. DOI 10.1080/14786419.2017.1340287. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28629223/>.

MUÑOZ-CHAMBA, L., VELE YAURI, Y., MUÑOZ, J. y AGUIRRE, Z., 2023. Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino bajo condiciones de laboratorio. *Bosques Latitud Cero*, [en línea] vol. 13, no. 2, ISSN 2528-7818, 1390-3683. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9350052>

NEGER, C., 2021. Causas antrópicas de los incendios forestales en la sierra de los Tuxtlas, México. En: E. SERNA (ed.), *Ciencia transdisciplinar para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad* [en línea]. Medellín: Instituto Antioqueño de Investigación (IAI), pp. 376-393. [consulta: 23 enero 2025]. ISBN 978-958-53278-4-9. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8734799>.



- NGUYEN, T. H., JONES, S., REINKE, K. J., Y SOTO-BERELOV, M. 2025. An exploratory analysis of forest fine fuel consumption and accumulation using forest inventory data and fire history. *International Journal of Wildland Fire*, [en línea] vol. 34 no. 1. Disponible en: <https://doi.org/10.1071/WF24135>
- PANDEY, B.P., THAPA, R. y UPRETI, A., 2017. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of essential oil and methanol extract of *Artemisia vulgaris* and *Gaultheria fragrantissima* collected from Nepal. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, [en línea] vol. 10, no. 10, ISSN 2352-4146. DOI 10.1016/j.apjtm.2017.09.005. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29111190/>
- POPOVIĆ, Z., BOJOVIĆ, S., MARKOVIĆ, M., Y CERDÀ, A. 2021. Tree species flammability based on plant traits: A synthesis. *Science of The Total Environment*, [en línea] vol. 800, 149-625. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149625>
- RAMOS RODRÍGUEZ, M.P., 2010. Manejo del Fuego [en línea]. La Habana: Editorial Pueblo y Educación. Disponible en: <https://gfmco.online/wp-content/uploads/Manejo-del-Fuego-Ramos-Rodriguez-Cuba-2010.pdf>.
- ROSALES-SOLÓRZANO, E.R., 2020. Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, [en línea] vol. 17, no. 40, ISSN 2215-2504. DOI 10.18845/v17i40.4905.
- SARANGO-COBOS, J., MUÑOZ, J., MUÑOZ, L. y AGUIRRE, Z., 2019. Impacto ecológico de un incendio forestal en la flora del páramo antrópico del Parque Universitario «Francisco Vivar Castro», Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, [en línea] vol. 9, no. 2, ISSN 2528-7818, 1390-3683. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/687>



- SKOWRONSKI, N. S., GALLAGHER, M. R., Y WARNER, T. A. 2020. Decomposing the Interactions between Fire Severity and Canopy Fuel Structure Using Multi-Temporal, Active, and Passive Remote Sensing Approaches. *Fire*, [en línea] vol. 3, no. 1, Article 1. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/fire3010007>
- TILLAGUANGO-PINTADO, J., MUÑOZ CHAMBA, L., MUÑOZ, J. y AGUIRRE, Z., 2023. Caracterización poblacional de *Pteridium arachnoideum* (Kaulf.) Maxon y su vegetación asociada al páramo antrópico del sur del Ecuador. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, [en línea] vol. 20, no. 47, ISSN 2215-2504. DOI 10.18845/rfmk.v20i47.6820.
- TORRES G., A.M., PEÑA S., E.J., ZÚÑIGA E., O. y PEÑA O., J.A., 2012. Evaluación del impacto de actividades antrópicas en el almacenamiento de carbono en biomasa vegetal en ecosistemas de alta montaña de Colombia. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, [en línea] vol. 16, no. 1, ISSN 0123-3068.
- TOSORATTO, N., COSA, M.T. y DELBÓN, N., 2016. Morfoanatomía e histoquímica de cuatro Asteraceae nativas del Bosque Chaqueño Serrano (Córdoba, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, [en línea] vol. 51, no. 4, ISSN 1851-2372. DOI 10.31055/1851.2372.v51.n4.16337.
- URGILES, N. de J., COFRE, D., LOJÁN, P., MAITA, J., ALVAREZ, P., BÁEZ, S., TAMARGO, E., EGUIGUREN, P., OJEDA LUNA, T. y AGUIRRE, N., 2018. Diversidad de plantas, estructura de la comunidad y biomasa aérea en un páramo del sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, [en línea] vol. 8, no. 1, ISSN 2528-7818. Disponible en: <https://redgloria.condesan.org/wp-content/uploads/2021/02/Diversidad-de-plant.-SB-2018.pdf>
- VALDEZ-RAMÍREZ, C., LEVY TACHER, S.I., LEÓN MARTÍNEZ, N.S., NAVARRETE GUTIÉRREZ, D.A. y ORTIZ CEBALLOS, Á.I., 2020. Cambios químicos y biológicos del suelo provocados por *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn en áreas de influencia de la reserva de la biosfera de Calakmul, Campeche. *Terra Latinoamericana*, [en línea] vol. 38, no. 2, ISSN 0187-5779. DOI 10.28940/terra.v38i2.464. Disponible en:



https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792020000300289

WESTON, C. J., DI STEFANO, J., HISLOP, S., Y VOLKOVA, L. 2022. Effect of recent fuel reduction treatments on wildfire severity in southeast Australian Eucalyptus sieberi forests. Forest Ecology and Management, [en línea] vol. 505, 119924. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119924>

ZHENG, J., ARIF, M., HE, X., DING, D., ZHANG, S., NI, X., Y LI, C. 2022. Plant community assembly is jointly shaped by environmental and dispersal filtering along elevation gradients in a semiarid area, China. Frontiers in Plant Science, [en línea] vol. 13. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1041742>

ZYLSTRA, P., BRADSTOCK, R.A., BEDWARD, M., PENMAN, T.D., DOHERTY, M.D., WEBER, R.O., GILL, A.M. y CARY, G.J., 2016. Biophysical mechanistic modelling quantifies the effects of plant traits on fire severity: Species, not surface fuel loads, determine flame dimensions in Eucalypt forests. PloS One, [en línea] vol. 11, no. 8, ISSN 1932-6203. DOI 10.1371/journal.pone.0160715.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

Contribución de los autores:

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional.

