



1859



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino
en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja.

Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera
Forestal

AUTORA:

Yelena Lizbeth Vele Yauri

DIRECTOR:

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba M. Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 3 de enero de 2023

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifico:

Que he revisado y orientado todo el proceso de la elaboración del Trabajo de titulación denominado: **Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja.**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, de la autoría de la estudiante **Yelena Lizbeth Vele Yauri**, con **cédula de identidad Nro. 1105370843**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Yelena Lizbeth Vele Yauri**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



Firma:

C.I: 1105370843

Fecha: 21 de marzo del 2023

Correo electrónico: yelena.vele@unl.edu.ec

Celular: 0988902820

Carta de autorización por parte de la autora para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación

Yo, **Yelena Lizbeth Vele Yauri**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja**, como requisito para optar el título de **Ingeniera Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización firmo, en la ciudad de Loja a los veintiún días del mes de marzo del dos mil veintitrés.



Firma:

Autora: Yelena Lizbeth Vele Yauri

Cédula: 1105370843

Dirección: San Pedro de la Bendita, Urbanización Reina del Cisne

Correo electrónico: yelena.vele@unl.edu.ec

Celular: 0988902820

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba, Mg. Sc.

Dedicatoria

El presente trabajo está dedicado a toda mi familia por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de mi vida. Principalmente a mis padres *Richard Vele* y *Rocio Yauri* que me apoyaron en todo este tiempo, su esfuerzo está reflejado en esta nueva meta alcanzada.

A mi ángel del cielo mi abuelito *Luis Enrique* que no está conmigo físicamente, pero que siempre me acompaña en todos los momentos y me ha dado fuerzas para continuar con mi meta a pesar de las dificultades presentadas.

Y a todas las personas que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

Con cariño...

Yelena Lizbeth Vele Yauri

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciendo a Dios por bendecirme y guiarme en cada paso de mi vida. Agradezco infinitamente a mis padres, por todo su amor y esfuerzo que me motivo a culminar con mis estudios, a mis hermanos Brayán, Joel y Bryhana por ser mi mayor motivación para lograr mi objetivo y a toda mi familia por ser mi pilar fundamental en mi formación personal y haberme apoyado incondicionalmente.

Expreso mi agradecimiento a mi director de tesis Ing. Luis Muñoz, quien con su experiencia, conocimiento y dedicación me oriento en la presente investigación.

Finalmente agradezco a los docentes que compartieron conmigo sus conocimientos para seguir motivándome a desarrollarme como persona y profesional, a mis amigos y a todas las personas que de uno u otra manera me ayudaron a la culminación de mi investigación.

Con cariño...

Yelena Lizbeth Vele Yauri

Índice de contenido

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenido	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xi
Índice de Anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 Incendios forestales.....	6
4.1.1 Definición de fuego.....	6
4.1.2 Elementos del triángulo del fuego	6
4.1.3 Elementos del comportamiento del fuego.....	6
4.2 Incendios forestales.....	7
4.2.1 Situación de los incendios forestales en el mundo.....	8

4.2.2	Situación de los incendios forestales en Ecuador	9
4.3	Inflamabilidad.....	9
4.3.1	Definición de inflamabilidad	9
4.3.2	Características o componentes de la inflamabilidad.....	10
4.3.3	Estudios realizados sobre inflamabilidad de combustibles forestales.....	10
4.4	Descripción de especies forestales representativas del bosque andino del Parque Universitario Francisco Vivar Castro	11
4.4.1	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	11
4.4.2	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth.....	13
4.4.3	<i>Myrsine sodiroana</i> (Mez) Pipoly	15
4.4.4	<i>Palicourea amethystina</i> (Ruiz & Pav.) DC	16
4.4.5	<i>Prunus opaca</i> (Benth) Walp.	18
5.	Metodología	20
5.1	Área de estudio	20
5.2	Selección de las especies forestales	21
5.3	Diseño de muestreo y tamaño de la muestra	22
5.4	Metodología para evaluar características de inflamabilidad en especies forestales del bosque andino PUFVC, bajo condiciones de laboratorio.	22
5.5	Metodología para determinar la inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino PUFVC.	24
5.6	Análisis de información.....	26

6.	Resultados	27
6.1	Características de inflamabilidad de especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC	27
6.2	Inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC, bajo condiciones de laboratorio.....	32
7.	Discusión	34
7.1	Características de inflamabilidad de especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC	34
7.2	Inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC	37
8.	Conclusiones	41
9.	Recomendaciones	42
10.	Bibliografía	43
11.	Anexos	50

Índice de Tablas

Tabla 1. Especies forestales representativas del Bosque Andino, con sus respectivos valores de abundancia e IVI en el bosque andino del PUFVC.	21
Tabla 2. Índice de inflamabilidad de acuerdo con el tiempo de ignición promedio y porcentaje de ensayos positivos.....	25
Tabla 3. Categorías de inflamabilidad propuestas por Hachmi et al. (2011) y Valette (1990)	26
Tabla 4. Estadísticas descriptivas del contenido de humedad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.....	27
Tabla 5. Estadísticas descriptivas del tiempo de ignición para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.....	28
Tabla 6. Estadísticas descriptivas de la sostenibilidad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.....	29
Tabla 7. Estadísticas descriptivas de la combustibilidad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.....	30
Tabla 8. Estadísticas descriptivas de la altura de la llama para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.....	31
Tabla 9. Categoría e índice de inflamabilidad de las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC	32

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del bosque nativo del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” ..	20
Figura 2. Materiales utilizados para realizar las pruebas de inflamabilidad por medio del método de llama directa.	23
Figura 3. Distribución de los valores de tiempo de ignición para las cinco especies forestales.	28
Figura 4. Distribución de los valores de sostenibilidad para las especies forestales.	29
Figura 5. Distribución de los valores de Combustibilidad para las cinco especies forestales.	30
Figura 6. Distribución de los valores de la Altura de la llama de las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC	31
Figura 7. Dendrograma de las especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC, en función de las características de inflamabilidad.	33

Índice de Anexos

Anexo 1. Script del análisis de comparación de medias para las variables estudiadas de las cinco especies forestales del PUFVC.	50
Anexo 2. Estadísticas descriptivas de las características de inflamabilidad de las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC	56
Anexo 3. Certificado de traducción	61

1. Título

Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja.

2. Resumen

Los incendios forestales son propagaciones no controlada del fuego con grandes afectaciones en las propiedades de los ecosistemas, estos eventos se han venido suscitado en los últimos años a nivel mundial y nacional amenazando con la pérdida total de la cobertura vegetal del planeta. El objetivo de la investigación fue conocer la dinámica del fuego y su comportamiento a través del estudio de la inflamabilidad de combustibles forestales vivos bajo condiciones de laboratorio. El sitio de estudio fue el parque Universitario Francisco Vivar Castro (PUFVC), donde se seleccionó cinco especies forestales representativas del bosque andino que fueron: *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata*, *Myrsine sodiroana*, *Palicourea amethystina* y *Prunus opaca*. Las características de inflamabilidad se evaluaron por medio del método de llama directa y estas fueron: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama. Para los ensayos se utilizó 5 g. de muestra con un total de 50 repeticiones por especie. El contenido de humedad del combustible estuvo comprendido entre 27,21 % y 53,64 %; en el tiempo de ignición, *P. opaca* es la que se enciende más rápido con 17,46 segundos y *M. sodiroana* es la que requiere mayor tiempo con 44,32 segundos, en la sostenibilidad *P. amethystina* tuvo el valor más bajo con 22,00 segundos y *M. sodiroana* el valor más alto con 50,36 segundos, en la combustibilidad *A. acuminata* y *M. sodiroana* tuvo el valor más bajo con 0,05 g/s y *P. amethystina* con 0,09 g/s tuvo el valor más alto, en cuanto a altura de llama *P. amethystina* tuvo el valor más bajo con 16,74 cm y *P. opaca* tuvo el valor más alto con 29,08 cm. Las categorías de inflamabilidad evaluadas para las cinco especies estuvieron desde poco inflamable, hasta moderadamente inflamable. Las especies forestales representativas del PUFVC presentaron diversas categorías de inflamabilidad, *P. amethystina* y *P. opaca*, son especies con características de inflamabilidad muy particulares lo que las hace diferentes al resto de especies, mientras que, *M. sodiroana*, *A. acuminata* y *C. fimbriata*, son similares en sus características de inflamabilidad como: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama.

Palabras claves: *Bosque, combustible, fuego, inflamable, laboratorio, incendios forestales.*

2.1 Abstract

The forest fires are uncontrolled spreads of fire with major effects on the properties of ecosystems, these events have been raised in recent years worldwide and nationally level, threatening with the total loss of the planet's vegetation cover. The objective of the research was to know the dynamics of fire and its behavior through the study of the flammability of living forest fuels under laboratory conditions. The study site was the Francisco Vivar Castro University Park (PUFVC), where five representative forest species of the Andean forest were selected: *Alnus acuminata*, *Clethra fimbriata*, *Myrsine sodiroana*, *Palicourea amethystina* y *Prunus opaca*. The flammability characteristics were evaluated by means of the direct flame method and these were: ignition time, sustainability, combustibility and flame height. For the tests, 5 grams of sample was used with a total of 50 repetitions per species. The moisture content of the fuel was between 27.21% and 53.64%; in the ignition time, *P. opaca* is the one that ignites the fastest with 17.46 seconds and *M. sodiroana* is the one that requires the longest time with 44.32 seconds, in sustainability *P. amethystina* had the lowest value with 22,00 seconds and *M. sodiroana* the highest value with 50.36 seconds, in combustibility *A. acuminata* and *M. sodiroana* had the lowest value with 0.05 g/s and *P. amethystina* with 0.09 g/s had the highest value, in terms of flame height, *P. amethystina* had the lowest value with 16.74 cm and *P. opaca* had the highest value with 29.08 cm. The flammability categories evaluated for the five species ranged from slightly flammable to moderately flammable. The representative forest species of the PUFVC presented different flammability categories, *P. amethystina* and *P. opaca*, are species with very particular flammability characteristics, which makes them different from the rest of the species, while *M. sodiroana*, *A. acuminata* and *C fimbriata*, are similar in their flammability characteristics such as: ignition time, sustainability, combustibility and flame height.

Keywords: *Forest, fuel, fire, flammable, laboratory, forest fires.*

3. Introducción

Los incendios forestales son conocidos a nivel mundial, como una propagación no controlada del fuego, causados en más del 90 % por actividades humanas (Paton et al., 2015), sobre coberturas vegetales naturales y artificiales, con consecuencias que se ven reflejadas en alteraciones de la estructura, funcionamiento y dinámica de los ecosistemas (Plana et al., 2016). En las últimas décadas se han reconocido a los incendios forestales, como un problema ambiental que amenaza con la desaparición de la cobertura forestal a nivel mundial (Yulian. Rodríguez et al., 2016).

Ecuador es uno de los países megadiversos del mundo (Sarukhán y Dirzo, 2013), no solo por la variedad de número de especies registradas en un área, sino también, por la variedad de ecosistemas que presenta (Bravo, 2014). Sin embargo, toda esta diversidad se encuentra amenazada por los incendios forestales que se han suscitado en el transcurso de los años, específicamente en el año 2021, en el periodo del 01 de julio al 30 de septiembre, con 2 959,93 ha afectadas por incendios forestales, en 498 eventos registrados, siendo las provincias de Guayas, Imbabura, Azuay, Carchi, El Oro, Cañar, Pichincha y Loja, las de mayor número de eventos ocurridos, en especial Loja con 707, 5 hectáreas afectadas, en áreas de Espíndola, Bellavista, El Pasaje, Zapotillo, Guasimal (SNGRE, 2021).

El origen de los incendios forestales en Ecuador, es en un 70% por causas antrópicas, 25% por quemas agrícolas no controladas y 5% por causas naturales o por descuido en dejar botellas de vidrio en los bosques o no apagar bien las fogatas (MAATE, 2020). En los ecosistemas boscosos se encuentra una serie de combustibles forestales, tanto vivos y muertos, siendo estos un elemento clave en el comportamiento de fuego, por una serie de características como la humedad, inflamabilidad y carga o contenidos de humedad de los combustibles en el bosque sean estos vivos o muertos. En el caso particular de la inflamabilidad, varios autores como (Guarín et al., 2022; A. C. Pérez et al., 2009) definen a esta como la capacidad que tienen los combustibles para entrar en ignición; y, es caracterizada o determinada de acuerdo con la medición de algunas variables, como tiempo de ignición, duración de la llama, el calor liberado del combustible (intensidad calórica) y la proporción del combustible consumido.

Loja es una de las provincias que según datos estadísticos del (MAAE, 2020) ha sufrido mayor cantidad de incendios forestales, perjudicando a la flora y fauna nativa. Un caso particular es el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), localizado en la ciudad de Loja, en el que en los últimos 10 años se han suscitado incendios forestales, que han afectado zonas importantes del parque, teniendo como consecuencia una gran pérdida de cobertura vegetal y por ende la pérdida de biodiversidad, degradación de suelos y el crecimiento de especies invasoras (Aguirre y Yaguana, 2014).

Bajo este contexto, la presente investigación, tuvo como finalidad estudiar la dinámica del fuego y su comportamiento, a través del estudio de la inflamabilidad de combustibles forestales vivos, bajo condiciones de laboratorio, y su potencial respuesta ante un incendio forestal, en el periodo de abril-septiembre 2022. Los objetivos propuestos fueron:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego, mediante el estudio de la inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”.

Objetivos específicos

Evaluar características de inflamabilidad para especies forestales representativas en el bosque andino bajo condiciones de laboratorio.

Determinar la inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino bajo condiciones de laboratorio.

4. Marco teórico

4.1 Incendios forestales

4.1.1 Definición de fuego

En lo descrito por (Añón et al., 1995; García, 2001) el fuego es uno de los fenómenos físico-químicos más comunes en la naturaleza siendo el conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre tres elementos: aire, combustible y calor.

Según (Gould, 2009), Cochrane y Ryan (2009) el fuego es una combustión caracterizada por una emisión de calor y luz visible producto de una reacción química de oxidación acelerada, señalando que la altura, velocidad y propagación del fuego depende del tipo de combustible, cantidad de oxígeno y las características del entorno.

4.1.2 Elementos del triángulo del fuego

El fuego requiere tres elementos para existir, siendo cada elemento dependiente de los otros para producir combustión. Estos tres elementos deben estar presentes en proporciones adecuadas y son:

- 4.1.2.1** Oxígeno. Es el agente oxidante necesario para que se produzca la combustión, generalmente el aire contiene un 21% en volumen de oxígeno (Sánchez, 2013).
- 4.1.2.2** Combustible. Según (Castellano, 2018; Sánchez, 2013) son todas aquellas sustancias capaces de arder y están presentes en el ecosistema.
- 4.1.2.3** Calor Esta energía aumenta la temperatura del combustible al punto de desprender los suficientes vapores para que ocurra la ignición (Castellano, 2018).

4.1.3 Elementos del comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego es definido según (Terrén, 2000) como la velocidad de propagación y la longitud de llama que llega a obtener el fuego. El estudio sobre el comportamiento del fuego proporciona información necesaria para realizar un control sobre

incendios forestales (D. Rodríguez et al., 2020). Los factores que intervienen en el comportamiento del fuego son: meteorológicos, topográficos y combustibles.

4.1.3.1 Factores meteorológicos Según Rodríguez et al. (2017) los grandes incendios forestales son propiciados por las condiciones climáticas extremas que se suscitan en la actualidad, estas son: las sequías prolongadas acompañadas por altas temperaturas y bajas humedades relativas en el ambiente.

4.1.3.2 Factores topográficos Los factores topográficos se refieren a todas las condiciones físicas del suelo (Ramos Rodriguez, 2010). Tienen una relación directa con el comportamiento del fuego, en especial la pendiente que es considerada la más importante (Fernández, 2015).

4.1.3.3 Factores de combustible forestal Fernández (2015) y (Wong y Villers, 2007) mencionan que dentro de los combustibles se puede apreciar dos tipos, los vivos y los muertos, que se encuentran situados sobre el suelo. Los combustibles influyen tanto en la cantidad y calidad, es decir en referencia a la cantidad que este posee desprende su potencial calorífico, mientras que la calidad depende esencialmente de las características de las especies forestales.

4.2 Incendios forestales

Los incendios forestales son una perturbación de origen natural o humano, que se propaga sin control en los ecosistemas terrestres (Pausas, 2012). Según (Ferrerías et al., 2001) este fenómeno afecta de una manera notable a la vegetación, fauna y suelo, provocando una pérdida importante de biomasa en los ecosistemas afectados, aumentan el peligro de desertificación y con esto los problemas socioeconómicos que ello conlleva.

El (Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia (2019) define a un incendio forestal como al fuego que se propaga sin control, especialmente en las zonas rurales, afectando la vegetación como árboles, matorrales, pastos y cultivos.

En lo mencionado por el Servicio Nacional de Flora y de Fauna Silvestre, define a un incendio forestal como aquel fuego no deseado de cualquier origen, que no es estructural, que

se desarrolla en tierras forestales de producción y protección; así como sobre la vegetación silvestre y de ambientes acuáticos emergentes, que se desarrollan en las tierras de protección, cualquiera sea su ubicación en el territorio nacional, que se propaga sin control en los recursos forestales, causando daños ecológicos, económicos y sociales (SEFOR, 2018).

4.2.1 Situación de los incendios forestales en el mundo

Los incendios forestales representan una amenaza para los ecosistemas forestales, tanto ambientalmente como económicamente, a nivel mundial se reportan 98 millones de hectáreas afectadas por los incendios forestales en el año 2015, que representa un promedio del 4 % de la superficie total forestal (FAO, 2020).

Según (Verzoni, 2018), la dinámica del comportamiento del fuego es cambiante, por tal motivo países como Suecia y Reino Unido reportan un incremento con los incendios forestales de seis veces mayor a comparación a los periodos antiguos. Para el año 2022, (González et al., 2011) manifiestan que los grandes incendios forestales suscitados a nivel mundial es ocasionado por las altas temperaturas y sequías prolongadas que se han suscitado en los últimos años. Por su parte (Fienco et al., 2019) señalan que la destrucción de los bosques por los incendios forestales seguirán aumentando por lo que recomiendan adaptar los bosques naturales al cambio climático con medidas de conservación, protección y restauración que de una u otra manera ayude a la prevención de la degradación y deforestación a causa de los incendios forestales.

Para el futuro se prevé que las temporadas de incendios forestales sean más largas y por ende más graves en el planeta, la consecuencia es el cambio climático en el mundo, ya que existirá un incremento en la frecuencia de los días con altas temperaturas, una variación en la precipitación en donde habrán lluvias muy intensas y también periodos sin lluvias muy extensos (Medina, 2021). (Serdyukov, 2022) manifiesta que los incendios extremos aumentarán hasta un 14% para el 2030, 30% para fines de 2050 y un 50% para fines del siglo.

4.2.2 Situación de los incendios forestales en Ecuador

Según (MAATE, 2022) desde el periodo 2010 - 2021 se evidencia que se han suscitado 20 148 incendios forestales, que han causado la pérdida de más de 202 mil hectáreas en nuestro país.

Según los datos históricos sobre los incendios forestales se encuentran cinco provincias afectadas, en donde la provincia de Loja resalta con 1 726 incendios, con 39 205, 37 hectáreas quemadas. Para el año 2022 se han registrado 1 249 eventos de incendios forestales, ocasionando la pérdida de 6 566, 66 ha de cobertura vegetal (SNGRE, 2022). Estos eventos van afectando año tras año grandes extensiones de bosques naturales y plantadas incluyendo a los páramos andinos que tienen un alto valor hídrico para las poblaciones asentadas en estos territorios, este grave problema se suma los efectos del fenómeno de El Niño y el cambio climático acreditando incendios forestales más frecuentes y potentes en los próximos años.

Desde el año 2017 el MAATE implementa en el país el Programa de Reducción de Incendios Forestales y Alternativas al Uso del Fuego “Amazonia sin fuego” (PASF), siendo una iniciativa que pretende implementar acciones que permiten disminuir los incidentes de incendios forestales y generar alternativas de desarrollo sostenible por medio de prácticas alternativas al uso del fuego en el sector agrícola contribuyendo a la protección del ambiente y mejorar la calidad de vida de las comunidades, fortaleciendo las capacidades de control de los incendios forestales (Mendoza et al., 2015).

4.3 Inflamabilidad

4.3.1 Definición de inflamabilidad

Según (A. C. Pérez et al., 2009; Varner et al., 2015) la inflamabilidad hace referencia a la capacidad que tienen los combustibles sean vivos o muertos para entrar en ignición y sostener al fuego. Según Gill y Zylstra (2005) este término hace referencia a la capacidad que poseen los combustibles para encender y arder. Se trata de una característica o propiedad que tienen los combustibles influyente en el comportamiento del fuego ((Yulian. Rodríguez et al., 2016).

4.3.2 Características o componentes de la inflamabilidad

4.3.2.1 Ignitabilidad. Según Hachmi et al. (2011) se refiere al tiempo de ignición o aparición de la llama de un combustible expuesto a una fuente de calor.

4.3.2.2 Sostenibilidad. Según Hachmi et al. (2011) y (A. C. Pérez et al., 2009) es la capacidad de un material para mantener la combustión y producir energía, es decir la duración de la llama.

4.3.2.3 Combustibilidad. Hace referencia a la velocidad a la que una sustancia arde en llamas dependiendo del tipo de combustible que presente (Hachmi et al., 2011).

4.3.2.4 Consumabilidad. La proporción de biomasa consumida durante la combustión (Hachmi et al., 2011).

4.3.3 Estudios realizados sobre inflamabilidad de combustibles forestales

Las investigaciones sobre inflamabilidad de combustibles forestales vivos y muertos son muy limitados o escasos. En el caso particular de combustible vivos, se registra el estudio de la inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares, realizado por (Carrasco et al., 2016), quienes sostienen que la inflamabilidad de la vegetación es muy variable, depende no solo del contenido de humedad, sino también de las características químicas y de la estructura de la planta.

Otra investigación determina la inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche, en donde se evalúa los combustibles superficiales y subterráneos de cinco tipos de selva poco perturbadas. Bajo condiciones de laboratorio se llevaron pruebas de inflamabilidad con varias repeticiones de 1 gr de muestra, el mismo que permitió determinar la comparación entre los extractos de las cinco selvas de Calakmul identificando las especies más inflamables dentro de la selva (A. C. Pérez et al., 2009).

El estudio de (Batista et al., 2012), evalúa la inflamabilidad de árboles y arbustos utilizados en la implementación de barreras verdes en el Sur de Brasil, con ayuda de un

epirradiator se realizó las pruebas para determinar las características de la inflamabilidad en cinco especies forestales, el mismo que permitió tomar decisiones para la implementación de la barrera verde y así poder disminuir la propagación y la intensidad de fuego ante un incendio forestales.

En el estudio realizado por (Hachmi et al., 2011), proponen una fórmula para poder determinar el índice de inflamabilidad de los combustibles forestales utilizando diferentes cantidades de muestras vegetales donde estimó el índice de inflamabilidad integrando tres parámetros: tiempo de ignición, combustibilidad y altura de la llama; añadiendo que el contenido de humedad está correlacionada con el índice de inflamabilidad de cada especie forestal, lo que concuerda con la investigación de (Dimitrakopoulos y Papajoannou, 2001) donde manifiesta que el contenido de humedad es el factor más significativo que afecta directamente la inflamabilidad del combustible. Estudios similares presenta (Carrasco et al., 2016) y (A. C. Pérez et al., 2009) donde realizan las pruebas de inflamabilidad en laboratorio para determinar la influencia de las especies en el rango de inflamabilidad y las causas de los incendios forestales.

4.4 Descripción de especies forestales representativas del bosque andino del Parque Universitario Francisco Vivar Castro

4.4.1 *Alnus acuminata Kunth*

4.4.1.1 Taxonomía

En los estudios realizados por (Salazar, 2018; Sanchez et al., 2009) lo clasifica de la siguiente manera:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Hamamelididae

Orden: Fagales

Familia: Betulaceae

Género: *Alnus*

Especie: *acuminata*

4.4.1.2 Distribución geográfica

Según Salazar (2018) y Sánchez et al. (2009) la especie *Alnus acuminata* es originaria de Centroamérica y América del Sur, posee una amplia distribución y se la puede encontrar en zonas de media y alta montaña. En Ecuador, según (Aguirre y Yaguana, 2013), esta especie se distribuye desde los 1 500 m s.n.m hasta los 4 000 m s.n.m., en las provincias de Azuay, Cañar, Carchi, Chimborazo, Imbabura, Loja, Morona Santiago, Napo, Pichincha, Tungurahua.

4.4.1.3 Descripción botánica

Es un árbol de 10 a 25 m de altura con 20 a 70 cm de diámetro, posee un fuste recto con una corteza escamosa, tiene lenticelas protuberantes y alargadas de 1 cm de longitud, posee hojas simples y alternas oblongas a ovadas de 7 - 9 cm de longitud y de 5-7 cm de ancho, sus bordes son acerrados con nervios muy rectos, su floración es separadas según su sexo, las flores masculinas son muy pequeñas y numerosas agrupadas en espigas colgantes, su fruto llega a medir de 2-4 mm de longitud y son agrupados en infrutescencias oblongas con un aspecto similar a conos, aplanados, alados y muy pequeños (Lozano, 2015).

4.4.1.4 Ecología

La especie *Alnus acuminata* es nativa de los Andes, es una especie estrictamente heliófila en sus etapas iniciales, utilizada en procesos de reforestación por la capacidad de capturar grandes cantidades de Dióxido de Carbono (CO₂) y Óxido Nitroso (N₂O), útiles para la instalación de un sistema productivo, debido a sus aptitudes de conversación y adaptación (Aulestia-Guerrero et al., 2018). Además en lo expuesto por Aulestia-Guerrero et al. (2018) y (Salazar, 2018) se ha demostrado que la especie mejora el suelo con la fijación del nitrógeno aportando materia orgánica por descomposición de las hojas y beneficiando indirectamente al pasto.

4.4.1.5 Usos

Según (Eusse et al., 2005) la madera presenta una baja durabilidad y es susceptible a ataques de termitas y a la pudrición si no se le aplica los preservantes, se la emplea para la obtención de postes, cercas y trabajos de albañilería, la corteza es rica en taninos la cual se usa para curtir cueros, es consumida medicinalmente para contrarrestar el reumatismo, contener hemorragias, cicatrizar heridas., también es empleada en tintorerías.

4.4.1.6 Resinas, aceites y otros compuestos presentes

En diversos estudios se ha evidenciado la presencia de varios compuestos fenólicos (flavonas, isoflavonas, flavanonas y glucosilados) en distintos órganos de esta especie vegetal así también como derivados del ácido cinámico y diarilheptanoides (Montañez y Castellanos, 2017).

4.4.2 *Clethra fimbriata Kunth*

En lo escrito por (Villarreal, 2015) clasifica a la especie de la siguiente manera:

4.4.2.1 Taxonomía

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Ericales

Familia: Clethraceae

Género: *Clethra*

Especie: *fimbriata*

4.4.2.2 Distribución geográfica

Es una especie nativa de amplia distribución, se encuentra en las cordilleras Central y Oriental, en páramos, subpáramos, bosques altoandinos y bosques de niebla, crece de 2 200 hasta 3 400 m s.n.m., es muy frecuente en los bosques andinos del sur del país y está distribuida en las provincias de Azuay, Cañar, Loja y Pichincha (P. M. Jørgensen y León-Yáñez, 1999).

4.4.2.3 Descripción botánica

En el estudio de (Villarreal, 2015) describe a la especie como un árbol que puede llegar a medir 8 m de altura y un diámetro de 40 cm, su corteza se desprende como escamas, es de copa grande, cuando es joven presenta un color grisáceo y al madurar su color se vuelve parecido al óxido (ferrugíneo), sus hojas son simples alternas obovadas, de textura cactácea con margen crenada de color verde olivo brillante, ferrugíneas en el envés con nervaduras prominentes, su inflorescencia es en racimo terminales, de color blanco, su fruto es una capsula, sus semillas son elípticas de color marrón claro.

4.4.2.4 Ecología

Según (Muñoz et al., 2021) la especie *Clethra fimbriata* es nativa del bosque andino y perennifolia, se adapta a una gran variedad de suelos, tiene capacidad de rebrotes y su regeneración natural es adecuada. De acuerdo con (Villarreal, 2015) la floración se da en los meses de mayo a septiembre y la fructificación en los meses de octubre a diciembre.

4.4.2.5 Usos

Su semilla sirve como alimento para algunas aves y su madera en la actualidad es utilizada para ebanistería, carpintería, para implementar cercas vivas, protección de cuencas hidrográficas y para leña (Minga y Verdugo, 2016).

4.4.2.6 Resinas, aceites y otros compuestos presentes

Estudios de (Suta, 2016) han determinado que la especie posee alcaloides, flavonoides, quinonas, taninos y fenoles ampliamente distribuidos en los órganos de la planta, además este tipo de compuesto es muy común en el orden Ericales (Villarreal, 2015).

4.4.3 *Myrsine sodiroana* (Mez) Pipoly

En lo escrito por (P. Jørgensen y Ulloa, 1994) presenta la siguiente clasificación:

4.4.3.1 Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Ericales

Familia: Myrsinaceae

Género: *Myrsine*

Especie: andina

4.4.3.2 Distribución geográfica

Esta especie es nativa y posee una amplia distribución en la región andina del Ecuador, crece desde los 2 000 y 4 000 m s.n.m. Es frecuente en el subpáramo y en los márgenes de ríos y quebradas. Se distribuye en las provincias de Cotopaxi, Loja, Pichincha y Zamora Chinchipe ((P. Jørgensen y Ulloa, 1994).

4.4.3.3 Descripción botánica

Según (Castillo, 2021) es un árbol de 8 a 12 metros de altura con un diámetro de 15 a 20 cm, su tronco es cilíndrico, la ramificación es alterna con una copa muy densa irregular, su corteza externa es de color gris y es lisa, posee unas hojas simples, laminada de forma elíptica obovada, su margen es entero con un apéndice redondeado, su inflorescencia es en fascículos axilares, sus flores son unisexuales, su fruto es una drupa punteado-glandular seca provista de una sola semilla.

4.4.3.4 Ecología

Esta especie es nativa, usada como potreros y bordes de bosques, prefiere suelos drenados, presenta una alta capacidad de rebrote y de regeneración natural, algunas especies de aves silvestres consumen su fruto siendo agentes dispersores para esta especie (Castillo, 2021).

4.4.3.5 Usos

Tiene usos medicinales, esto se registra en el cantón Saraguro que se usa para combatir granos y sarpullidos, en la actualidad es usado para leña y postes (Castillo, 2021).

4.4.3.6 Resinas, aceites y otros compuestos presentes

La especie presenta en su composición química compuestos fenólicos, polifenoles asociados con la propiedad farmacológica (sedativas, antiespasmódicas o antibacteriales) y el fenilpropanoides que derivan todos ellos del fenol (Castillo, 2021).

4.4.4 *Palicourea amethystina* (Ruiz & Pav.) DC

En lo escrito por (Renner et al., 1990) clasifica a la especie de la siguiente manera

4.4.4.1 Taxonomía

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Gentianales

Familia: Rubiaceae

Género: Palicourea

Especie: amethystina

4.4.4.2 Distribución geográfica

Esta especie se distribuye ampliamente por los Andes desde 1 500 a 3 500 m s.n.m. Se distribuye en las provincias de Azuay, Bolívar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Morona-Santiago, Napo, Pichincha, Tungurahua (Renner et al., 1990).

4.4.4.3 Descripción botánica

Árbol de 1 a 5 m de altura, tiene un follaje sin pubescencia presenta hojas simples, opuestas elípticas de 5-14 cm de largo y 2-6 cm de ancho, sus márgenes son enteros, la inflorescencia es en panícula de color marrón, sus flores pentámeras de color amarillo con pétalos blancos, tubulares de color azul morado, su fruto es una drupa de color negro al madurar (Pinto et al., 2018).

4.4.4.4 Ecología

Es una especie nativa, puede crecer en pajonal y en parches de bosques, atrae una gran variedad de polinizadores y dispersores y es muy favorable para la descompactación del suelo (Pinto et al., 2018).

4.4.4.5 Usos

Tiene un alto potencial en ornamentación ya que es muy atractivo por sus flores y follaje (Pinto et al., 2018).

4.4.4.6 Resinas, aceites y otros compuestos presentes

No hay información disponible.

4.4.5 *Prunus opaca* (Benth) Walp.

De acuerdo a (Romoleroux, 1995) la especie se clasifica de la siguiente manera:

4.4.5.1 Taxonomía

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Rosales

Familia: Rosaceae

Género: *Prunus*

Especie: *opaca*

4.4.5.2 Distribución geográfica

A esta especie se la encuentra distribuida en la región andina del Ecuador, en los bosques siempreverde montano de la Cordillera Oriental y Occidental de los Andes entre 1 600 a 2 900 m s.n.m. (Muñoz et al., 2021). Se distribuye en las provincias de Carchi, Imbabura, Loja, Pichincha, Sucumbíos, Zamora-Chinchipec.

4.4.5.3 Descripción botánica

Es un árbol de 10 a 12 m de altura, con un diámetro de 30 cm, su tronco es irregular, ramificación alterna y abundante, copa ondulada, presenta unas hojas simples, alternas, duras el haz es verde lustroso y el envés es opaco, su inflorescencia es en racimos axilares de 5 a 11 cm de longitud, las flores son bisexuales, su fruto es una drupa esférica de 1.5 cm de diámetro de color púrpura oscuro cuando está madura (Minga y Verdugo, 2016).

4.4.5.4 Ecología

Es una especie nativa, no apta para regeneración natural, se desarrolla en los bosques siempreverde montano de la Cordillera Oriental y Occidental de los Andes del Ecuador (Minga y Verdugo, 2016).

4.4.5.5 Usos

Posee una madera dura y sirve para elaborar herramientas manuales como cabos para hachas, picos, entre otros (Minga y Verdugo, 2016).

4.4.5.6 Resinas, aceites y otros compuestos presentes

No hay información disponible acerca de la especie, pero referente a la familia Rosaceae, se caracteriza por la presencia de taninos como antioxidantes, proantocianidinas, ácido elágico y gálico, saponinas triterpénicas, sorbitol (Rivadeneria, 2011).

5. Metodología

5.1 Área de estudio

La investigación se realizó en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), cantón Loja, propiedad de la Universidad Nacional de Loja, el mismo que está ubicado a 5 km de la ciudad (Figura 1), con una superficie total de 99 ha, en un rango altitudinal de 2 130 a 2 520 m s.n.m (Aguirre y Yaguana, 2014).

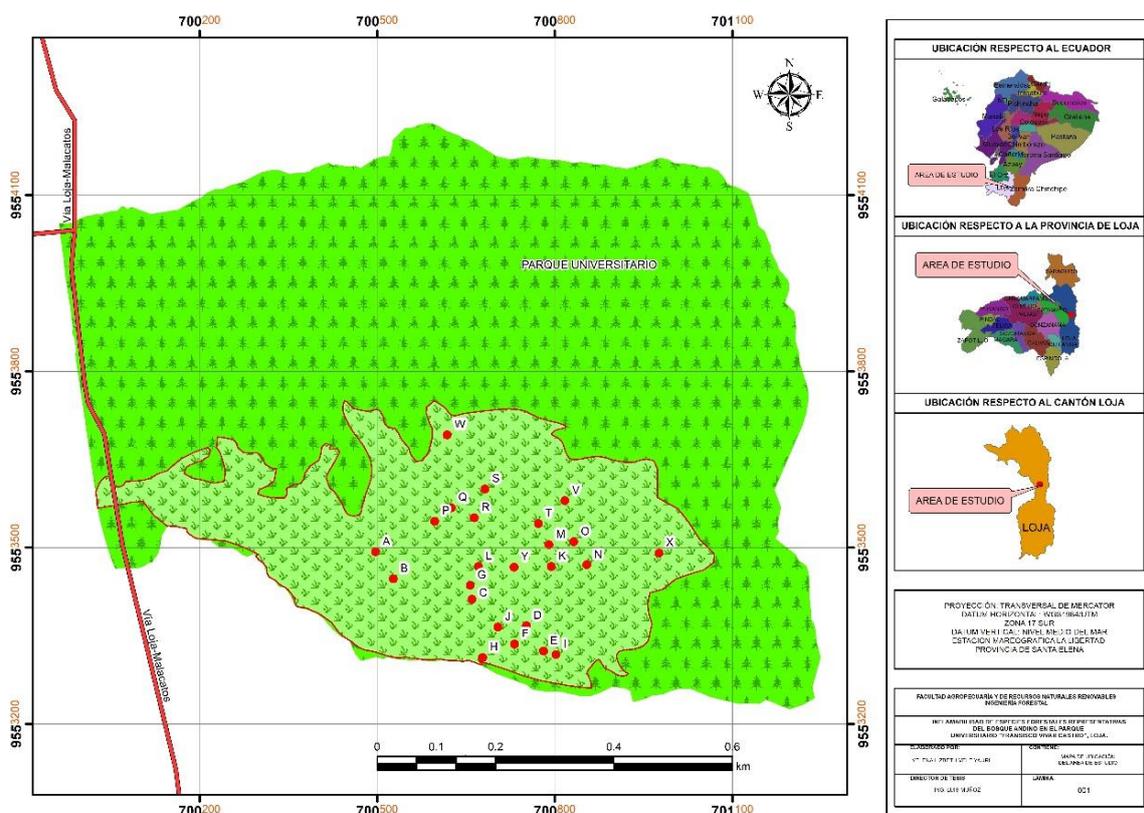


Figura 1. Ubicación del bosque nativo del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”

Fuente: Elaboración: Vele, Y. 2023.

Posee una diversidad de ecosistemas, entre ellos destacan el bosque andino, matorral andino alto y bajo, páramo antrópico, plantaciones forestales (Aguirre y Yaguana, 2014). En lo referente a las condiciones ambientales, la temperatura media anual es de 16,6 °C, precipitación total anual de 955 mm, humedad relativa de 71,6 % y el suelo de material parental de rocas metamórficas, baja fertilidad, medianamente profundos, textura franco arenoso y franco

arcilloso, pH ácido, valores bajos de materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio. La topografía del terreno es accidentada, con pendientes que fluctúan, entre 40-90 % (Aguirre y Yaguana, 2014).

5.2 Selección de las especies forestales

Las especies forestales del bosque andino del PUFVC seleccionadas para determinar su inflamabilidad fueron: *Alnus acuminata* Kunth, *Palicourea amethystina* (Ruiz y Pav.), *Clethra fimbriata* Kunth, *Myrsine sodiroana* (Mez) Pipoly y *Prunus opaca* Benth Walp. Su selección se debió a que se trata de especies representativas en la estructura del bosque andino, es decir son abundantes y de mayor importancia ecológica, por lo que cualquier tipo de perturbación del bosque podría afectar en la composición y estructura de este (Aguirre et al., 2017; Muñoz et al., 2021). En la Tabla 1 se presenta los valores de abundancia e índice de valor de importancia de las especies seleccionadas.

Tabla 1. Especies forestales representativas del Bosque Andino, con sus respectivos valores de abundancia e IVI, en el bosque andino del PUFVC

Nombre científico	Familia	Nro. individuos	IVI (%)
<i>Alnus acuminata</i>	Betulaceae	63	12,71
<i>Palicourea amethystina</i>	Rubiaceae	165	7,39
<i>Clethra fimbriata</i>	Clethraceae	32	2,16
<i>Myrsine sodiroana</i>	Primulaceae	39	3,54
<i>Prunus opaca</i>	Rosaceae	55	4,74

Fuente: (Aguirre et al., 2017), (Muñoz et al., 2021))

5.3 Diseño de muestreo y tamaño de la muestra

Mediante un muestreo aleatorio se escogieron cinco individuos de cada una de las especies seleccionadas, de preferencia individuos de igual estado fenológico. De estos individuos, se colectó material vegetal compuesto de hojas verdes (vivas) que incluyeron las ramillas terminales y laterales con un diámetro menor a 6 mm que hace referencia a combustibles forestales finos o livianos. De cada especie se colectó aproximadamente 500 gramos, de los cuales se utilizó 250 gramos secos por especie, para los ensayos de inflamabilidad.

5.4 Metodología para evaluar características de inflamabilidad en especies forestales del bosque andino PUFVC, bajo condiciones de laboratorio.

Las características de inflamabilidad se realizaron en condiciones de laboratorio. Previo a las pruebas se calculó el contenido de humedad del combustible (%), cuyo procedimiento fue registrar el peso fresco de las muestras colectadas en campo, posterior se clasificó las muestras en fundas de papel con 100 g cada una, las que fueron etiquetadas de acuerdo a la especie y número, y colocadas a la estufa a una temperatura de 55 °C. Durante un monitoreo diario, se fue registrando el peso de las muestras, hasta obtener el peso seco estabilizado (Rochas, 1994, (Hernando y Elvira, 1989; Rochas, 1994). La fórmula utilizada fue:

$$Ch = \left(\frac{P_h - P_s}{P_h} \right) * 100$$

Donde:

Ch = Contenido de humedad

Ph = Peso húmedo en g.

Ps = Peso seco en g. (anhídrido) estabilizado, después de ser secada en una estufa a 55°C.

El método utilizado en las pruebas de inflamabilidad fue por medio de llama directa (Pérez et al., 2009), ajustado al presente estudio. Para ello se necesitó un mechero de Bunsen,

colocado por debajo de una malla metálica de 15x15 cm, separados por una distancia de 4 cm, aquí se requirió de dos soportes metálicos para sujetar la malla metálica con pinzas tipo nuez y en la parte posterior se colocó una regla graduada (Figura 2).

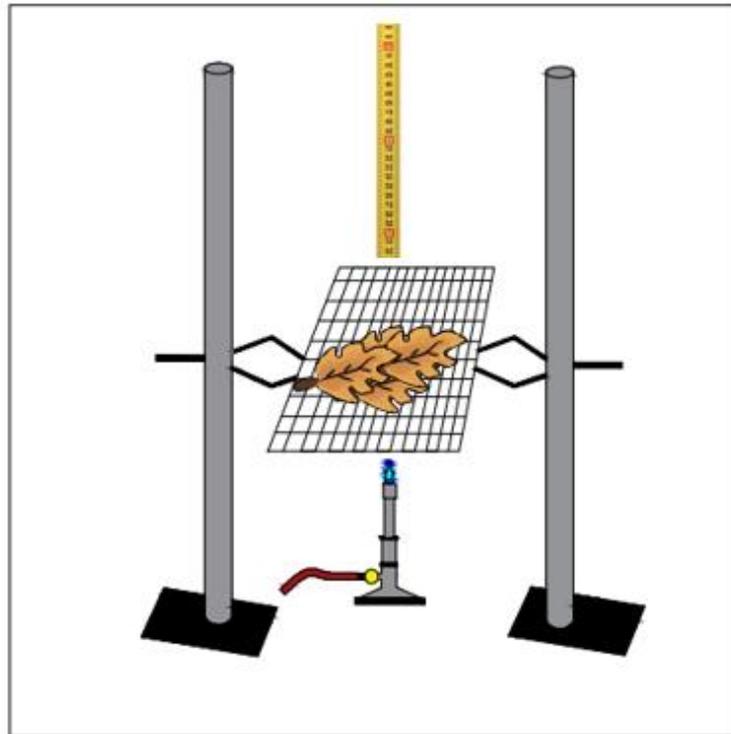


Figura 2. Materiales utilizados para realizar las pruebas de inflamabilidad por medio del método de llama directa.

Las pruebas de inflamabilidad se realizaron con 50 muestras por especie, con un peso de 5 gramos por muestra (Hachmi et al., 2011). Las características o propiedades de la inflamabilidad evaluadas fueron: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad, y altura de la llama (Hachmi et al., 2011), descritas a continuación:

5.4.1.1 Tiempo de ignición: o tiempo inicial de aparición de la llama, se calculó con la ayuda de un cronómetro y consistió en registrar el tiempo, en segundos (s), que tardó la muestra en inflamarse.

5.4.1.2 Sostenibilidad: o tiempo de duración de la llama, se calculó con la ayuda de un cronómetro y consistió en registrar el tiempo inicial de la aparición de la llama y su tiempo final de extinción. Se aplicó la fórmula descrita por (Guill y Moore, 1996).

$$S_i = t_f - t_i$$

Donde:

S_i = sostenibilidad o tiempo de duración de la llama (s)

t_f = tiempo de extinción de las llamas (s)

t_i = tiempo de inicio o aparición de la llama (s).

5.4.1.3 Combustibilidad: o velocidad de combustión después de la ignición, se calculó por medio de la fórmula descrita por Gill y Moore (1996), considerando el tiempo inicial de aparición de la llama, tiempo final de extinción de la llama, el peso final de la muestra al culminar la ignición (g) y el peso inicial de la muestra (g) al iniciar la ignición.

$$C = \frac{w_f - W_s}{t_f - t_i}$$

Donde:

C = combustibilidad (g/s)

w_f = peso inicial de la muestra al iniciar la ignición (g).

W_s = peso final de la muestra al culminar la ignición (g).

t_f = tiempo final de la ignición (s).

t_i = tiempo inicial de la ignición (s).

5.4.1.4 Altura de la llama: se determinó de manera visual, con la ayuda de una regla graduada, que nos permitió medir la altura máxima alcanzada por las llamas en cada prueba realizada.

5.5 Metodología para determinar la inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino PUFVC.

Las categorías de inflamabilidad se determinaron por medio de los métodos de (Valette, 1990) y Hachmi et al. (2011).

El método de Valette (1990) permite determinar una categoría de inflamabilidad, de acuerdo con un índice de inflamabilidad, el mismo que se obtiene de la relación entre el tiempo de ignición promedio (TI) por especie y el porcentaje de ensayos positivos (NI) de aquellas muestras en donde se produjo la inflamación antes de un minuto. Con esta información y con las condiciones de humedad del material seco, se obtuvo el índice de inflamabilidad, de acuerdo con los valores presentes en la Tabla 2.

Tabla 2. Índice de inflamabilidad de acuerdo con el tiempo de ignición promedio y porcentaje de ensayos positivos.

Tiempo de ignición promedio (s)	Porcentaje de ensayos positivos (NI)					
	> 95	90 – 94	85 – 89	80 – 84	50 – 79	< 50
Menos de 12,5	5	4	3	3	2	1
De 12,5 a 17,5	4	3	3	2	1	1
De 17,5 a 22,5	3	3	2	2	1	0
De 22,5 a 27,5	3	2	2	1	0	0
De 27,5 a 32,5	2	2	1	1	0	0
Más de 32,5	2	1	1	0	0	0

Fuente: Valette (1990)

La inflamabilidad por medio del método de Hachmi et al. (2011), que consiste en una mejora al método propuesto por Valette (1990), propone el cálculo de un índice y su posterior categoría de inflamabilidad. El índice de inflamabilidad, se obtiene de la combinación de las variables tiempo de ignición, sostenibilidad y altura máxima de la llama, tal como se presenta en la siguiente fórmula.

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

Donde:

FI= índice de inflamabilidad

TC = sostenibilidad (s)

TI = tiempo de ignición (s)

FH = altura de la llama (cm)

Las categorías de inflamabilidad propuestas por Hachmi et al. (2011) y Valette (1990) se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3: Categorías de inflamabilidad propuestas por Hachmi et al. (2011) y Valette (1990)

Categorías de inflamabilidad	Índice de inflamabilidad	
	Hachmi et al. (2011)	Valette (1990)
Muy poco inflamable	$FI < 0.5$	0
Poco inflamable	$0.5 \leq FI < 1.5$	1
Moderadamente inflamable	$1.5 \leq FI < 2.5$	2
Inflamable	$2.5 \leq FI < 3.5$	3
Extremadamente inflamable	$3.5 \leq FI < 4.5$	4
Muy extremadamente inflamable	$4.5 \leq FI$	5

5.6 Análisis de información

La información fue analizada por medio de estadísticas descriptivas e inferencial, utilizando el software estadístico Rstudio y Excel. Se interpretó la información por medio de tablas y figuras (boxplot). Como un análisis exploratorio de las características de inflamabilidad, se realizó un análisis clúster de similitud entre las especies. Adicional, se calculó un ANOVA para comparar las medias entre las cinco especies analizadas, con un nivel de significancia de 0,05, al no asumir la normalidad de los datos se procedió a implementar la prueba no paramétrica Kruskal Wallis.

6. Resultados

6.1 Características de inflamabilidad de especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC

Las características de inflamabilidad para las cinco especies forestales del bosque nativo, se realizaron bajo condiciones de laboratorio y con contenidos de humedad comprendidos entre 27,21 y 53,64 % (Tabla 4), con diferencias significativas entre especies (Kruskal Wallis, p -valor: 0,000; $\alpha=0,05$). En el Anexo 1 se presenta el script utilizado para realizar la comparación de medias para las variables analizadas.

Tabla 4: Estadísticas descriptivas del contenido de humedad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.

ESPECIE	CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	ERROR TÍPICO (\pm %)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
<i>Alnus acuminata</i>	42,7	1,2	9,91
<i>Clethra fimbriata</i>	48,6	0,5	4,2
<i>Myrsine sodiroana</i>	53,64	1,47	9,11
<i>Palicourea amethystina</i>	27,21	0,58	7,92
<i>Prunus opaca</i>	43,18	0,31	2,98

El tiempo de ignición o tiempo de aparición de la llama, estuvo comprendido entre 17,46 y 44,32 segundos, siendo *P. opaca* la que requirió menor tiempo (17,46 segundos) a una temperatura promedio de 445,4 °C y la de mayor tiempo fue *M. sodiroana* (44,32 segundos) a una temperatura promedio de 464,4 °C (Tabla 5). En el Anexo 2 se presenta un resumen de las estadísticas descriptivas para las características de inflamabilidad de las cinco especies forestales.

Tabla 5: Estadísticas descriptivas del tiempo de ignición para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.

ESPECIE	TIEMPO DE IGNICIÓN PROMEDIO (s)	ERROR TÍPICO ($\pm s$)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %	TEMPERATURA PROMEDIO DE IGNICIÓN ($^{\circ}$ C)
<i>Alnus acuminata</i>	33,42	2,68	42,18	489,5
<i>Clethra fimbriata</i>	39,76	3,22	49,28	469,6
<i>Myrsine sodiroana</i>	44,32	3,95	41,79	464,4
<i>Palicourea amethystina</i>	25,7	2,43	51,89	453,1
<i>Prunus opaca</i>	17,46	3,37	136,38	445,4

La prueba Kruskal Wallis encontró diferencias significativas en el tiempo de ignición entre las cinco especies (p -valor: 0,011; $\alpha=0,05$), siendo *C. fimbriata* la que se diferencia del resto de especies (Figura.3).

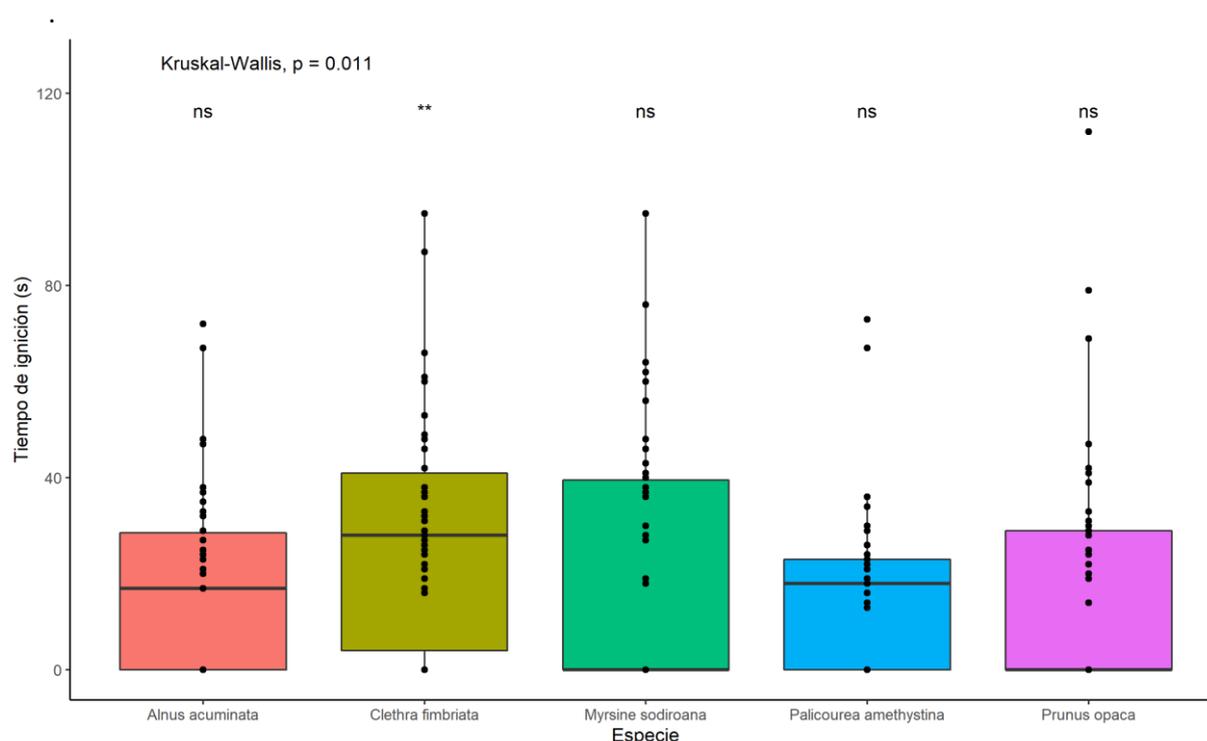


Figura 3: Distribución de los valores de tiempo de ignición para las cinco especies forestales.

En la Tabla 6, se detalla los promedios obtenidos de la sostenibilidad o duración de la llama, la misma que presenta valores entre 22 y 50,36 segundos, siendo *P. amethystina* la que

presentó menor tiempo (22 segundos) de sostenibilidad y la de mayor tiempo fue *M. sodiroana* (50,36 s).

Tabla 6: Estadísticas descriptivas de la sostenibilidad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.

ESPECIE	SOSTENIBILIDAD PROMEDIO (s)	ERROR TÍPICO (\pm s)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
<i>Alnus acuminata</i>	49,62	5,44	55,95
<i>Clethra fimbriata</i>	33,03	2,45	45,11
<i>Myrsine sodiroana</i>	50,36	9,56	89,07
<i>Palicourea amethystina</i>	22,00	1,65	40,99
<i>Prunus opaca</i>	37,08	3,16	41,75

La prueba Kruskal Wallis mostró diferencias estadísticas entre las especies forestales (p -valor: 0,0027; $\alpha=0,05$), siendo las especies *A. acuminata* y *P. amethystina*, las que se diferencian con el resto de especies (Figura. 4).

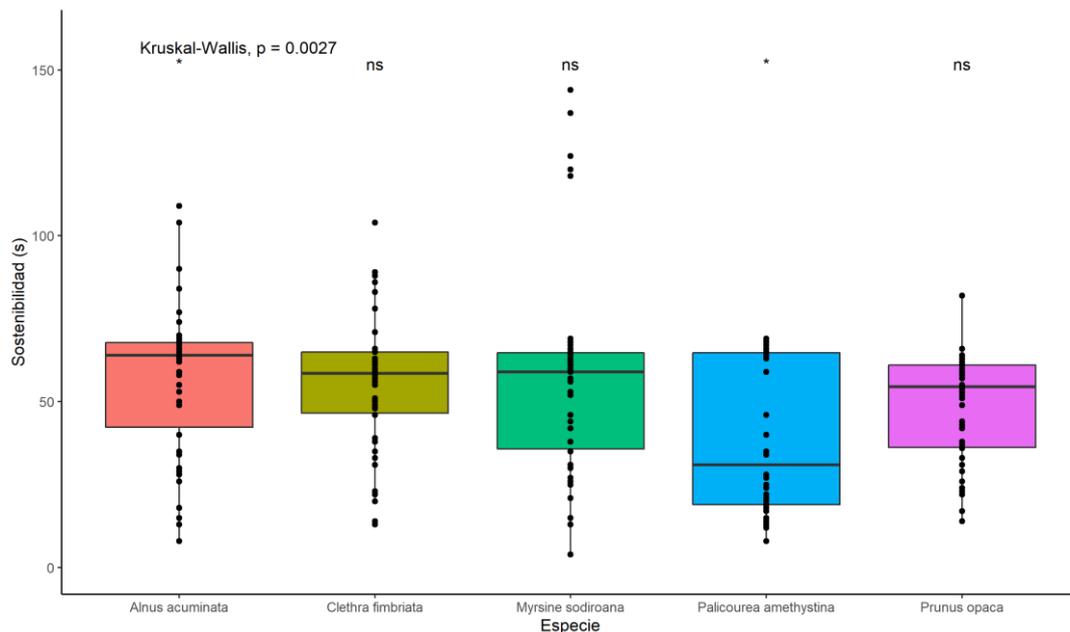


Figura 4: Distribución de los valores de sostenibilidad para las especies forestales.

En lo detallado en la Tabla 7, se evidencia los valores de la combustibilidad o velocidad a la que se consumió el combustible forestal vivo que fue de 0,05 g/s a 0,09 g/s. Las especies

que presentaron el valor más bajo fueron *A. acuminata* y *M. sodiroana* (0,05 g/s), mientras que el valor más alto de combustibilidad fue para *P. amethystina* con un valor promedio de 0,09 g/s.

Tabla 7: Estadísticas descriptivas de la combustibilidad para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC.

ESPECIE	COMBUSTIBILIDAD PROMEDIO (g/s)	ERROR TÍPICO (\pm g/s)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
<i>Alnus acuminata</i>	0,05	0,00	49,52
<i>Clethra fimbriata</i>	0,06	0,00	46,90
<i>Myrsine sodiroana</i>	0,05	0,01	141,93
<i>Palicourea amethystina</i>	0,09	0,01	78,24
<i>Prunus opaca</i>	0,07	0,01	68,08

La prueba Kruskal Wallis mostró diferencias significativas entre las especies (p-valor: 0,000; $\alpha=0,05$), siendo *M. sodiroana* y *P. amethystina*, las que se diferencian entre el resto de las especies (Figura. 5)

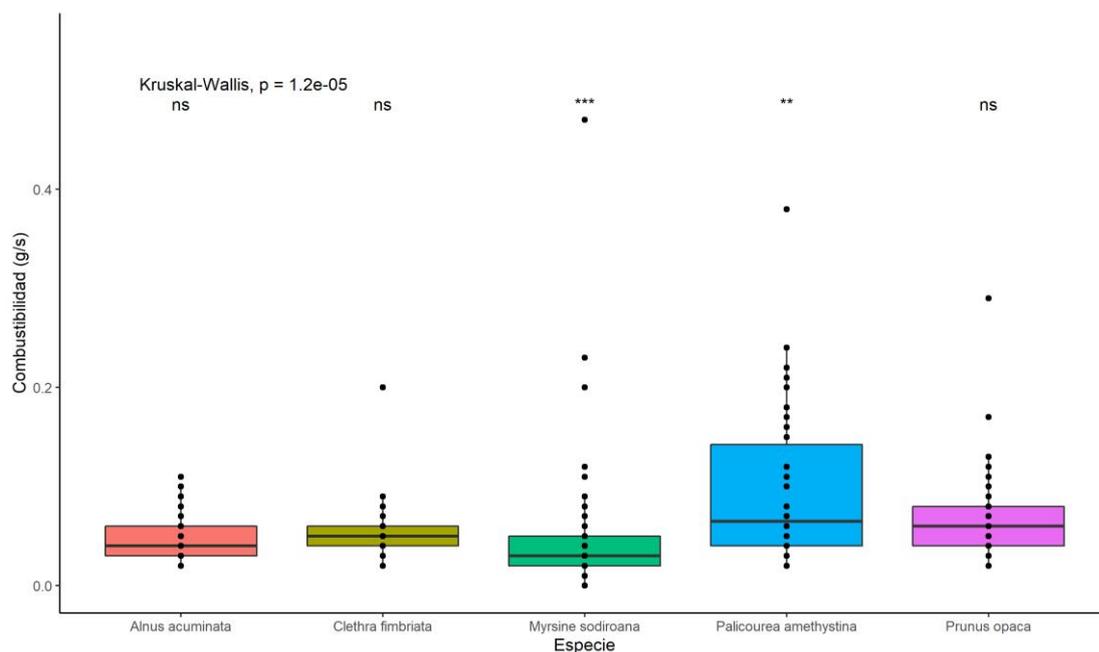


Figura 5: Distribución de los valores de Combustibilidad para las cinco especies forestales.

En la Tabla 8 se detalla los valores de la altura de la llama con promedios entre 16,74 cm y 29,08 cm, siendo *P. amethystina* (16,74 cm) la del valor más bajo y *P. Opaca* (29,08 cm) la del valor más altos.

Tabla 8: Estadísticas descriptivas de la altura de la llama para las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC

ESPECIE	ALTURA DE LA LLAMA PROMEDIO (cm)	ERROR TÍPICO (\pm cm)	COEFICIENTE DE VARIACIÓN %
<i>Alnus acuminata</i>	28,88	1,25	22,03
<i>Clethra fimbriata</i>	24,89	1,36	33,33
<i>Myrsine sodiroana</i>	26,73	1,33	23,30
<i>Palicourea amethystina</i>	16,74	2,27	95,91
<i>Prunus opaca</i>	29,08	2,17	36,56

La prueba Kruskal Wallis mostró que el promedio de la altura de la llama entre las cinco especies fue similar (*p*-valor: 0,22; $\alpha=0,05$), es decir no se presentó diferencias significativas (Figura 6).

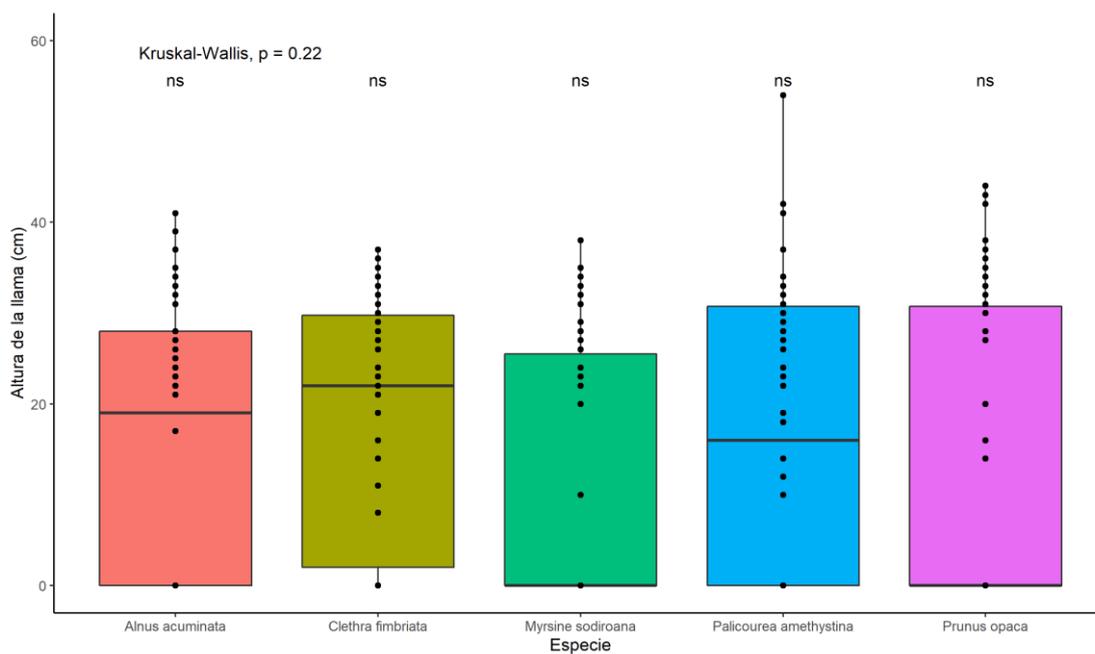


Figura 6: Distribución de los valores de la Altura de la llama de las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC

6.2 Inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC, bajo condiciones de laboratorio

En la Tabla 9 se presentan los índices y categorías de inflamabilidad para las cinco especies representativas del bosque andino mediante los métodos de Valette (1990) y Hachmi et al. (2011), Con el método de Valette (1990) las categorías oscilan de Poco inflamable (*A. acuminata*, *P. amethystina*, *P. opaca*) a muy poco inflamable (*C. fimbriata*, *M. sodiroana*); mientras que, según Hachmi et al. (2011) las categorías van de Moderadamente inflamable (*A. acuminata*, *C. fimbriata*, *P. amethystina*) a poco inflamable (*M. sodiroana*, *P. opaca*).

Tabla 9: Categoría e índice de inflamabilidad de las cinco especies forestales del bosque andino del PUFVC

Especie	Valette (1990)		Hachmi et al., 2011	
	Índice de inflamabilidad	Categoría	Índice de inflamabilidad	Categoría
<i>Alnus acuminata</i>	1	Poco inflamable	1,86	Moderadamente inflamable
<i>Clethra fimbriata</i>	0	Muy poco inflamable	1,92	Moderadamente inflamable
<i>Myrsine sodiroana</i>	0	Muy poco inflamable	0,97	Poco inflamable
<i>Palicourea amethystina</i>	1	Poco inflamable	1,65	Moderadamente inflamable
<i>Prunus opaca</i>	1	Poco inflamable	1,33	Poco inflamable

Mediante un análisis clúster (Figura 7) por medio de un dendrograma, se observó que ciertas especies presentan similitud con las características de la inflamabilidad como: tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama y el contenido de humedad, formando tres grupos con características similares, entre las características de inflamabilidad.

Dendrograma de inflamabilidad

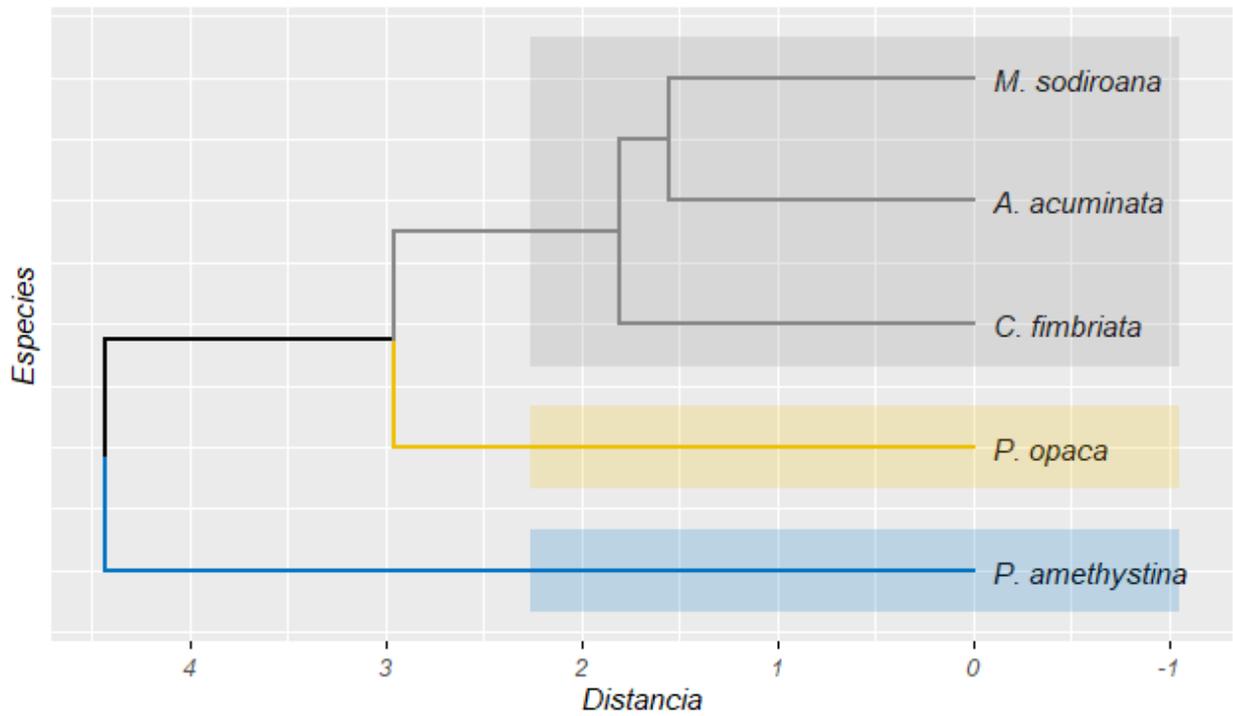


Figura 7: Dendrograma de las especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC, en función de las características de inflamabilidad.

7. Discusión

7.1 Características de inflamabilidad de especies forestales representativas del Bosque andino del PUFVC

Las características de la inflamabilidad evaluadas en la presente investigación, como el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama, para las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC, se realizaron bajo condiciones de laboratorio con contenidos de humedad entre 27,21 % y 53,64 %, mostrando diferencias significativas entre estas, por lo que las pruebas se realizaron bajo condiciones de humedad particular para cada especie. Estas diferencias en contenido de humedad del combustible pueden tener implicaciones a la hora de un incendio forestal pues este influye en la ignición, la propagación del fuego y el consumo de combustible (Kane y Prat-Guitart, 2018). Además, las diferencias encontradas pudieran deberse a la fisiología o características propias de las especies (Guarín et al., 2022, Zylstra et al., 2016 y (Etlinger y Beall, 2005; Guarín et al., 2022; Zylstra et al., 2016); por ejemplo, *P. amethystina* es una especie de sotobosque, considerada como esciófita (Palacios y Jaramillo, 2004), tolerante a la sombra y con hojas grandes, anchas, llenas de agua y al momento de ser secadas, su volumen se reduce considerablemente ((A. Rodríguez et al., 2008). Por otra parte, la especie heliófita *A. acuminata* (Aguirre et al., 2021), y semiluz como *M. sodiroana*, *C. fimbriata* y *P. opaca* (Muñoz et al., 2021) son tolerantes a la luz directa solar, con ciclos de vida corto, mayor densidad en claros recientes (Islebe et al., 2007) y presentan hojas pequeñas con bajos contenidos de humedad. Por lo tanto, el contenido de humedad de los combustibles es determinante para la ignición del fuego (Freire, 2019) y junto con la humedad relativa del ambiente son factores importantes en la probabilidad de que ocurra un incendio, pues determinan su comportamiento una vez producido ((Wong y Villers, 2007).

El tiempo de ignición o tiempo de aparición de la llama (A. Pérez et al., 2009), presentó valores entre 17,46 segundos y 44,32 segundos en las especies evaluadas, siendo *P. opaca* la que se enciende más rápido (17,46 segundos) y *M. sodiroana* la que requiere mayor tiempo en arder (44,32 segundos). Según (Gould, 2009) el tiempo de ignición aumenta considerablemente en los combustibles con elevado contenido de humedad, lo que podría afirmar que las especies estudiadas presentaron tiempos de ignición altos en especial para *A. acuminata*, *C. fimbriata* y *M. sodiroana* con tiempos de ignición mayores a 30 segundos, contrario a *P. opaca* que con un

contenido de humedad de 43,18 % registró el tiempo de ignición menor, por encima de *P. amethystina*. Esta condición pudiera obedecer a la presencia de compuestos químicos, que favorecen la inflamabilidad pues la familia Rosaceae se caracteriza por la presencia de taninos, como antioxidantes, proantocianidinas, ácido elágico y gálico, saponinas triterpénicas, sorbitol, que son compuestos combustibles con poca inflamabilidad (Rivadeneria, 2011). Sobre compuestos fenólicos, Guerrero et al. (2021) sostiene que las especies con tiempos de ignición rápidos son aquellas especies con presencia de fenólicos los que actúan como potenciador del fuego acelerando el tiempo de ignición, condición que podría explicar el tiempo de ignición para *M. sodiroana* también posee compuestos fenólicos. Otras investigaciones reportan diversidad de tiempos de ignición para especies entre árboles y arbustos, por ejemplo (Hachmi et al., 2011) reporta tiempos de ignición entre 2,4 a 19,1 segundos para 31 especies, Alzate-Guarín et al. (2022) determina tiempos de ignición desde 12 hasta mayores a 32 segundos en 11 especies, Carrasco et al. (2016) encuentra tiempo de ignición entre 4 y 19 segundos en ocho especies y De Magalhães y Schwilk (2012) registra tiempos entre 1,9 a 7,1 segundos para ocho especies forestales.

Cabe mencionar que, durante las pruebas realizadas, algunas de las muestras vegetales entran en ignición, pero sin evidenciar llama, es decir, las muestras se consumen llegando a carbonizar el material, situación presente en *M. sodiroana* y *P. opaca*. Este proceso de acuerdo con (Lioudakis et al., 2002) se conoce como combustión latente en la que se evidencian tres regiones: la región de pirólisis, con aumento de temperatura y salida de humo, la región carbonizada, donde la temperatura alcanza su valor máximo; y, la región de la ceniza residual, que se obtiene después de las pruebas realizadas con los combustibles forestales.

La sostenibilidad o duración de la llama hace referencia a la duración que tiene el vegetal para soportar un incendio (Behm et al., 2018). Las especies evaluadas presentaron valores de sostenibilidad entre 22,00 segundos y 50,36 segundos, siendo *P. amethystina* la de valor más bajo de sostenibilidad, lo que la convierte en una especie resistente al fuego y que posiblemente ayuda en la extinción rápida de un incendio forestal (Guarín et al., 2022). Por otra parte *M. sodiroana* presenta el valor más alto en la sostenibilidad (50,36 segundos) lo que implica que podría sostener la llama por más tiempo, favoreciendo la continuidad de incendios forestales y convertirse en fuente de ignición para otros combustibles. Otros estudios como los de Alzate-Guarín et al. (2022) y Hachmi et al. (2011) reportan tiempos de duración de la llama

para especies forestales y arbustivas desde 8 a 26 segundos, considerados bajos en comparación a las especies forestales del bosque nativo del PUFVC.

La combustibilidad según White y Zipperer (2010) representa la rapidez con la que arde el fuego; y, Marino et al. (2010) mencionan que esta característica está relacionada con la velocidad de propagación que tiene el fuego e influenciada por el contenido de humedad de los combustibles (Kane y Prat-Guitart, 2018). En el presente estudio las cinco especies forestales tuvieron valores de combustibilidad entre 0,05 g/s y 0,09 g/s, siendo *A. acuminata* y *M. sodiroana* las de valores más bajos de combustibilidad con un consumo del material vegetal no en su totalidad; mientras que, *P. amethystina* presenta el valor más alto de combustibilidad.

La altura de la llama es una característica utilizada por Hachmi et al. (2011) para conocer la inflamabilidad y analizada en el presente estudio. La altura promedio de la llama va desde 16,74 cm hasta 29,08 cm, siendo *P. amethystina*, la que generó menor altura de la llama y *P. opaca* con el valor más alto (29,08 cm), lo que podría estar influenciado por la presencia de compuestos como taninos y antioxidantes que son característicos en especies de la familia Rosaceae (Rivadeneria, 2011), así como, de otros atributos como el tamaño de las hojas pues según Popović et al. (2021) las especies con hojas pequeñas y engrosadas producen alturas de llama intermedias, mientras que las hojas grandes y delgadas producen llamas altas, En el estudio de Hachmi et al. (2011), presenta el valor más alto de 23 cm, considerando a la especie muy inflamable y el más bajo de 7 cm, considerándose poco inflamable, teniendo una relación con los datos obtenidos; además, añade que esta característica está influenciado por otros factores, como el viento y la pendiente. Otros autores, como Magalhães y Schwilk (2012) reportan valores de altura de la llama, de hasta los 106 centímetros, originado principalmente, por la variedad de especies y probablemente a los métodos de medición empleados.

Durante las pruebas de inflamabilidad se evidenció la presencia de humo color blanco para las especies, *A. acuminata*, *C. fimbriata* y *M. sodiroana*; y, gris oscuro para *P. amethystina* y *P. opaca*. De acuerdo con Briones (2012) el color de humo permite determinar el tipo de combustible quemado siendo blanco para combustibles ligeros, gris claro a combustibles tipo medio y gris oscuro a combustibles más gruesos y pesados. Sin embargo, la presencia de humo

gris oscuro en *P. amethystina* y *P. opaca* podría ser una respuesta a la constitución fisiológica de las especie o presencia de algún compuesto químico presente en las hojas y ramas.

7.2 Inflamabilidad de las especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC

La inflamabilidad es conocida según Varner et al. (2015) como la habilidad que tiene los combustibles para encenderse y entrar en ignición. Además, Popović et al. (2021) mencionan, que es un tema de interés para la ecología y el comportamiento del fuego; y, Zylstra et al. (2016) mencionan que la inflamabilidad en las especies vegetales depende de dos características que son: la primera influenciada por el tamaño, forma, contenido de humedad y composición química presente en cada especie y la segunda es acerca de la disposición tridimensional, el espacio de las hojas y tallos, sean estos vivos o muertos presentes en el bosque. El presente estudio consideró principalmente el tamaño, forma y contenido de humedad de los combustibles vivos, evaluados bajo condiciones de laboratorio.

Los métodos para determinar la inflamabilidad de las especies forestales utilizan diferentes variables para su cálculo, por ejemplo Valette (1990) considera como inflamabilidad el tiempo de ignición y Hachmi et al. (2011) incluye al tiempo de ignición otras variables como la sostenibilidad y altura de la llama, las que fueron consideradas en el presente estudio. El instrumento utilizado en las pruebas de inflamabilidad, método de llama directa, es un método práctico que permite realizar las pruebas en el menor tiempo posible al controlar la intensidad de la llama, pero al mismo tiempo cada especie requiere una temperatura específica para la ignición, lo que podría ser una debilidad al momento de hacer comparaciones entre especies pues se estaría causando sobre o subestimaciones en las categorías de inflamabilidad de las especies. No obstante, los dos métodos utilizados brindan aproximaciones de inflamabilidad y han sido utilizados por varios investigadores como es el caso de Guarín et al. (2022) y Valette (1990) quienes utilizan el método de la llama directa con buenos resultados. A diferencia del método del epirradiator que también es utilizado por diferentes investigadores como Batista et al. (2012), Dehane et al. (2017); Guerrero et al. (2021), Kauf et al. (2014), Marino et al. (2010), Popović et al. (2021) y Rodríguez et al. (2016), pero que requiere mayor tiempo durante

las pruebas bajo condiciones de laboratorio, lo que podría ser una limitante cuando el número de repeticiones es alto y la temperatura requerida para ignición sea mayor a 350 °C, tal como ocurre en la presente investigación.

La categoría de inflamabilidad para *A. acuminata* fue poco inflamable por medio de Valette (1990) y moderadamente inflamable por medio de Hachmi et al. (2011). Se trata de una especie que no genera llama con facilidad cuando el material es expuesto al fuego, gran parte de este entró en combustión sin generar llama (48 % de las muestras) y la velocidad de consumo del material vegetal fue bajo, con promedios de 0,05 g/s. No obstante, cuando el material vegetal generó llama, esta tuvo una altura promedio de 28,88 cm y una duración de la llama cerca de 50 segundos. La especie *C. fimbriata* fue muy poco inflamable según Valette (1990) y moderadamente inflamable de acuerdo con Hachmi et al. (2011), la generación de llama se produce con facilidad cuando el material es expuesto al fuego, de las pruebas realizadas alcanzó el 74 % de ensayos positivos y la velocidad de consumo del material vegetal tuvo un promedio de 0,06 g/s, el promedio de altura de la llama que genera fue de 24,89 cm con duración de la llama de 33 segundos. En el caso de *M. sodiroana* presentó la categoría muy poco inflamable para Valette (1990) y poco inflamable para Hachmi et al. (2011), al igual que las especies mencionadas anteriormente no generó llama con facilidad cuando el material fue expuesto al fuego, gran parte de este entró en combustión sin generar llama (56 % de las muestras) y la velocidad de consumo del material vegetal fue bajo con promedios de 0,05 g/s; no obstante, cuando el material vegetal generó llama esta alcanzó una sostenibilidad de 50,36 s y una altura promedio de 26,73 cm. Estas características de inflamabilidad convierten a *A. acuminata*, *C. fimbriata* y *M. sodiroana* en especies claves ante un incendio forestal, pues altas abundancias de las especies en el bosque podrían constituir en una barrera para la propagación del fuego, por su resistencia a generar llama, tal como lo sostienen Petriccione (2006) y Guarín et al. (2022) al indicar que especies con altos tiempos de ignición y categoría de inflamabilidad poco inflamable serían resistentes a incendios forestales, por lo que podrían emplearse en cortinas rompevientos como medidas de control natural de incendios forestales. No obstante, al momento de producirse la ignición en estas especies, podría constituir en una fuente calor y propagación hacia otras especies, por sus valores de sostenibilidad, dando continuidad al fuego.

Para el caso de *P. amethystina*, presentó un 60 % de ensayos positivos, posee el valor más bajo del contenido de humedad comparado con las otras especies (27,21 %), valores bajos en sostenibilidad (22,00 s) y altura de la llama (16,74 cm), valores rápidos de combustibilidad (0,09 g/s) y tiempo de ignición (25,7 s), estas características convierten a la especie como poco inflamable según Valette (1990) y moderadamente inflamable según Hachmi et al. (2011). Se trata de una especie importante en un incendio forestal, pues por su capacidad de ignición rápida y en combinación con otras características de su entorno ((White y Zipperer, 2010), como el conectar los combustibles superficiales con los aéreos o copas de los árboles, podría ser una de las especies iniciadoras del fuego.

La especie *P. opaca* presentó un tiempo de ignición rápido (17,46 s), sostenibilidad y combustibilidad media (37 s y 0,07 g/s respectivamente) y altura de la llama alta (29,08 cm); sin embargo, se consideró como una especie con categoría de poco inflamable, de acuerdo con Valette (1990) y Hachmi et al. (2011), esto porque la especie presentó una resistencia a la ignición, pues el 48 % de ensayos fueron positivos, lo que influye sobre los otros componentes de la inflamabilidad como sostenibilidad, combustibilidad y consumabilidad (White y Zipperer, 2010), por lo tanto, a pesar de ser una especie poco inflamable su ignición puede dar paso al origen de incendios forestales.

El análisis clúster es un método usado para hacer la representación gráfica de las especies que presentan características similares (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). Este método de exploración de datos identificó tres grupos de especies, cada uno con características similares en cuanto a contenido de humedad, tiempo de ignición, sostenibilidad y altura de la llama. En el caso de *P. amethystina* y *P. opaca*, son especies muy particulares en su inflamabilidad, diferentes entre sí y con el resto de las especies; mientras que, *M. sodiroana*, *A. acuminata* y *C. fimbriata*, pertenecen a un mismo grupo, por lo que sus características de inflamabilidad son similares.

Las especies forestales del bosque nativo del PUFVC presentaron diferentes categorías de inflamabilidad, desde muy poco inflamable, hasta moderadamente inflamable. Similares resultados se observan en otros estudios, tal es el caso de, Hachmi et al. (2011) quienes determinan diferentes categorías, desde muy poco a inflamables, reportando mayor número de

especies con la categoría moderadamente inflamables. Por su parte Alzate-Guarín et al. (2022) reportan categorías para especies forestales y arbustivas, desde poco inflamables hasta altamente inflamables, con mayor número de especies moderadamente y poco inflamables. Carrasco et al. (2016) investigan la inflamabilidad de especies forestales a lo largo de un año y registran categorías desde poco hasta extremadamente inflamables principalmente. Guerrero et al. (2021) determinan para las especies *Quillaja saponaria*, *Criptocarya. alba*, *Eucalyptus globulus*, *Pinus radiata*, y *Acacia dealbata*, categorías de inflamabilidad desde inflamables y extremadamente inflamables. Esta diversidad de categorías de inflamabilidad para las especies forestales y arbustivas de acuerdo con Popović et al. (2021), se debe a las características de inflamabilidad de cada especie y a su composición química.

8. Conclusiones

Las características de inflamabilidad evaluadas bajo condiciones de laboratorio, para las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC, mostraron diferencias significativas entre especies, que podrían estar influenciadas por el contenido de humedad del combustible, el tamaño y forma del combustible, la constitución fisiológica y los compuestos químicos presentes en estos.

El conocimiento del tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama por especie forestal, permitió entender el papel crucial que pudieran jugar las especies forestales en el bosque andino del PUFVC, ante la eventualidad de un incendio forestal, constituyendo estas características, determinantes en el comportamiento y posterior propagación del fuego, en este tipo de ecosistemas.

Las categorías de inflamabilidad determinadas para las cinco especies representativas del bosque nativo del PUFVC, que van desde muy poco a moderadamente inflamable, muestran la diversidad de combustibles vivos, que conforman el bosque andino y la dinámica del fuego, lo que es crucial para la prevención y restauración, de áreas degradadas por incendios.

La combinación de varias características de la inflamabilidad como el tiempo de ignición, sostenibilidad y altura de la llama demostró una mayor influencia en el cálculo de la categoría de inflamabilidad de las especies forestales del bosque andino del PUFVC en comparación a métodos que utilizan una sola característica para su estimación.

9. Recomendaciones

Ampliar la investigación a otras especies que componen el bosque andino del PUFVC, en diferentes estratos; para así, contar con información completa y responder de manera adecuada al combate, control y manejo del fuego, en el bosque nativo del PUFVC.

Considerar el estudio de factores ambientales, escalas espaciales y temporales, para conocer la influencia en las características y categorías de inflamabilidad de las especies vegetales, pues la combustión sin generación de llama que presentaron algunas especies, podría modificarse ante la presencia de factores de topografía y variables ambientales.

Determinar la inflamabilidad de especies vegetales para otros ecosistemas del PUFVC, como el matorral andino y páramo antrópico, con la finalidad de contar con una información integral, del potencial comportamiento del fuego, a nivel de paisaje.

10. Bibliografía

- Aguirre, Z., González, L., Jaramillo, N., y Peña, J. (2021). Monitoreo de la sucesión de especies vegetales leñosas bajo una plantación de *Pinus radiata* D. Don, en el parque universitario “Francisco Vivar Castro”, provincia de Loja, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 1018–1039.
- Aguirre, Z., Reyes, B., Quizhpe, W., y Cabrera, A. (2017). Composición florística, estructura y endemismo del componente leñoso de un bosque montano en el sur del Ecuador. En *Arnaldoa* (Vol. 24, pp. 543–556). scielo.
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2013). *Árboles y Arbustos de parques y avenidas de Loja*.
- Aguirre, Z., y Yaguana, C. (2014). Parque Universitario de Educación Ambiental y Recreación Ing. Francisco Vivar Castro. *Universidad Nacional de Loja*, 30.
- Alzate-Guarín, F., Muñoz, L., y Amell, A. (2022). Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. *Hoehnea*, 49. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-49/2021>
- Añón, J. A. R., López, F. F., Castiñeiras, J. P., Ledo, J. P., y Regueira, L. N. (1995). Calorific values and flammability for forest wastes during the seasons of the year. *Bioresource Technology*, 52(3), 269–274. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00034-C](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00034-C)
- Aulestia-Guerrero, E., Jiménez, L., Quizhpe-Palacios, J., y Capa-Mora, D. (2018). *Alnus acuminata* kunth: Una alternativa de reforestación y fijación de dióxido de carbono. *Bosque Latitud Cero*, 8(2), 64–74.
- Batista, A., Biondi, D., Tetto, A., Assunção, R. De, Tres, A., Travenisk, R., y Kovalsyk, B. (2012). *Evaluación de la Inflamabilidad de Árboles y Arbustos Utilizados en la Implementación de Barreras Verdes en el Sur del Brasil*.
- Behm, A., Long, A., Monroe, M., Randall, C., Zipperer, W., y Báez, A. (2018). Fire in the Wildland- Urban interface: Preparing a Firewise Plant List for WUI Residents. *Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS) and the USDA Forest Service*.
- Bravo, E. (2014). *La Biodiversidad en el Ecuador* (Universida).
- Briones, F. (2012). Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas. *Natural de Aragón*.
- Carrasco, Y., Ramos, M., Mesa, J., Caso, Y., y Martínez, L. (2016). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 4(1).

- Castellano, H. (2018). *Pre—Diseño de la red contra incendio del edificio Alberto E. Ariza de la Universidad Santo Tomas*. Universidad Santo Tomas.
- Castillo, J. G. (2021). *Caracterización de extractos obtenidos a partir de Tarqui Myrsine andina (Mez) Pipoly, planta nativa del cerro Teligote*. Universidad Técnica de Ambato.
- de Magalhães, R. M. Q., y Schwilk, D. W. (2012). Leaf traits and litter flammability: Evidence for non-additive mixture effects in a temperate forest. *Journal of Ecology*, *100*(5), 1153–1163. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2012.01987.x>
- Dehane, B., Hernando, C., Guijarro, M., y Madrigal, J. (2017). Flammability of some companion species in cork oak (*Quercus suber* L.) forests. *Annals of Forest Science*, *74*(3), 60. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0659-5>
- Dimitrakopoulos, A. P., y Papajoannou, K. K. (2001). Flammability Assessment of Mediterranean Forest Fuelds. *Fire Technology*, *32*(2), 143–152.
- Etlinger, M., y Beall, F. (2005). Development of a laboratory protocol for fire performance of landscape plants. *International Journal of Wildland Fire*, *13*, 479–488. <https://doi.org/10.1071/WF04039>
- Eusse, Ó., López, B., Gil, Z., y Salazar, J. (2005). *El Aliso o Cerezo*.
- FAO. (2020). El estado de los bosques del mundo 2020. *Los bosques, la biodiversidad y las personas*.
- Fernández, L. (2015). Modelo matemático-numérico para simular la propagación de incendios forestales. *Instituto Potosino de Investigación científica y tecnológica, A.C.*
- Ferreras, J., Estada, P., Herrero, T., y Martín, M. A. (2001). Incendios Forestales. *Ecosistemas*, *10*(1).
- Fienco, A., Lafuente, W., y Mendoza, J. (2019). Estrategias de seguridad ambiental frente a los cambios climáticos en base a los incendios forestales. *Revista Científica Mundo de la Investigación y el Conocimiento*, *3*(1).
- Freire, K. G. (2019). EStimación de la humedad del combustible vivo usando imágenes sentinel-2 en parcelas forestales de la comunidad Valenciana. *GEOESPACIAL*, *17*(1), 1–13.
- García, R. (2001). *Combustión y Combustibles*.
- González, M. E., Lara, A., Urrutia, R., y Bosnich, J. (2011). Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33°—42° S) . En *Bosque (Valdivia)* (Vol. 32, pp. 215–219). scielocl .
- Gould, W. (2009). Fire ecology and management. *Ambio*, *37*, 521.

- Guarín, F., Muñoz, L., y Amell, A. (2022). Evaluación preliminar de la inflamabilidad de algunas especies de plantas cultivadas en Colombia. *Hoehnea* 49.
- Guerrero, F., Hernández, C., Toledo, M., Espinoza, L., Yulian, C., Arriaga, 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. *Journal of Environmental Reserach and Public Health.*, 18(13), 7191.
- Guill, M., y Moore, P. (1996). IGNITIBILITY OF LEAVES OF AUSTRALIAN PLANTS. *CSIRO Plant Industry*.
- Hachmi, M., Sesbou, A., Benjelloun, H., Handouz, N., y Bouanane, F. (2011). A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion*, 2011.
- Hernando, C., y Elvira, M. (1989). Inflamabilidad y energia de las especies de sotobosque. *Laboratorio de Incendios Forestales CIT-INIA*, 12.
- Islebe, G. A., Valdez Hernández, M., y Sánchez Sánchez, O. (2007). Flora arbórea y caracterización de gremios ecológicos en distintos estados sucesionales de la selva mediana de Quintana Roo. *Foresta Veracruzana*, 9(2), 17–26.
- Jørgensen, P. M., y León-Yáñez, S. (1999). *Catalogue of the vascular plants of Ecuador*. Monogr. sist. Bot. Bot de Misuri. Gard. <http://legacy.tropicos.org/referencesearch.aspx?projectid=2>
- Jørgensen, P., y Ulloa, C. (1994). *Plantas con semillas de los Andes altos de Ecuador: Una lista de verificación*. Representante de la AAU.
- Kauf, Z., Fangmeier, A., Rosavec, R., y Španjol, Ž. (2014). Testing Vegetation Flammability: The Problem of Extremely Low Ignition Frequency and Overall Flammability Score. *Journal of Combustion*, 2014, 970218. <https://doi.org/10.1155/2014/970218>
- Liodakis, S., Bakirtzis, D., y Dimitrakopoulos, A. (2002). Ignition characteristics of forest species in relation to thermal analysis data. *Thermochimica Acta*, 390(1), 83–91. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(02\)00077-1](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(02)00077-1)
- Lozano, P. (2015). *Especies forestales arbóreas y arbustivas de los bosques Montanos del Ecuador*.
- MAAE. (2020). *Gobierno presenta campaña para la prevención de incendios forestales a nivel nacional*.
- MAATE. (2020). *Campaña para la prevención de Incendios a nivel Nacional*.

- MAATE. (2022). *Ecuador presentó la campaña anual de prevención de incendios forestales*.
- Marino, E., Madrigal, J., Guijarro, M., Hernando, C., Díez, C., y Fernández Filgueira, C. (2010). Flammability descriptors of fine dead fuels resulting from two mechanical treatments in shrubland: A comparative laboratory study. *International Journal of Wildland Fire*, 19. <https://doi.org/10.1071/WF08123>
- Medina, A. (2021). Incendios forestales y cambio climático. *Inecol (Instituto de ecología, A.C.)*.
- Mendoza, E., Olguín, L., y Gallizioli, P. (2015). *Programa Amazonía sin Fuego: Una propuesta de prácticas agropecuarias alternativas y sostenibles en la región amazónica de Bolivia. La Paz: Molina y Asociados*.
- Minga, D., y Verdugo, A. (2016). *Árboles y arbustos de los ríos de cuenca (Don Bosco)*.
- Montañez, M. C., y Castellanos, E. F. (2017). *Composicion química del aceite esencial y evaluación de la capacidad antioxidante y actividad antimicrobiana de las especies vegetales Smallanthus pyramidalis (Arboloco) Y Alnus acuminata (Aliso)*. Universidad distrital Francisco Jose de Caldas.
- Muñoz, L., Cabrera, B., Muñoz, J., y Aguirre, Z. (2021). Parámetros poblacionales de tres especies arbóreas del bosque andino en el Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” Loja, Ecuador. *Bosque Latitud Cero*, 11(1), 128–147.
- Núñez-Colín, C. A., y Escobedo-López, D. (2011). Uso correcto del análisis clúster en la caracterización de germoplasma vegetal . En *Agronomía Mesoamericana* (Vol. 22, pp. 415–427). scielo .
- Palacios, W., y Jaramillo, N. (2004). Gremios ecológicos forestales del noroccidente del Ecuador: Implicaciones en el manejo del bosque nativo. *Lyonia*, 6(2), 55–75.
- Paton, D., Buergelt, P. T., Tedim, F., y McCaffrey, S. (2015). *Chapter 1—Wildfires: International Perspectives on Their Social—Ecological Implications* (J. F. Shroder y D. B. T.-W. H. Paton Risks and Disasters, Eds.; pp. 1–14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00001-4>
- Pausas, J. (2012). Incendios Forestales. Una visión desde la ecología. En *CSIC*.
- Pérez, A. C., Rodríguez-Trejo, D. A., y Contreras-Aguado, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. En *Universidad y ciencia* (Vol. 25, pp. 121–132). scielomx.
- Pérez, A., Rodríguez, D., y Contreras, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. En *Universidad y ciencia* (Vol. 25, pp. 121–132). scielomx.

- Petriccione, M. (2006). INFIAMMABILITÀ DELLA LETTIERA DI DIVERSE SPECIE VEGETALI DI AMBIENTE MEDITERRANEO. En *Università Degli Studi Di Napoli Federico II*.
- Pinto, E., Pérez, A., Ulloa, C., y Cuesta, F. (2018). *Árboles representativos de los bosques montanos del Noroocidente de Pichincha-Ecuador* (CONDENSAN, Ed.).
- Plana, E., Font, M., y Serra, M. (2016). Los incendios forestales, guía para comunicadores y periodistas. *Proyecto eFIRECOM. Ediciones CTFC.*, 32.
- Popović, Z., Bojović, S., Marković, M., y Cerdà, A. (2021). Tree species flammability based on plant traits: A synthesis. *Science of The Total Environment*, 800, 149625. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149625>
- Ramos Rodriguez, M. (2010). *Manejo del Fuego* (F. Barela, Ed.; Primera).
- Renner, S., Balslev, H., y Holm-Nielsen, L. (1990). Plantas con flores de la Amazonia ecuatoriana: Una lista de verificación. *AAU*, 24: 1-241.
- Rivadeneria, T. I. (2011). *Análisis de metabolitos secundarios de Lachemilla orbiculata (Ruiz y Pavón) Rydb. (Rosaceae) en dos localidades de los Andes del Ecuador*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Rochas, L. (1994). Inflammabilite et indice de siccite de la bruyere arborescente et de l'arbousier. *Institut National de la Recherche Agronomique*.
- Rodríguez, A., González-Cueva, G., Álvarez, E., y Castañeda-González, J. C. (2008). “DETERMINACIÓN DE GREMIOS ECOLÓGICOS DE OCHO ESPECIES ARBÓREAS DE UN BOSQUE TROPICAL DE JALISCO, MÉXICO”.
- Rodríguez, D., Martínez, P., Pulido, J., Martínez, P., y Cruz, J. (2020). Combustibles, comportamiento del fuego y emisiones en un pastizal y una sabana artificiales en Chiapas, México. En *Revista de Biología Tropical* (Vol. 68, pp. 641–654). scielo.
- Rodríguez, Yulian., Rodríguez, Marcos., Mesa, Fernando., Hernández, Yuleidy., y Becerra, Luis. (2016). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(1).
- Romoleroux, K. (1995). Rosaceae en los altos Andes del Ecuador. En E. J. B. de N. York (Ed.), *Biodivers* (pp. 407–413).
- Salazar, J. (2018). “Evaluación del crecimiento del aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) y su influencia en un sistema silvopastoril ubicado en la parroquia El Carmelo provincia del Carchi”. Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

- Sánchez, J. (2013). *Diseño del plan para la implementación del sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional para el MTOP dirección provincial del Azuay, con énfasis en el taller de mantenimiento*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Sanchez, L., Amado, G., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., Conde, A., Umaña, A., Bernal, L., y Barreto, L. (2009). “Evaluación del crecimiento del aliso (*Alnus acuminata* H.B.K.) y su influencia en un sistema silvopastoril ubicado en la parroquia El Carmelo provincia del Carchi”. *Corpoica*, 56.
- Sarukhán, J., y Dirzo, R. (2013). *Biodiversity-Rich Countries* (S. A. B. T.-E. of B. (Second E. Levin, Ed.; pp. 497–508). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00351-8>
- SEFOR. (2018). *Plan De Prevención Y Reducción De Riesgos De Incendios Forestales*.
- Serdyukov, M. (2022). El cambio climático aumenta el riesgo de temperaturas cálidas y secas que puede favorecer los incendios forestales. *Cambio climático y medio ambiente*.
- Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencia. (2019). *Incendios Forestales – Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias*.
- SNGRE. (2021). *Informe de situación Nro. 23 de Incendios Forestales a nivel Nacional*.
- SNGRE. (2022). *Informe de Situación No. 07 de Incendios Forestales a nivel Nacional 2022*.
- Suta, M. F. (2016). *Efecto de los extractos totales de Siparuna Sessiliflora, Rosmarinus officinalis y Clethra fimbriata sobre linfocitos TCD8+ de individuos sanos*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Terrén, D. (2000). Planes de quemas controladas. *Cuadernos de la S.E.C.F.*, 9, 265–279.
- Valette, J. C. (1990). Inflammabilités des espèces forestières méditerranéennes. Conséquences sur la combustibilité des formations forestières. *Revue forestière française, AgroParisTech*, 42, 76–92.
- Varner, M., Kane, J., Kreye, J., y Eamon, E. (2015). The Flammability of Forest and Woodland Litter: A Synthesis. *Springer International Publishing*.
- Verzoni, A. (2018). *Incendios forestales alrededor del mundo*.
- Villarreal, W. L. (2015). *Análisis fitoquímico preliminar de Clethra fimbriata Kunth (Cleraceae) a partir de extractos etanólicos de hojas y tallos*. Pontificia Universidad Javeriana.
- White, R., y Zipperer, W. (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.

- Wong, J. C., y Villers, M. de L. (2007). Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: Un estudio en el Parque Nacional La Malinche. En *Investigaciones geográficas* (pp. 87–103). scielomx.
- 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*, *11*(8), e0160715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0160715>

11. Anexos

Anexo 1. Script del análisis de comparación de medias para las variables estudiadas de las cinco especies forestales del PUFVC.

```
#####  
## Análisis de Varianza ANOVA  
#####  
  
# Directorio de trabajo  
setwd("D:/Mis Datos/Desktop/DOC/Tesis/BASES DE DATOS/ANALISIS")  
  
# Conjunto de datos para la variable Contenido de Humedad. El procedimiento se repite para el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama  
  
datos <- read.csv("Normalidad.csv", header= TRUE, dec=".", sep=";")  
head(datos)  
  
## CH_Alnus CH_Clethra CH_Myrsine CH_Palicourea CH_Prunus  
## 1 43 48 50 28 43  
## 2 42 50 63 28 43  
## 3 44 54 57 28 44  
## 4 43 49 52 28 42  
## 5 43 48 50 27 45  
## 6 45 47 50 28 44  
  
# Cálculo de ANOVA  
  
anova <- aov(CH_2~Especies, data=datos2)  
anova  
  
## Call:  
## aov(formula = CH_2 ~ Especies, data = datos2)  
##  
## Terms:  
## Especies Residuals  
## Sum of Squares 5198.958 597.742  
## Deg. of Freedom 4 65  
##  
## Residual standard error: 3.032497  
## Estimated effects may be unbalanced  
  
summary(anova)  
  
## Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)  
## Especies 4 5199 1299.7 141.3 <2e-16 ***  
## Residuals 65 598 9.2  
## ---  
## Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```

shapiro.test(anova$residuals)

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: anova$residuals
## W = 0.83227, p-value = 1.921e-07

# gráfico Tukey
par(mfrow = c(1, 1))

# Pruebas de normalidad y homocedasticidad de varianzas por el método gráfico y pruebas estadísticas

# Gráficos cuantil o QQ plot
par(mfrow = c(3, 2))
qqnorm(datos$CH_Alnus, pch=20, main='QQplot para Alnus acuminata')
qqline(datos$CH_Alnus)

qqnorm(datos$CH_Clethra, pch=20, main='QQplot para Clethra fimbriata')
qqline(datos$CH_Clethra)

qqnorm(datos$CH_Myrsine, pch=20, main='QQplot para Myrsine sodiroana')
qqline(datos$CH_Myrsine)

qqnorm(datos$CH_Palicourea, pch=20, main='QQplot para Palicourea amethystina')
qqline(datos$CH_Palicourea)

qqnorm(datos$CH_Prunus, pch=20, main='QQplot para Prunus opaca')
qqline(datos$CH_Prunus)

# Aplicar pruebas de normalidad Shapiro.test

Norm_Alnus <- shapiro.test(datos$CH_Alnus) # Shapiro.test
Norm_Alnus

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: datos$CH_Alnus
## W = 0.51907, p-value = 1.422e-05

Norm_Clethra <- shapiro.test(datos$CH_Clethra)
Norm_Clethra

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: datos$CH_Clethra
## W = 0.8586, p-value = 0.02304

```

```
Norm_Myrsine <- shapiro.test(datos$CH_Myrsine)
Norm_Myrsine

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: datos$CH_Myrsine
## W = 0.96281, p-value = 0.8062

Norm_Palicoarea <- shapiro.test(datos$CH_Palicoarea)
Norm_Palicoarea

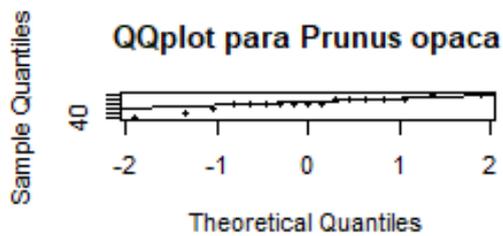
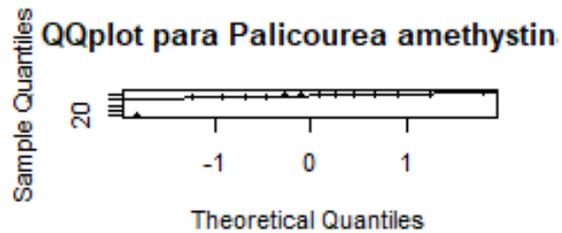
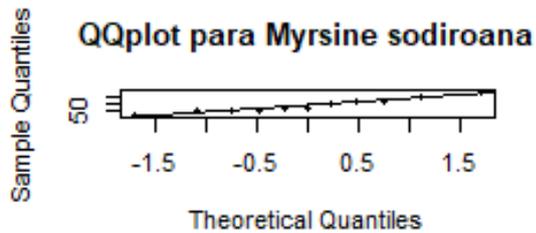
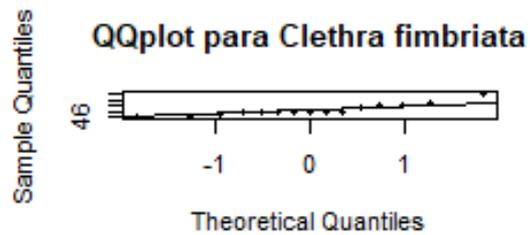
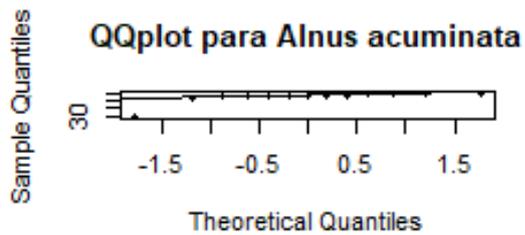
##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: datos$CH_Palicoarea
## W = 0.52091, p-value = 8.684e-06

Norm_Prunus <- shapiro.test(datos$CH_Prunus)
Norm_Prunus

##
## Shapiro-Wilk normality test
##
## data: datos$CH_Prunus
## W = 0.88365, p-value = 0.03645

# Prueba de homocedasticidad de varianzas

# Visualizacion gráfica
par(mfrow = c(3, 2))
```



```

boxplot(datos$CH_Alnus, main = "Alnus")
boxplot(datos$CH_Clethra, main = "Clethra")
boxplot(datos$CH_Myrsine, main = "Myrsine")
boxplot(datos$CH_Palicourea, main = "Palicourea")
boxplot(datos$CH_Prunus, main = "Prunus")

```

Prueba estadística de Levene

```
library(car) # cargamos el paquete car
```

```
## Loading required package: carData
```

```
## Warning: package 'carData' was built under R version 4.0.5
```

```
# Cargamos los datos con dos campos (Variable agrupamiento, datos)
```

```
datos2 <- read.csv("Varianzas.csv", header= TRUE, dec=".", sep=";")
```

convertimos en factor la variable de agrupamiento

```
Especies <- as.factor(datos2$Especie)
```

aplicamos test de Levene

```
leveneTest(datos2$CH_2, Especies) # leveneTest(var número, var factor) primero la variable numérica , luego la variable factor
```

```

## Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
##   Df F value Pr(>F)
## group 4 2.8867 0.02905 *
##   65
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

#####
## Comparación de medias
## Prueba no paramétrica Kruskal Wallis

# Definir un directorio de trabajo
setwd("D:/Mis Datos/Desktop/DOC/Tesis/BASES DE DATOS/ANALISIS")

# Cargar los datos en formato csv
datos <- read.csv("Datos_graficos.csv",header = TRUE, dec=".", sep=";")

# Cargar los paquetes
library(tidyverse)

library(ggpubr)
library(rstatix)

library(ggplot2)

# Ejecutar la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis
# Esta prueba se ejecuta cuando los datos no presentan normalidad y las varianzas no son homogéneas, se reemplaza de acuerdo a la variable deseada
Variable: Tiempo de ignición, Sostenibilidad, Combustibilidad y altura de la llama

kruskal.test(Variable ~ ESPECIE, data = datos)

## Kruskal-Wallis rank sum test
##
## data: TI by ESPECIE
## Kruskal-Wallis chi-squared = 13.16, df = 4, p-value = 0.01052

# Se determina el tamaño del efecto
datos %>% kruskal_effsize(Variable ~ ESPECIE)

## # A tibble: 1 × 5
##   .y.      n effsize method magnitude
## * <chr> <int> <dbl> <chr> <ord>
## 1 TI      250 0.0374 eta2[H] small

# Ejecución de la prueba de comparación de medias para saber que grupo es diferente esta prueba se aplica solo cuando la prueba Kruskal - Wallis muestra diferencias significativas

pairwise.wilcox.test(datos$ Variable, datos$ESPECIE, p.adjust.method = "bonf", paired = F)

```

```

##
## Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test with continuity correction
##
## data: datos$TI and datos$ESPECIE
##
##      Alnus Clethra Myrsine Palicourea
## Clethra 0.0584 - - -
## Myrsine 1.0000 0.3960 - -
## Palicourea 1.0000 0.0058 1.0000 -
## Prunus 1.0000 0.0521 1.0000 1.0000
##
## P value adjustment method: bonferroni

# Gráfica de la prueba Kruskal-Wallis por medio de boxplot
# Se guarda la imagen en formato png, res 300 ppi

ggplot(datos, aes(x = ESPECIE, y = Variable, fill = ESPECIE))+
  geom_boxplot()+
  geom_point()+
  ylim(0,60)+
  stat_compare_means(method = "kruskal",label.y = 58)+
  stat_compare_means(method = "wilcox.test", ref.group = ".all.", label = "p.signif", label.y = 55)+
  theme_classic() + ylab("Tiempo de ignición (s)")

```

Anexo 2. Estadísticas descriptivas de las características de inflamabilidad de las cinco especies forestales representativas del bosque andino del PUFVC

<i>T_{Ign} (s) Alnus acuminata</i>	
Media	32,42
Error típico	2,68
Mediana	28,00
Moda	27,00
Desviación estándar	13,68
Varianza de la muestra	187,05
Curtosis	2,70
Coefficiente de asimetría	1,60
Rango	55,00
Mínimo	17,00
Máximo	72,00
Suma	843,00
Cuenta	26,00
Coefficiente de variación	42,18

<i>Sostenibilidad (SI) Alnus acuminata</i>	
Media	49,62
Error típico	5,44
Mediana	49,50
Moda	30,00
Desviación estándar	27,76
Varianza de la muestra	770,73
Curtosis	-0,43
Coefficiente de asimetría	0,55
Rango	101,00
Mínimo	8,00
Máximo	109,00
Suma	1290,00
Cuenta	26,00
Coefficiente de variación	55,95

<i>Combustibilidad (g/s) Alnus acuminata</i>	
Media	0,06
Error típico	0,01
Mediana	0,06
Moda	#N/D
Desviación estándar	0,03
Varianza de la muestra	0,00
Curtosis	-0,90
Coefficiente de asimetría	0,14
Rango	0,09
Mínimo	0,02
Máximo	0,11
Suma	1,61
Cuenta	26,00
Coefficiente de variación	43,57

<i>Altura llamas (cm) Alnus acuminata</i>	
Media	28,88
Error típico	1,25
Mediana	28,00
Moda	23,00
Desviación estándar	6,36
Varianza de la muestra	40,51
Curtosis	-0,83
Coefficiente de asimetría	0,21
Rango	24,00
Mínimo	17,00
Máximo	41,00
Suma	751,00
Cuenta	26,00
Coefficiente de variación	22,03

T_Ign (s) Clethra fimbriata

Media	39,76
Error típico	3,22
Mediana	33,00
Moda	28,00
Desviación estándar	19,59
Varianza de la muestra	383,80
Curtosis	1,52
Coefficiente de asimetría	1,37
Rango	79,00
Mínimo	16,00
Máximo	95,00
Suma	1471,00
Cuenta	37,00
Coefficiente de variación	49,28

Sostenibilidad (SI) Clethra fimbriata

Media	33,03
Error típico	2,45
Mediana	33,00
Moda	36,00
Desviación estándar	14,90
Varianza de la muestra	221,92
Curtosis	0,19
Coefficiente de asimetría	0,61
Rango	62,00
Mínimo	8,00
Máximo	70,00
Suma	1222,00
Cuenta	37,00
Coefficiente de variación	45,11

Combustibilidad (g/s) Clethra fimbriata

Media	0,10
Error típico	0,01
Mediana	0,08
Moda	#N/D
Desviación estándar	0,06
Varianza de la muestra	0,00
Curtosis	4,11
Coefficiente de asimetría	1,92
Rango	0,26
Mínimo	0,03
Máximo	0,30
Suma	3,52
Cuenta	37,00
Coefficiente de variación	59,64

Altura llamas (cm) Clethra fimbriata

Media	24,89
Error típico	1,36
Mediana	26,00
Moda	21,00
Desviación estándar	8,30
Varianza de la muestra	68,82
Curtosis	-0,48
Coefficiente de asimetría	-0,55
Rango	29,00
Mínimo	8,00
Máximo	37,00
Suma	921,00
Cuenta	37,00
Coefficiente de variación	33,33

T_ign (s) Myrsine sodiroana

Media	44,32
Error típico	3,95
Mediana	40,50
Moda	40,00
Desviación estándar	18,52
Varianza de la muestra	343,08
Curtosis	1,41
Coefficiente de asimetría	1,07
Rango	77,00
Mínimo	18,00
Máximo	95,00
Suma	975,00
Cuenta	22,00
Coefficiente de variación	41,79

Sostenibilidad (SI) Myrsine sodiroana

Media	50,36
Error típico	9,56
Mediana	30,50
Moda	15,00
Desviación estándar	44,86
Varianza de la muestra	2012,34
Curtosis	-0,04
Coefficiente de asimetría	1,25
Rango	140,00
Mínimo	4,00
Máximo	144,00
Suma	1108,00
Cuenta	22,00
Coefficiente de variación	89,07

Combustibilidad (g/s) Myrsine sodiroana

Media	0,08
Error típico	0,02
Mediana	0,05
Moda	#N/D
Desviación estándar	0,11
Varianza de la muestra	0,01
Curtosis	8,42
Coefficiente de asimetría	2,68
Rango	0,47
Mínimo	0,00
Máximo	0,47
Suma	1,72
Cuenta	22,00
Coefficiente de variación	137,16

Altura llamas (cm) Myrsine sodiroana

Media	26,73
Error típico	1,33
Mediana	27,00
Moda	22,00
Desviación estándar	6,23
Varianza de la muestra	38,78
Curtosis	1,13
Coefficiente de asimetría	-0,56
Rango	28,00
Mínimo	10,00
Máximo	38,00
Suma	588,00
Cuenta	22,00
Coefficiente de variación	23,30

T_ Ign (s) Palicourea amethystina

Media	25,70
Error típico	2,43
Mediana	22,00
Moda	21,00
Desviación estándar	13,34
Varianza de la muestra	177,87
Curtosis	7,43
Coefficiente de asimetría	2,63
Rango	60,00
Mínimo	13,00
Máximo	73,00
Suma	771,00
Cuenta	30,00
Coefficiente de variación	51,89

Sostenibilidad (SI) Palicourea amethystina

Media	22,00
Error típico	1,65
Mediana	20,00
Moda	13,00
Desviación estándar	9,02
Varianza de la muestra	81,31
Curtosis	0,48
Coefficiente de asimetría	0,90
Rango	38,00
Mínimo	8,00
Máximo	46,00
Suma	660,00
Cuenta	30,00
Coefficiente de variación	40,99

Combustibilidad (g/s) Palicourea amethystina

Media	0,09
Error típico	0,01
Mediana	0,05
Moda	#N/D
Desviación estándar	0,08
Varianza de la muestra	0,01
Curtosis	3,27
Coefficiente de asimetría	1,58
Rango	0,38
Mínimo	0,00
Máximo	0,38
Suma	4,45
Cuenta	50,00
Coefficiente de variación	85,57

Altura llamas (cm) Palicourea amethystina

Media	16,74
Error típico	2,27
Mediana	16,00
Moda	0,00
Desviación estándar	16,06
Varianza de la muestra	257,79
Curtosis	-1,19
Coefficiente de asimetría	0,33
Rango	54,00
Mínimo	0,00
Máximo	54,00
Suma	837,00
Cuenta	50,00
Coefficiente de variación	95,91

T_Ign (s) Prunus opaca

Media	17,46
Error típico	3,37
Mediana	0,00
Moda	0,00
Desviación estándar	23,81
Varianza de la muestra	566,99
Curtosis	4,41
Coefficiente de asimetría	1,84
Rango	112,00
Mínimo	0,00
Máximo	112,00
Suma	873,00
Cuenta	50,00
Coefficiente de variación	136,38

Sostenibilidad (SI) Prunus opaca

Media	37,08
Error típico	3,16
Mediana	36,00
Moda	36,00
Desviación estándar	15,48
Varianza de la muestra	239,64
Curtosis	1,81
Coefficiente de asimetría	1,10
Rango	68,00
Mínimo	14,00
Máximo	82,00
Suma	890,00
Cuenta	24,00
Coefficiente de variación	41,75

Combustibilidad (g/s) Prunus opaca

Media	0,07
Error típico	0,01
Mediana	0,08
Moda	#N/D
Desviación estándar	0,04
Varianza de la muestra	0,00
Curtosis	-0,65
Coefficiente de asimetría	-0,01
Rango	0,16
Mínimo	0,00
Máximo	0,17
Suma	1,79
Cuenta	24,00
Coefficiente de variación	58,61

Altura llamas (cm) Prunus opaca

Media	29,08
Error típico	2,17
Mediana	30,50
Moda	20,00
Desviación estándar	10,63
Varianza de la muestra	113,04
Curtosis	0,98
Coefficiente de asimetría	-0,96
Rango	44,00
Mínimo	0,00
Máximo	44,00
Suma	698,00
Cuenta	24,00
Coefficiente de variación	36,56

Anexo 3 Certificado de traducción

Lic. Luisa Alexandra Morocho Angamarca, Mg.
DOCENTE DE LA UNIDAD EDUCATIVA SAN BARTOLOME

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al inglés del resumen de la tesis titulada “INFLAMABILIDAD DE ESPECIES FORESTALES REPRESENTATIVAS DEL BOSQUE ANDINO EN EL PARQUE UNIVERSITARIO "FRANCISCO VIVAR CASTRO", LOJA.” de la Srta. Yelena Lizbeth Vele Yauri, egresada de la carrera de Ingeniería Forestal de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifico en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Cuenca, 17 de marzo de 2023



Luisa Alexandra Morocho Angamarca,
Licenciada en Ciencias de la Educación mención Idioma Inglés
1105212474