



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Forestal

Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del título de
Ingeniera Forestal

AUTORA:

Andrea Gabriela Coronel Armijos

DIRECTOR:

Ing. Luis Muñoz Chamba, MSc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 22 de febrero de 2023

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino** de autoría de la estudiante **Andrea Gabriela Coronel Armijos**, con **cédula de identidad Nro.1105890592** previo a la obtención del título de **Ingeniera Forestal**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Andrea Gabriela Coronel Armijos**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de Identidad: 1105890592

Fecha: 22 de agosto del 2023

Correo electrónico: Andrea.g.coronel@unl.edu.ec

Teléfono: 0995428109

Carta de autorización por parte del autor para la consulta de producción parcial o total, y publicación electrónica de texto completo del Trabajo de Integración Curricular.

Yo **Andrea Gabriela Coronel Armijos** declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular: **“Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino”** 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintidós días del mes de agosto del dos mil veintitrés

Firma:



Autor: Andrea Gabriela Coronel Armijos

Cédula: 1105890592

Dirección: Barrio el paraíso (Jipiro)

Correo electrónico: Andrea.g.coronel@unl.edu.ec

Teléfono celular: 0995428109

DATOS COPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Integración Curricular: Ing. Luis Fernando Muñoz Chamba Mg. Sc.

Dedicatoria

Este Trabajo de Integración Curricular está dedicada a: Mis padres Hugo y Emperatriz quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermano Hugo por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

Finalmente quiero dedicar este Trabajo de Integración Curricular a todas mis amigas, amigos y compañeros de carrera, especialmente a Briggette gracias por ser mi compañera en esta gran aventura y a todos por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, de verdad mil gracias por las experiencias vividas a lo largo de este camino, siempre los llevo en mi corazón.

Andrea Gabriela Coronel Armijos

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre mi vida y a toda mi familia por estar siempre presentes.

Mi más profundo agradecimiento a las autoridades, docentes y personal que labora en la Universidad nacional de Loja. Por ser parte y participes de este proceso para la obtención de mi título universitario.

Gracias Ing. Luis Muñoz por su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este Trabajo de Integración Curricular.

Andrea Gabriela Coronel Armijos

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras.....	x
Índice de anexos.....	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Definición de fuego	6
4.2. Elementos del triángulo del fuego.....	6
4.3. El comportamiento del fuego	6
4.3.1. Elementos del comportamiento del fuego	6
4.4. Incendios	7
4.4.1. Incendios forestales	7
4.4.2. Tipos de incendios forestales.....	7
4.4.3. Incendios forestales en Ecuador	8
4.4.4. Causas de los incendios forestales.....	8
4.5. Combustibilidad	9
4.5.1. Definición de combustibilidad.....	9

4.5.2. Combustibles forestales	9
4.5.3. Característica o propiedades de los combustibles	9
4.6. Inflamabilidad	9
4.6.1. Definición de inflamabilidad	9
4.6.2. Características o componentes de la inflamabilidad.....	9
4.6.3. Factores ambientales en la inflamabilidad	10
4.7. Matorral andino	11
4.7.1. Características de los matorrales andinos	11
4.7.2. Tipos de matorrales	11
4.8. Descripción de especies forestales representativas del Matorral andino del PUFVC..	11
4.8.1. <i>Lepechinia mutica</i> Benth.	11
4.8.2. <i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	12
4.8.3. <i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	12
4.8.4. <i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav.	13
4.8.5. <i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	13
5. Metodología	15
5.1. Área de estudio.....	15
5.2. Selección de especies forestales	15
5.3. Metodología para calcular la inflamabilidad de especies vegetales representativas en el matorral andino bajo condiciones de laboratorio	16
5.4. Metodología para determinar la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales del matorral andino	19
5.5. Análisis de la información.....	20
6. Resultados...	21
6.1. Inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino bajo condiciones de laboratorio	21

6.2. Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies representativas de matorral andino bajo condiciones de laboratorio	24
7. Discusión...	35
7.1. Inflamabilidad de las especies vegetales representativas del matorral andino en el PUFVC	35
7.2. Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies representativas de matorral andino.....	38
8. Conclusiones	41
9. Recomendaciones	42
10. Bibliografía	43
11. Anexos.....	52

Índice de tablas:

Tabla 1. Especies seleccionadas y los valores de parámetros estructurales de la vegetación.	16
Tabla 2. Valores y categorías de inflamabilidad.....	18
Tabla 3. Tratamientos para determinar inflamabilidad de las especies de matorral andino. ...	20
Tabla 4. Estadísticos descriptivos para el contenido de humedad de especies representativas de matorral.....	21
Tabla 5. Estadísticas descriptivas de especies representativas de matorral andino.	21
Tabla 6. Índice y categoría de inflamabilidad para cinco especies de matorral.....	24
Tabla 7. Características de inflamabilidad de la especie <i>Lepechinia mutica</i> en función de cuatro tratamientos y testigo.....	25
Tabla 8. Características de inflamabilidad de la especie <i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth en función de cuatro tratamiento	27
Tabla 9. Características de inflamabilidad de la especie <i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake en función de cuatro tratamientos.	29
Tabla 10. Características de inflamabilidad de la especie <i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav en función de cuatro tratamientos.	31
Tabla 11. Características de inflamabilidad de la especie <i>Gynoxyx nitida</i> Muschl. en función de cuatro tratamientos.	33

Índice de figuras:

Figura 1. Ubicación del Parque Universitario Francisco Vivar Castro y parcelas establecidas en matorral andino.....	15
Figura 2. Distribución de valores del tiempo de ignición para especies representativas de matorral andino.....	22
Figura 3. Distribución de valores de tiempos de sostenibilidad para especies de matorral andino.	23
Figura 4. Distribución de valores de altura de llama para especies de matorral andino del PUFVC	23
Figura 5. Distribución de valores de combustibilidad para especies de matorral andino.....	24
Figura 6. Características de inflamabilidad de la especie <i>Lepechinia mutica</i>	26
Figura 7. Categoría de inflamabilidad para la especie <i>Lepechinia mutica</i> , por tipo de tratamiento	26
Figura 8. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie <i>Dendrophorbium scytophyllum</i>	28
Figura 9. Categoría de inflamabilidad para la especie <i>Dendrophorbium scytophyllum</i> por tipo de tratamiento.....	29
Figura 10. Características de inflamabilidad para <i>Pappobolus acuminatus</i>	30
Figura 11. Categoría de inflamabilidad para la especie <i>Pappobolus acuminatus</i> por tipo de tratamiento.....	30
Figura 12. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie <i>Baccharis latifolia</i>	32
Figura 13. Categoría de inflamabilidad para la especie <i>Baccharis latifolia</i> por tipo de tratamiento.....	32
Figura 14. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie <i>Gynoxyx nitida</i>	34
Figura 15. Categoría de inflamabilidad para la especie <i>Gynoxyx nitida</i> por tipo de tratamiento.....	34

Índice de anexos:

Anexo 1. Análisis estadístico descriptivo e inferencial realizado para la variable contenido de humedad. **52**

Anexo 2. Estadísticas descriptivas calculadas para las características de la inflamabilidad de las cinco especies del matorral andino del PUFVC. **55**

Anexo 3. Análisis inferencial mediante la comparación de medias de las características de inflamabilidad de las especies representativas del matorral andino en el PUFVC. **57**

Anexo 4. Certificado de traducción del resumen. **59**

1. Título

Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino

2. Resumen

La inflamabilidad entendida como la capacidad del combustible para encender y sostener el fuego, es una característica de los combustibles forestales, vivos y muertos, influyente en el comportamiento del fuego, más aún si se combina con elementos del clima y condiciones topográficas. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies arbustivas bajo condiciones de laboratorio. El sitio de estudio fue el matorral andino ubicado en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro, de donde se seleccionó cinco especies representativas que fueron *Lepechinia mutica*, *Dendrophorbium scytophyllum*, *Pappobolus acuminatus*, *Baccharis latifolia* y *Gynoxyx nitida*. Se evaluaron las características de inflamabilidad como tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama. Los factores ambientales analizados fueron viento y pendiente, con dos niveles de experimentación respectivamente. Los ensayos se realizaron con muestras de cinco gramos, con un total de 20 repeticiones por tratamientos y el testigo, dando un total de 100 g por especie. El contenido de humedad de las especies estuvo comprendido entre valores de 60 % a 75 %. Las características de inflamabilidad presentaron variabilidad entre las especies con diferencias estadísticas en todas las características. Los factores ambientales influyeron significativamente en algunos tratamientos y especies en especial cuando existió la combinación de viento y pendiente, teniendo como efecto principalmente la reducción de alturas de la llama en todas las especies, tiempos de ignición más lentos y tiempos de sostenibilidad más cortos con una influencia en el índice y categoría de inflamabilidad. Para cuatro especies arbustivas se registró la categoría muy extremadamente inflamable lo que sostiene que el matorral andino sería un ecosistema muy extremadamente inflamable, con una repercusión importante en la biodiversidad ante la ocurrencia de un incendio forestal.

Palabras clave: altura de llama, categoría de inflamabilidad, combustibilidad, ignición, sostenibilidad.

2.1. Abstract

Inflammability, understood as the fuel's ability to ignite and sustain fire, is a characteristic of living and dead forest fuels, it influences the behavior of fire, even more so if it is combined with weather elements and topographic conditions. The objective of this study was to determine the influence of environmental factors on the flammability of shrub species under laboratory conditions. The study site was the Andean scrub located in the Francisco Vivar Castro University Park, from which five representative species were selected: *Lepechinia mutica*, *Dendrophorbium scytophyllum*, *Pappobolus acuminatus*, *Baccharis latifolia*, and *Gynoxyx nitida*. Flammability characteristics such as ignition time, sustainability, combustibility, and flame height were evaluated. The environmental factors analyzed were wind and slope, with two levels of experimentation respectively. The tests were carried out with samples of five grams, with a total of 20 repetitions for treatments and the control, giving a total of 100 g per species. The moisture content of the species was between values of 60% to 75%. The characteristics of inflammation presented between the species with significant differences in all the characteristics. Environmental factors significantly affected some treatments and species, especially when there was a combination of wind and slope, having as an effect mainly the reduction of flame heights in all species, slower ignition, and shorter sustainability times with an influence on the index and category of flammability. For four shrub species, the most flammable category is produced, which supports that the Andean scrub would be the most flammable ecosystem, with a significant impact on biodiversity in the event of a forest fire.

Keywords: *flame height, flammability category, combustibility, ignition, sustainability.*

3. Introducción

Los incendios son considerados como perturbaciones ecológicas, que se propagan sin control y cuando ocurren en la naturaleza llevan el nombre de incendio forestal (Plana et al., 2016, Pausas, 2012). Los incendios forestales representan una de las principales causas de pérdida de biodiversidad, ya que los efectos del fuego dependerán del comportamiento de este, del tipo de ecosistemas donde ocurre, de las especies vegetales que en algunos casos no desarrollan mecanismos de adaptación y de variaciones ambientales (Chávez et al., 2016). Los ecosistemas por acción del fuego pueden provocar varios efectos negativos sobre las poblaciones y comunidades vegetales, suelo, fauna y biodiversidad, incidiendo por tanto en la regeneración de la vegetación natural (Erazo, et al. 2014).

El comportamiento del fuego es un término que ha sido empleado para designar la forma de desarrollo del fuego y sus características físicas durante el transcurso del incendio, además, corresponde al conjunto de efectos físicos y mecánicos que los incendios pueden traer al ecosistema a partir de la propagación de este (Soto y Salinas, 2011). La propagación de un incendio forestal depende de tres requisitos fundamentales como son: temperatura, oxígeno y combustible; siendo este último todo material leñoso y ligero, vivo o muerto, que está presente en los ecosistemas y poseen la capacidad de encenderse y arder al ser expuestos a una fuente de calor (Diaz et al., 2013).

Los incendios forestales están dados por la capacidad de un combustible para entrar en ignición y sostener el fuego, es decir de su inflamabilidad, la cual se caracteriza por el tiempo a la ignición, duración de la combustión y calor liberado (Anderson, 1970). Por tanto, el conocimiento de la inflamabilidad de las especies vegetales ante el fenómeno del fuego en un incendio forestal es prioritario, dado que permite conocer el comportamiento de las especies ante este fenómeno y fortalecer las estrategias de mitigación, así como prevenir la pérdida de la biodiversidad. Cabe destacar que, algunos factores ambientales pueden alterar el comportamiento del fuego en los incendios forestales, entre estos destacan la pendiente y viento, los cuales influyen en la velocidad, dirección e inclinación de la propagación e intensidad del incendio (Águeda et al., 2010).

El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica reporta para el Ecuador entre los años 2010 y 2021 la ocurrencia de 20 148 incendios forestales, que han causado la pérdida de más de 202 618,38 hectáreas de bosques y otros ecosistemas (MAATE, 2021). Las provincias con mayor afectación por incendios forestales son: Pichincha, Guayas, Azuay, Loja

e Imbabura, de las cuales la provincia de Loja registra el mayor número de hectáreas quemadas (39 205) por incendios forestales.

En la provincia de Loja, y el cantón Loja en particular, la ocurrencia de incendios forestales está entre el 50 % – 80 % de probabilidad, siendo la vegetación arbustiva susceptible en un 21,33 % (Reyes & Balcazar, 2021). La vegetación arbustiva o comúnmente conocida como matorral andino es un ecosistema con una importante presencia de especies arbustivas y arbóreas, los cuales han sufrido una constante pérdida de biodiversidad a causa de incendios forestales. En este contexto, dada la cantidad de incendios forestales que afectan a la biodiversidad de los diferentes ecosistemas del Sur del Ecuador, la presente investigación estudia la inflamabilidad de especies de matorral andino, por ser un ecosistema susceptible a la incidencia de incendios forestales en el cantón Loja.

Los objetivos planteados para la presente investigación fueron:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego mediante el estudio de la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino.

Objetivos específicos

- Calcular la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino bajo condiciones de laboratorio.
- Determinar la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies representativas de matorral andino bajo condiciones de laboratorio.

4. Marco teórico

4.1. Definición de fuego

El fuego es un proceso de combustión que se comporta, evoluciona o progresa de forma distinta porque se desarrolla en un ambiente diferente, se manifiesta en luz y calor, su efecto inmediato es destructor, desintegra la estructura altamente organizada de las sustancias orgánicas y las reduce a cenizas y humo (Ruiz González, 2018).

El fuego es definido como calor y la luz producidos por la combustión. El fuego nace a partir de reacciones químicas de oxidación y supone la generación de llamas y la emanación de vapor de agua y dióxido de carbono convirtiéndose en llamas (Pérez, 2009).

4.2. Elementos del triángulo del fuego

El triángulo del fuego está constituido por tres elementos que son oxígeno, combustible y calor de ignición (Pyne, 1999); y, para que se produzca la combustión, el combustible y el comburente deben encontrarse en tiempo y proporciones adecuadas.

- **Combustión:** es la energía que se requiere para que la reacción se active y normalmente se proporciona en forma de calor (Prada, 2006), según García (2001) la combustión se define como el conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor que se produce entre el combustible y el comburente
- **Combustible:** es la sustancia química que se llega a oxidar y arde (Prada, 2006).
- **Comburente:** sustancias que en determinadas condiciones de temperatura y presión pueden reaccionar con los combustibles para favorecer reacciones de combustión (Prada, 2006).

4.3. El comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego trata de cómo un incendio evoluciona o progresa ya que este comportamiento puede darse de forma distinta dependiendo del ambiente y por los numerosos factores que pueden afectar donde se encuentre. Los cambios, que a lo largo del espacio y del tiempo, se producen se deben a las variaciones que se dan en los distintos componentes y elementos de su entorno (Ruiz-González, 2018).

4.3.1. Elementos del comportamiento del fuego

La caracterización del comportamiento del fuego es posible a través de variables básicas o fundamentales como: velocidad de propagación, calor por unidad de superficie, intensidad de reacción, intensidad lineal y longitud de llama (Ruiz, 2009). Una vez originado el fuego, el

comportamiento del fuego se encuentra influenciado por tres factores: el tipo de combustible, la climatología y la topografía (Plana et al., 2016).

- **Tipo de combustible:** se refiere a la cantidad y tipo de vegetación expuesta al fuego. Esta depende de la cantidad total de biomasa distribuida a lo largo de los tres estratos, herbáceo, arbustivo y arbóreo.
- **La climatología:** el clima afecta muy drásticamente el riesgo de incendio, con las condiciones climáticas de viento y humedad en contra la propagación de un incendio es más alta.
- **La topografía:** los relieves encontrados en el ambiente donde se desarrolle u incendio crearán contravientos, y acelerarán el viento (Plana et al., 2016).

4.4. Incendios

4.4.1. Incendios forestales

Los incendios forestales son una de las mayores perturbaciones naturales que afectan a los bosques en todo el mundo. Un incendio forestal es causado por la quema natural o provocada por el hombre de la vegetación en un área. Incendio forestal se refiere a la propagación descontrolada del fuego a la vegetación (árboles, arbustos, pastos y/o cultivos) que se encuentra en el camino (Plana et al., 2016). En Ecuador el concepto de incendio forestal se refiere al fuego que se propaga sin control en varias zonas, especialmente en zonas rurales, afectando la vegetación como árboles, matorrales, pastos y cultivos (MATEE, 2019).

Los incendios forestales son uno de los factores más importantes que moldean y modifican el ecosistema y la biodiversidad del planeta desde hace millones de años. En muchas partes del mundo, estos eventos son causados por una combinación de fenómenos naturales como rayos y la disponibilidad de combustible vegetal debido a sequías severas durante ciertos meses del año (Villar et al., 2022).

4.4.2. Tipos de incendios forestales

Los tipos de incendios forestales conocidos son:

- **Incendios superficiales:** son aquellos cuando el fuego se propaga horizontalmente por el suelo y alcanza una altura de hasta un metro y medio, se denominan, que afectan a combustibles vivos y muertos como hierba, hojas, ramas, ramitas, arbustos o pequeños árboles que se regeneran naturalmente o se pueden sembrar, tallos, humus, etc.

- **Incendios subterráneos:** Cuando un fuego se propaga bajo tierra, se convierte en un fuego subterráneo, en cuyo caso la materia orgánica acumulada y las raíces se queman, normalmente no producen llamas y poco humo, estos incendios son los más destructivos, peligrosos y difíciles.
- **Incendios de copa o aéreos:** cuando el fuego consume toda la vegetación, también se inician superficialmente, en este tipo de incendios las llamas primero se extienden por encima del suelo y posteriormente se extienden con continuidad vertical, la vegetación actúa como combustible cuando llega hasta las copas de los árboles (Villar et al., 2022).

4.4.3. Incendios forestales en Ecuador

Según el Ministerio del Ambiente (2016) en Ecuador los últimos años los incendios forestales se ha agudizado, ocasionando daños graves, así como problemas sociales, económicos y ecológicos en diferentes provincias del país. Esto ha afectado grandes extensiones de vegetación.

En Ecuador, en el periodo 2010 - 2021 en diferentes zonas existieron 20 137 incendios forestales siendo las provincias más afectadas: Pichincha con 4 642 incendios seguido de, Guayas, Azuay, Loja e Imbabura, dentro de los ecosistemas del Ecuador – 2021 los más afectados fueron: Bosque Deciduo de Tierras Bajas del Jama-Zapotillo con 34 incendios seguido de Arbustal Siempreverde Montano del Norte de los Andes, Bosque Semideciduo de Tierras Bajas del Jama- Zapotillo, Herbazal del Páramo, Arbustal Siempreverde y Herbazal del Páramo (MATEE, 2021)

4.4.4. Causas de los incendios forestales

Una de las principales causas de los incendios forestales es la provocada por el ser humano, al realizar actividades como la limpieza de tierras para cultivo, la fabricación de carbón, la cocción de alimentos o el intento de mantener el calor por el fuego (Chinamatira et al., 2016). Algunos factores de riesgo para los incendios son: temperatura, la humedad relativa, las especies arbóreas, la velocidad del viento (Sevinc et al., 2019). Otra de las causas de los incendios forestales son causas naturales pero la mayoría son causados por el ser humano., según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (Serfor, 2022) informó que el 95 % de los incendios forestales se originan por causas humanas, ante el descontrol producido por la quema de residuos agrícolas, habilitación de áreas de cultivo, cambio de uso de suelos y algunas creencias sobre uso del fuego, mientras que el 5% restante pertenece a causas naturales.

4.5. Combustibilidad

4.5.1. Definición de combustibilidad

La combustibilidad es una medida con la que una sustancia se enciende ya sea por una fuente de calor fuego o combustión, esta es una propiedad importante a tener en cuenta al construir o almacenar una sustancia. La combustibilidad hace que la vegetación se quemara con mayor o menor facilidad (Plana, 2016)

4.5.2. Combustibles forestales

Los combustibles se dividen en vivos donde encontramos hierbas, arbustos y árboles, mientras que los combustibles muertos son los troncos, las ramas y las hojas que se encuentran en el suelo, los combustibles forestales constituyen uno de los factores más importantes para el manejo y control de los incendios (Chávez et al., 2016).

4.5.3. Característica o propiedades de los combustibles

Como parte del manejo del fuego, es necesario el conocimiento de las propiedades físicas de los combustibles forestales, ya que se trata de variables necesarias para modelar cómo se comporta el fuego y los efectos de incendios (Sandberg et al., 2001), las propiedades o características de una combustibilidad son: disposición de los materiales combustibles, continuidad, peso, estado, tiempo, carga, tamaño, relación superficie/volumen, compactación, contenido de humedad y densidad básica (Villa et al., 2018).

4.6. Inflamabilidad

4.6.1. Definición de inflamabilidad

La inflamabilidad se puede definir como la capacidad de un combustible para encender y sostener un fuego, y se obtiene a través de tres fenómenos: tiempo de ignición, duración de la quema y liberación de calor (Anderson, 1970).

4.6.2. Características o componentes de la inflamabilidad

Según Anderson (1970), las características o componentes de la inflamabilidad son:

- **Ignitabilidad:** se refiere al tiempo de ignición o aparición de la llama de un combustible expuesto a una fuente de calor.
- **Sostenibilidad:** es la capacidad de un material para mantener la combustión y producir energía.

- **Combustibilidad:** hace referencia a la velocidad a la que una sustancia arde y se consume.

4.6.3. Factores ambientales en la inflamabilidad

- **Pendiente y viento en incendios forestales**

La combinación de factores orientación, pendiente y dirección del viento permite definir direcciones de fuego. Esta clasificación distingue al estadio como: alineación completa, media, baja o cero, dependiendo de una combinación de factores topográficos y meteorológicos. Por lo tanto, si tres fuerzas favorecen la propagación del fuego, entonces estamos hablando de la máxima coordinación de factores y se puede esperar el peor comportamiento del fuego. Con este análisis, es posible predecir el comportamiento del fuego en un lugar determinado y determinar las medidas y estrategias óptimas de extinción y prevención (Plana et al., 2016).

- **Humedad en incendios**

Es el más importante de los factores que influyen en el comportamiento porque afecta la probabilidad de que se inicie un incendio y el comportamiento cuando lo hace. Para que el combustible se queme, primero se debe evaporar el exceso de humedad; Por lo tanto, la humedad determina la cantidad de calor necesaria para entrar en ignición. (Briones, 2015).

- **Temperatura en incendios**

Cuando el combustible alcanza cierta temperatura, comienza a liberar moléculas en forma de gases, primero como vapor de agua y luego se inicia la gasificación de los componentes estructurales y la ignición del material combustible. Esta temperatura se denomina "punto de inflamación" del combustible (Briones, 2015).

Los combustibles muertos se secan a altas temperaturas, pudiendo demostrar que cuando la humedad desciende por debajo del 25%, son inflamables, y cuanto más baja, más intensamente arden (Briones, 2015).

- **Topografía**

Las variaciones en la pendiente, el aspecto, la elevación y la configuración del terreno o la micro topografía pueden provocar cambios drásticos en el comportamiento del fuego y su propagación por el terreno. La topografía es un parámetro estándar de tres componentes que permite comprender el comportamiento probable de un incendio y tiene una influencia

importante en los otros dos, los combustibles y el clima. La dirección de la pendiente afecta el comportamiento del fuego al cambiar la cantidad de radiación solar y viento. En general, las direcciones sur y suroeste son más favorables para la ignición y propagación de incendios, en el hemisferio norte reciben más radiación y, por lo tanto, tienen un contenido de humedad más bajo y temperaturas más altas para los combustibles (Villers-Ruiz, 2006).

4.7. Matorral andino

Un matorral es un tipo de ecosistema terrestre que consiste en un campo o espacio natural donde la vegetación dominante son los arbustos, se caracterizan por tener una vegetación densa compuesta en su mayoría de hierbas y arbustos esta característica en su estructura hace que sean susceptibles a incendios forestales (Acosta, 2019).

4.7.1. Características de los matorrales andinos

Los matorrales se caracterizan por tener arbustos de la forma aproximada de un árbol, pero nunca superan los 8 metros de altura, son de un tamaño muy inferior, por tanto, el paisaje que ofrece un matorral es de una cubierta vegetal a ras de suelo, que será más o menos densa (Acosta, 2019).

4.7.2. Tipos de matorrales

Existen dos tipos de matorral: matorral bajo que pertenece a asociaciones vegetales de 1 m de altura o menores (Estrada-Castillón et al., 2012) Dentro del PUFVC este ecosistema comprende 14,27 ha que constituye el 14,86 % del área total del parque (Aguirre, 2014) y matorral alto que corresponde a aquellas que crecen por encima de 2,6 m de altura (Estrada-Castillón et al., 2012), dentro del parque universitario está constituido por especies secundarias que resultan de la destrucción del bosque primario, comprende un área de 28,4 ha y corresponde al 29,58 % del área del PUFVC (Aguirre, 2014).

4.8. Descripción de especies forestales representativas del Matorral andino del PUFVC

4.8.1. *Lepechinia mutica* Benth.

- **Distribución geográfica**

La especie ha sido reportada en áreas cercanas a la ciudad de Loja, en el nudo de Cajanuma y en el cerro Villonaco, así como en el Parque Nacional Podocarpus (Moscoso, 2017).

- **Descripción botánica**

Arbusto pequeño de hojas frecuentemente empolladas – rugosas con flores pequeñas en verticilos densos y frutos en nuececillas ovadas unidas en las bases. Todas sus partes son aromáticas (MAE y FAO 2015).

- **Usos**

Tradicionalmente es utilizada para curar el espanto, como remedio antiséptico, para tratar dolores de cabeza y afecciones nerviosas; estudios científicos han reflejando el uso de esta especie como potencial fármaco anticolinesterásico que ayude al tratamiento del Alzheimer (Ramírez et al., 2018).

4.8.2. *Dendrophorbium scytophyllum* Kunth

- **Distribución geográfica**

Especie conocida por aproximadamente ocho poblaciones distribuidas en los Andes meridionales, la mayoría de las colecciones fueron reportadas al sur de la ciudad de Loja, en el cerro Villonaco, al sur de Yangana y en el cerro Uritusinga y su distribución se encuentra en el Bosque andino alto entre 2000–3500 m s.n.m. (Barriga et al., 2017).

- **Descripción botánica**

Arbustos glabros con hojas pecioladas, capítulos radiados, muy numerosos, dispuestos en cimmas paniculiformes densas, flores dimorfas (Barriga et al., 2017).

- **Usos**

Hojas con varios usos medicinales como tonificantes, estimulantes, antidiarreicas; la infusión de sus hojas se usa también para darle un sabor anisado a los preparados (Barriga et al., 2017).

4.8.3. *Pappobolus acuminatus* S.F.Blake

- **Distribución geográfica**

Presente en bosques deciduos pie montano de Catamayo, Alamor y alrededores de la hoya de Loja en el ecosistema arbusto siempre verde montano del sur de los Andes (MAE, 2015).

- **Descripción botánica**

Se trata de una hierba terrestre, que registra un promedio de alturas de 1,78 m., sus flores son amarillas, hojas simples y alternas sin ramificaciones (Cevallos et al., 2015).

- **Usos**

El incienso de esta madera contiene propiedades medicinales antireumáticas, diuréticas, depurativas y antisépticas, además de ser una gran fuente de antioxidantes (Cevallos et al., 2015).

4.8.4. *Baccharis latifolia* Ruiz y Pav.

- **Distribución geográfica**

En el Ecuador se encuentra distribuido en las provincias de: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura, Loja, Napo, Pichincha, Tungurahua y Zamora Chinchipe, con altitudes que van de 1 000 a 4 000 m s.n.m. (Romoleroux et al., 2019).

- **Descripción botánica**

Arbusto de aproximadamente 1,5 a 2 m de altura, numerosos ramificados, hojas alternas, simples; venación pinnada, trinervada, inflorescencias en capítulos arreglados en corimbos (Romoleroux et al., 2019).

- **Usos**

Las hojas cocinadas se usan para tratar hemorroides, reumatismos, golpes, torceduras, y en la desinfección de heridas; en infusión o soasadas para tratar la diarrea, aliviar el dolor de cabeza y de muelas; la corteza se emplea para desinflamar hinchazones, limpiar el mal aire y curar el espanto (Romoleroux, 2019).

4.8.5. *Gynoxys nitida* Muschl.

- **Distribución**

Se encuentra distribuida en las provincias de: Azuay, Carchi, Chimborazo, Tungurahua, Zamora Chinchipe, Pichincha, Imbabura, Loja y Napo; con altitudes de 2 000 a 4 000 m.s.n.m. (Romoleroux et al., 2019).

- **Descripción botánica**

Tallos teretes, con estípulas ausentes, hojas opuestas; haz glabro con vena principal angostamente hendida, inflorescencias en capítulos radiados, arreglados en panículas terminales, fruto cipsela oblonga (Romoleroux et al., 2019).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La investigación se realizó en el Parque Universitario Francisco Vivar Castro, PUFVC (Figura 1), ubicado en el cantón Loja, parroquia San Sebastián, Ciudadela Universitaria “Guillermo Falconí Espinosa”, propiedad de la Universidad Nacional de Loja, ubicado a 5 km de la ciudad de Loja en un rango altitudinal de 2 130 a 2 520 m s.n.m. (Aguirre, 2014). Específicamente el matorral andino fue el escenario donde se colectó el material vegetal, el cual comprende un área de 28,4 ha que corresponde al 29,58 % del área del PUFVC (Aguirre, 2014).

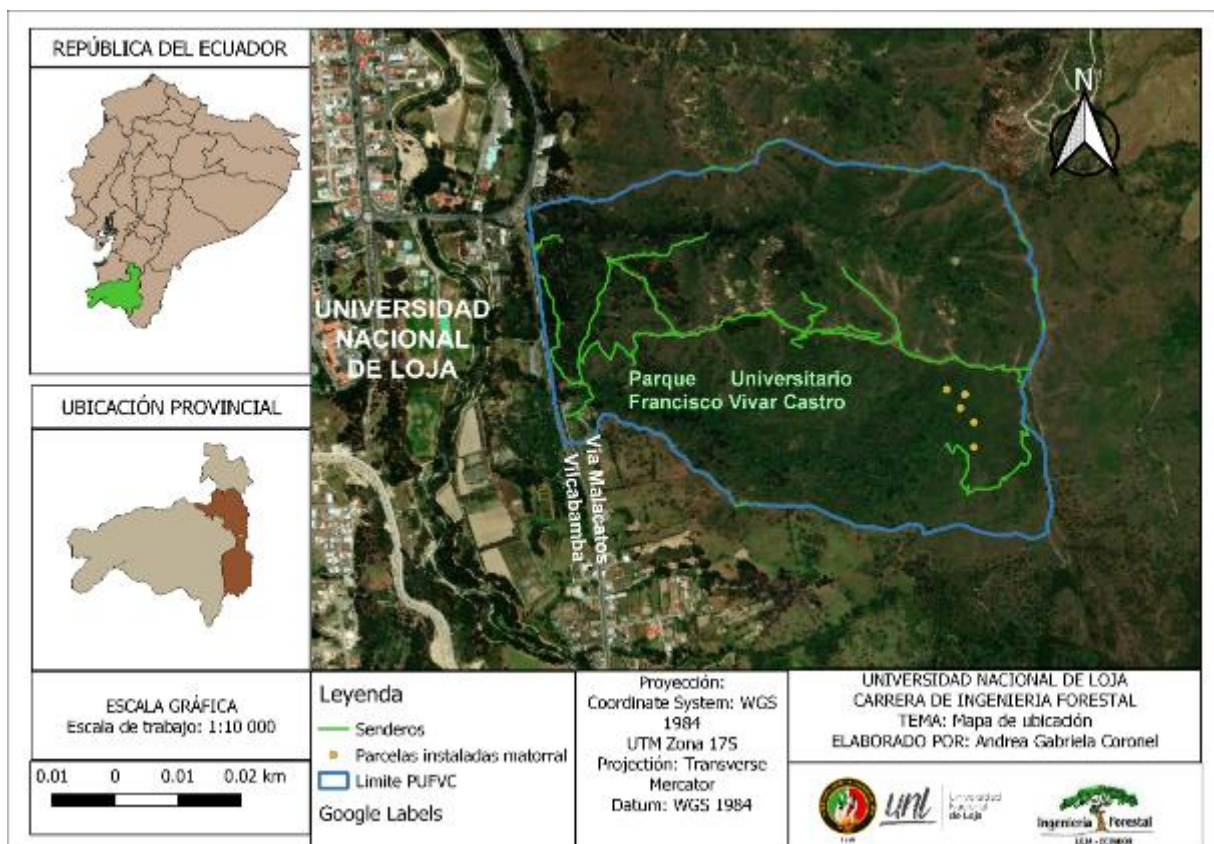


Figura 1. Ubicación del Parque Universitario Francisco Vivar Castro y parcelas establecidas en matorral andino.

5.2. Selección de especies forestales

Las especies forestales del matorral andino del PUFVC seleccionadas para determinar su inflamabilidad fueron aquellas más representativas o que definen la estructura del matorral andino del PUFVC (Muñoz-Chamba et al., 2022). En la Tabla 1 se presentan las especies seleccionadas y los valores de parámetros estructurales de la vegetación.

Tabla 1. Especies seleccionadas y los valores de parámetros estructurales de la vegetación.

Espece	Familia	Densidad (ind/ha)	Densidad relativa (%)	Frecuencia relativa (%)	IVIs (%)
<i>Lepechinia mutica</i> Benth.	Lamiaceae	1875	48,70	10,00	29,35
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	Asteraceae	1345	34,94	10,00	22,47
<i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	Asteraceae	135	3,51	8,00	5,75
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav.	Asteraceae	75	1,95	2,00	1,97
<i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	Asteraceae	40	1,04	4,00	2,52

Nota. IVIs: Índice de valor de importancia simplificado.

Fuente: Muñoz-Chamba et al. (2022).

5.3. Metodología para calcular la inflamabilidad de especies vegetales representativas en el matorral andino bajo condiciones de laboratorio

La inflamabilidad se calculó bajo condiciones de laboratorio, por lo que se trabajó con muestras secas. Para esto, mediante un muestreo aleatorio se seleccionó 10 individuos por especie y se colectó 10 muestras de material vegetal con un peso de 100 gramos por especie. Estas muestras fueron pesadas en campo y trasladadas al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Loja, donde fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 55 °C hasta que el peso de las muestras se estabilizó. Con la información del peso húmedo y seco se calculó el contenido de humedad en base húmeda de las muestras (Rochas, 1994; Hernando y Elvira, 1989;), utilizando la siguiente formula:

$$CH \% = \left(\frac{Ph - Ps}{Ph} \right) * 100$$

Donde:

CH % = Contenido de humedad en base húmeda

Ph = Peso húmedo (g)

Ps = Peso seco (anhidrido), después de ser secada en una estufa a 150°C (g)

Las características o propiedades de la inflamabilidad se evaluaron acorde a la metodología desarrollada por Hachmi et al. (2011). El método utilizado fue el de llama directa, que consistió en aplicar el fuego directamente al material vegetal hasta que entre en ignición, para luego ser retirado. Se utilizaron muestras vegetales secas con un peso de 5 gramos con un número de repeticiones de 20, en total 100 gramos secos por especie.

Cada muestra se colocó en una malla metálica de 15 x 15 cm, extendida de manera horizontal, y se expuso al método de la llama directa hasta que esta entró en ignición. Con la ayuda de una pistola termómetro láser ACEGMET se determinó la temperatura a la que las muestras entraron en ignición. Las características de inflamabilidad evaluadas fueron: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama.

- **Tiempo de ignición**

Para el cálculo del tiempo de ignición se utilizó un cronómetro y constituyó el tiempo transcurrido desde que se expone la muestra a la fuente de calor hasta que esta entró en ignición (aparición de llama). Se representó en segundos.

- **Sostenibilidad**

Se calculó la sostenibilidad con ayuda de un cronometro y se aplicó a siguiente fórmula

$$TC = t_f - t_i$$

Donde:

TC = sostenibilidad de la llama (s)

t_f = momento de la extinción de las llamas (s)

t_i = momento en que se observa por primera vez la ignición o inicio de las llamas (s)

- **Combustibilidad**

Para determinar la combustibilidad se aplicó la siguiente fórmula

$$C_i = \frac{(W_f - W_i)}{(t_f - t_i)}$$

Donde:

C = combustibilidad (g/s)

W_f = peso de la muestra antes de la ignición (g)

W_i = peso final de la muestra después de la extinción de la llama (g)

t_f = tiempo final de la llama al momento de su extinción (s)

t_i = tiempo de ignición o aparición de la llama (s)

- **Altura de llama**

Para el cálculo en la altura que alcanzó la llama se toma en cuenta desde la base donde estaban las muestras hasta el punto máximo que se logró evidenciar con ayuda de una regla graduada pegada a la pared.

- **Índice de inflamabilidad**

A partir de los datos obtenidos se obtuvo el índice de inflamabilidad utilizando 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)

- **Categoría de inflamabilidad**

Para determinar la categoría de inflamabilidad se utilizaron los valores acordes a la metodología desarrollada por Hachmi et al (2011).

Tabla 2: Valores y categorías de inflamabilidad.

Valores	Categoría de inflamabilidad
FI < 0,5	Muy poco inflamable
0,5 ≤ FI < 1,5	Poco inflamable
1,5 ≤ FI < 2,5	Moderadamente inflamable
2,5 ≤ FI < 3,5	Inflamable
3,5 ≤ FI < 4,5	Extremadamente inflamable
4,5 ≤ FI	Muy extremadamente inflamable

5.4. Metodología para determinar la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales del matorral andino

Para determinar la influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales del matorral andino, se aplicaron cuatro tratamientos mediante un diseño completo al azar (DCA) con dos factores y dos niveles.

Los factores y niveles de estudio fueron:

- Factor A: viento
- Factor B: pendiente
- Niveles factor A: 0 m/s y 1m/s
- Niveles factor B: 22,5 ° y 45 °

El factor viento igual a 1 m/s fue seleccionado porque en la ciudad de Loja la velocidad del viento que más veces se repite es de aproximadamente 1,3 m/s, la cual está presente en todos los meses y días del año (<https://meteoblue.com/>). El valor que corresponde a cero fue considerado como testigo. Para el nivel pendiente, los valores seleccionados fueron porque el área de matorral andino presenta una topografía irregular con la presencia de pendientes entre menores y superiores a 45%.

El modelo matemático factorial A x B en el diseño completo al azar fue:

$$Y_{ijk} = \mu + a_i + b_k + ab_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = promedio general del tratamiento

μ = promedio del tratamiento

a_i = efecto del factor A

b_k = efecto del factor B

ab_{ik} = efecto de la interacción AxB

ε_{ijk} = error experimental en el nivel i del tratamiento y nivel j del bloque

Los ensayos se realizaron con muestras de 5 gramos de material seco y 20 bloques o repeticiones por especie y por tratamiento. Se calculó las características de la inflamabilidad como: tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad, altura de la llama; y, el índice y categoría de inflamabilidad.

Los tratamientos utilizados se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tratamientos utilizados para determinar inflamabilidad de las especies de matorral andino.

Código	Descripción del tratamiento
T1	Sin viento y a una pendiente de 22,5 °
T2	Con viento de 2,4 m/s y a una pendiente de 22,5 °
T3	Sin viento y a una pendiente de 45 °
T4	Con viento de 2,4 m/s y a una pendiente de 45 °

Las especificaciones del experimento A x B en un DCA fueron:

- Tratamientos por especie = 4
- Testigo = 1 (sin viento y sin pendiente)
- N° de muestras por tratamiento = 20
- N° de repeticiones = 20
- N° de unidades experimentales = 80
- N° total de unidades experimentales por especie= 80
- Peso total de material vegetal seco por especie = 400 g

5.5. Análisis de la información

Se calcularon estadísticas descriptivas para las características de la inflamabilidad como: promedio, error típico y coeficiente de variación. El contenido de humedad de las especies fue comparado en función de un análisis de varianza con un nivel de significancia de 0,05 y se aplicó la prueba Tukey para conocer qué especie fue diferente. Para las características de inflamabilidad de las especies y el efecto de factores ambientales sobre la inflamabilidad fueron analizados mediante una comparación de medias simple donde se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal Wallis, porque los datos no presentaron una distribución normal y no tuvieron homocedasticidad de varianzas, además, se aplicó la prueba de test de Wilcoxon con una significancia de 0,05 para conocer qué tratamiento fue diferente.

6. Resultados

6.1. Inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino bajo condiciones de laboratorio

Las pruebas de inflamabilidad para las especies representativas de matorral andino se realizaron bajo condiciones de laboratorio, con contenidos de humedad entre 60 a 75 %. En la Tabla 4 se presentan estadísticos descriptivos para el contenido de humedad de las especies, donde los promedios no mostraron diferencias significativas entre las especies (ANOVA, p-valor = 0,000, $\alpha = 0,05$) (Ver Anexo 1).

Tabla 4. Estadísticos descriptivos para el contenido de humedad de especies representativas de matorral.

Especie	p-value	Contenido de humedad (%)	Error Típico (\pm %)	Coefficiente de Variación (%)
<i>Lepechinia mutica</i> Benth.	0.708	71,38	0,36	1,72
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	0.9586	75,53	0,36	1,64
<i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	0.07052	66,37	0,45	2,25
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav.	0.5431	60,62	0,38	2,09
<i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	0.3945	64,85	0,37	2,03

Los estadísticos para las características de inflamabilidad como tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de la llama y combustibilidad para las especies representativas de matorral andino se presentan en la Tabla 5. En el Anexo 2, se encuentran todos los estadísticos descriptivos calculados para las mencionadas características.

Tabla 5. Estadísticas descriptivas de las características de inflamabilidad de especies representativas de matorral andino.

Especies	Estadístico	TI (s)	TC (s)	FH (cm)	C (g/s)
<i>Lepechinia mutica</i> Benth.	Promedio	14,95	50,55	37,95	0,067
	Error típico	5,48	4,58	3,30	0,004
	Coefficiente de variación (%)	164,19	40,60	38,99	29,070
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	Promedio	6,2	26,35	42,05	0,150
	Error típico	0,60	3,68	2,48	0,03
	Coefficiente de variación (%)	43,96	26,38	26,38	90,06
<i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	Promedio	7,2	8,85	6,35	0,04
	Error típico	3,90	2,33	2,33	0,014
	Coefficiente de variación (%)	242,64	164,39	164,39	114,15
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav	Promedio	8,2	47,6	48,4	0,070
	Error típico	1,53	4,83	4,82	0,008
	Coefficiente de variación (%)	83,80	43,39	44,56	51,08
<i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	Promedio	7,2	68,1	40,05	0,062

Error típico	0,42	4,35	1,95	0,003
Coefficiente de variación (%)	26,12	28,59	21,87	27,49

Nota. TI: tiempo de ignición; TC: sostenibilidad; FH: Altura de la llama; C: combustibilidad

El tiempo de ignición promedio de las especies estuvo entre valores de 6 s a 14 s, siendo *D. scytophyllum* la que mostró llama en menor tiempo y *L. mutica* la que requirió mayor tiempo para generar llama. Existieron diferencias estadísticas entre el tiempo de ignición de las especies (Kruskal Wallis, p-valor = 0,000 α =0,05), siendo *G. nitida* y *P. acuminatus* las que mostraron diferencias con el resto de las especies (Anexo 3). En la Figura 2 se presenta la distribución de valores de tiempos de ignición para las especies de matorral andino.

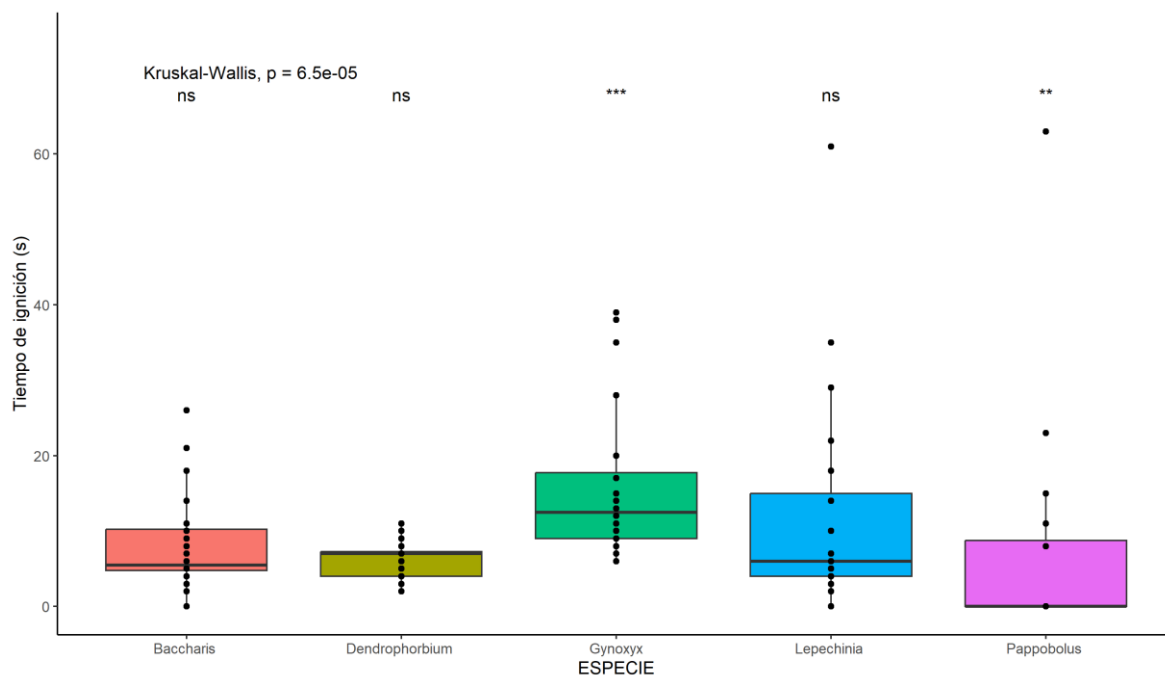


Figura 2. Distribución de valores del tiempo de ignición para especies representativas de matorral andino.

La sostenibilidad promedio de las especies estuvo entre valores de 8 s a 69 s, con diferencias significativas entre las especies (Kruskal Wallis, p-valor = 0,000, α =0,05) siendo *P. acuminatus*, *G. nitida* y *D. scytophyllum* las que mostraron diferencias entre las especies (p-valor \leq 0,000, α =0,05). Ver Figura 3.

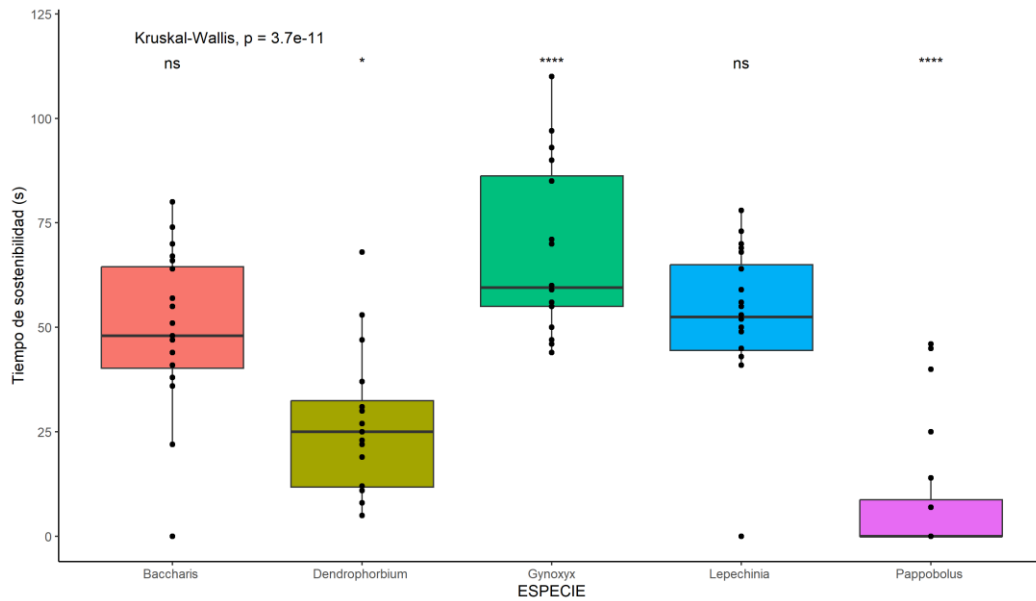


Figura 3. Distribución de valores de tiempos de sostenibilidad para especies de matorral andino.

La altura de la llama de las especies presentó valores promedios entre 6 cm a 49 cm, con diferencias significativas entre las especies (Kruskal Wallis, p-valor = 0,000 $\alpha = 0,05$), siendo *P. acuminatus* y *B. latifolia* las que difirieron del resto de especies (p-valor < 0,05, $\alpha = 0,05$). Ver Figura 4.

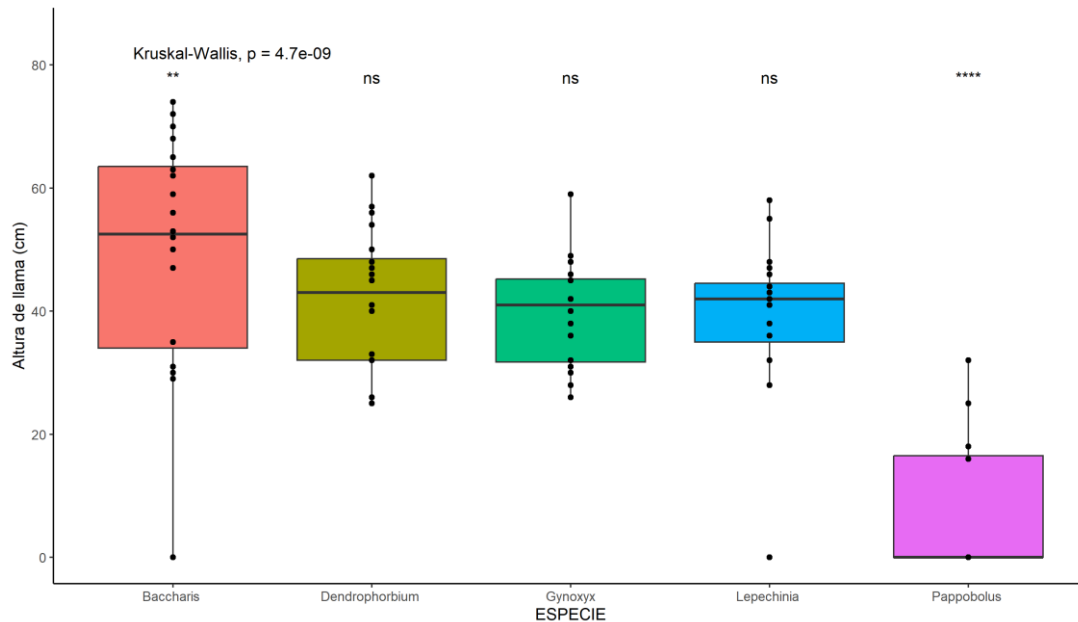


Figura 4. Distribución de valores de altura de llama para especies de matorral andino del PUFVC.

La combustibilidad promedio de las especies estuvo entre valores de 0,04 g/s a 0,15 g/s, con diferencias estadísticas entre las especies (Kruskal Wallis, p-valor = 0,000 $\alpha = 0,05$), en donde *P. acuminatus* y *D. scytophyllum* presentaron diferencias con el resto de las especies (p-valor < 0,05, $\alpha = 0,05$). Ver Figura 5.

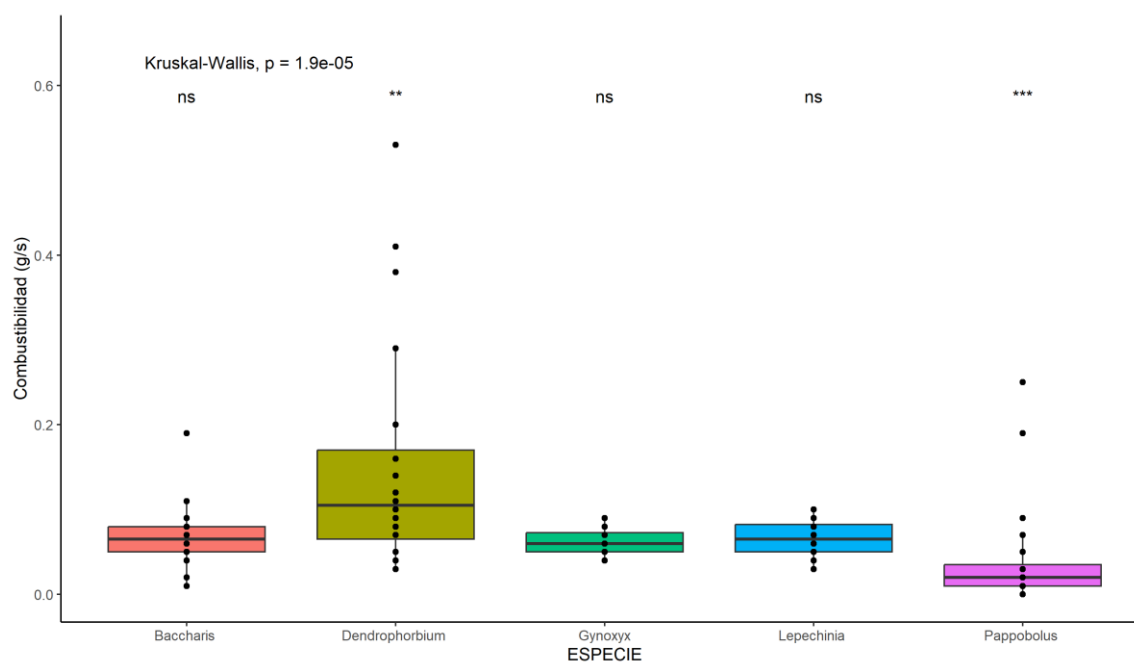


Figura 5. Distribución de valores de combustibilidad para especies de matorral andino.

Las categorías de inflamabilidad de las especies vegetales representativas de matorral andino se presentan en la Tabla 6. La categoría predominante fue muy extremadamente inflamable para cuatro especies y una con la categoría de poco inflamable.

Tabla 6. Índice y categoría de inflamabilidad para cinco especies de matorral.

Especie	Índice de inflamabilidad	Categoría de inflamabilidad
<i>Lepechinia mutica</i> Benth.	10,86	Muy extremadamente inflamable
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	9,45	Muy extremadamente inflamable
<i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	1,17	Poco inflamable
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav	12,79	Muy extremadamente inflamable
<i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	14,89	Muy extremadamente inflamable

6.2. Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies representativas de matorral andino bajo condiciones de laboratorio

6.2.1. *Lepechinia mutica* Benth.

La influencia de factores ambientales, viento y pendiente, sobre las características de inflamabilidad de la especie *L. mutica* se presenta en la Tabla 7. Los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron una reducción en el tiempo de ignición; contrario a T3 donde se registró el valor más alto con relación con al testigo (T0). La prueba Kruskal Wallis evidenció diferencias estadísticas de los tratamientos con respecto al testigo (p-valor: 0,002; $\alpha = 0,05$), siendo T3 (p-valor = 0,021) el que difiere con el tiempo de ignición más lento (Figura 6).

Tabla 7. Características de inflamabilidad de la especie *Lepechinia mutica* en función de cuatro tratamientos y testigo.

Tratamiento	Características de inflamabilidad							
	TI (s)	p-valor	TC (s)	p-valor	FH (cm)	p-valor	C (g/s)	p-valor
T1	7,30	1,00	41,15	0,01	44,15	0,13	0,10	0,00
T2	8,30	0,46	24,30	0,00	20,85	0,00	0,22	0,00
T3	16,70	0,02	33,00	0,00	50,80	0,00	0,09	0,00
T4	8,55	0,57	20,95	0,00	21,25	0,00	0,20	0,00
T0	14,95	-	50,55	-	37,95	-	0,06	-

Nota. T0: testigo; T1 (P: 22,5° y V: 0 m/s), T2 (P: 22,5° y V: 1m/s); T3 (P: 45° y V: 0 m/s); T4 (P: 45° y V: 1 m/s). P: pendiente, V: viento.

Para la sostenibilidad, con todos los tratamientos aplicados se obtuvo una reducción significativa (Kruskal Wallis, p-valor 0,00, $\alpha = 0,05$) con respecto al testigo (T0), siendo todos los tratamientos diferentes al testigo (T0) (p-valores $< 0,05$, $\alpha = 0,05$), principalmente T2 y T4 que experimentaron una reducción de 30 segundos aproximadamente en la duración de la llama (Figura 6).

Para la altura de la llama, los tratamientos con presencia de viento (T2 y T4) evidenciaron una disminución en la altura de la llama, y en los tratamientos con ausencia de viento (T1 y T3) la altura de la llama fue mayor con relación al T0, siendo estas diferencias significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,00, $\alpha = 0,05$), diferenciándose los tratamientos T2, T3 y T4 (p-valores $< 0,05$, $\alpha = 0,05$), ver Figura 6.

La combustibilidad fue incrementada con la aplicación de los tratamientos, es decir, existió un aumento con respecto al promedio obtenido en el testigo (T0), siendo estas diferencias significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,00, $\alpha = 0,05$), donde todos los tratamientos fueron diferentes al testigo (p-valores $< 0,05$, $\alpha = 0,05$), en especial T2 en donde se consumió mayor combustible (Figura 6).

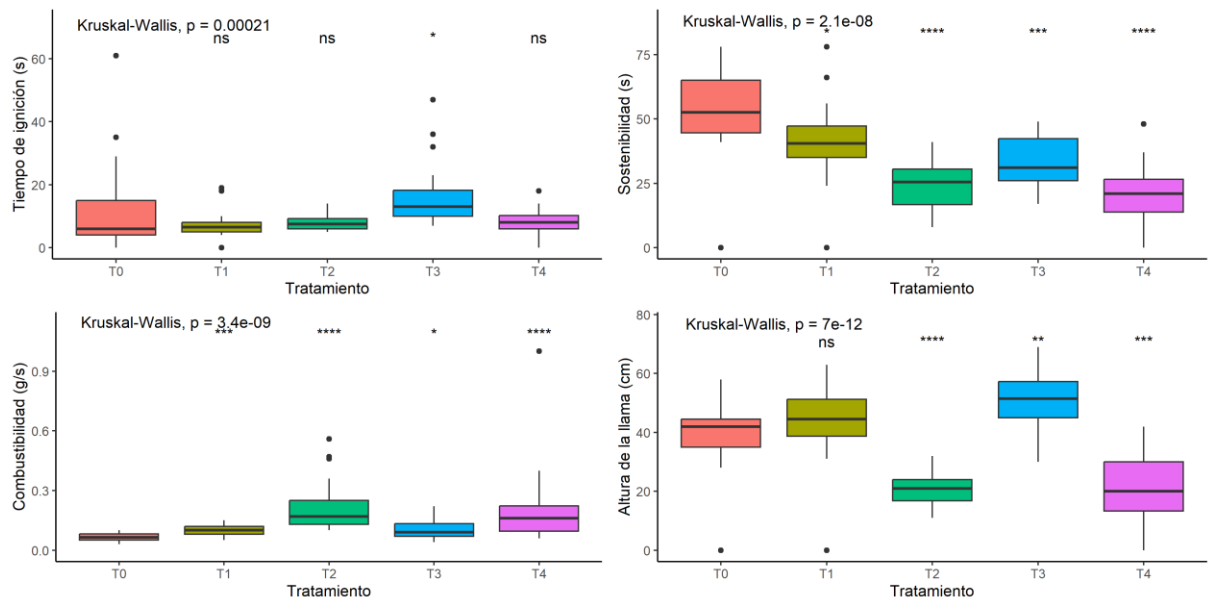


Figura 6. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie *Lepechinia mutica*.

La categoría de inflamabilidad para *L. mutica* con la aplicación de los tratamientos fue muy extremadamente inflamable; no obstante, se observó una disminución en el valor del índice de inflamabilidad, en especial para los tratamientos con influencia de viento de 1 m/s (Figura 7).

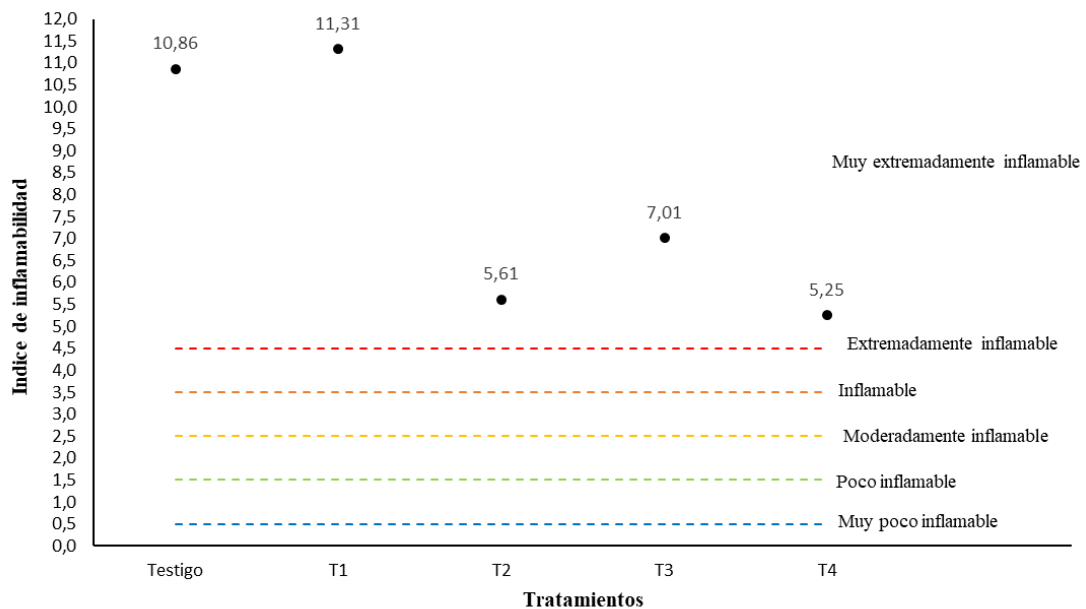


Figura 7. Categoría de inflamabilidad para la especie *Lepechinia mutica*, por tipo de tratamiento.

6.2.2. *Dendrophorbium scytophyllum* Kunth

La influencia de factores ambientales, viento y pendiente, sobre las características de la inflamabilidad de la especie *D. scytophyllum* se presenta en la Tabla 8. Sobre el tiempo de ignición, todos los tratamientos presentaron un aumento con relación al testigo, siendo tales diferencias significativas en todos los tratamientos (Kruskal Wallis, p-valor: 0,004; $\alpha = 0,05$). Ver Figura 8.

Tabla 8. Características de inflamabilidad de la especie *Dendrophorbium scytophyllum* Kunth en función de cuatro tratamientos.

Tratamiento	Características de inflamabilidad							
	TI (s)	p-valor	TC (s)	p-valor	FH (cm)	p-valor	C (g/s)	p-valor
T1	10,6	0,03	21,35	0,42	31,2	0,00	0,20	0,07
T2	9,25	0,00	14,00	0,01	17,55	0,00	0,24	0,03
T3	9,95	0,00	28,15	0,48	38,95	0,66	0,07	0,00
T4	13,65	0,00	22,30	0,51	22,55	0,00	0,13	0,44
T0	6,20		26,35		42,05		0,15	

Nota. T0: testigo; T1 (P: 22,5 ° y V: 0 m/s), T2 (P: 22,5 ° y V: 1m/s); T3 (P: 45 ° y V: 0 m/s); T4 (P: 45 ° y V: 1 m/s). P: pendiente, V: viento.

Para la sostenibilidad los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron una reducción en el tiempo de duración de la llama con respecto al T0; mientras que, para el tratamiento T3 la duración de llama fue más prolongada, siendo estas diferencias significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,001, $\alpha = 0,05$), resaltando el tratamiento T2 (Figura 8).

Para la altura de la llama, los tratamientos evidenciaron una disminución con respecto al testigo (T0). Estas diferencias fueron significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,000, $\alpha = 0,05$) para T1, T2 y T4, en especial aquellos tratamientos con presencia de viento donde se registraron las menores alturas (Figura 8).

Para la combustibilidad se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con respecto al testigo (Kruskal Wallis, p-valor 0,000, $\alpha = 0,05$), siendo los tratamientos T2 y T3 los que se diferenciaron significativamente (p-valores $< 0,05$, $\alpha = 0,05$), en especial T2 en donde se consumió mayor combustible (Figura 8).

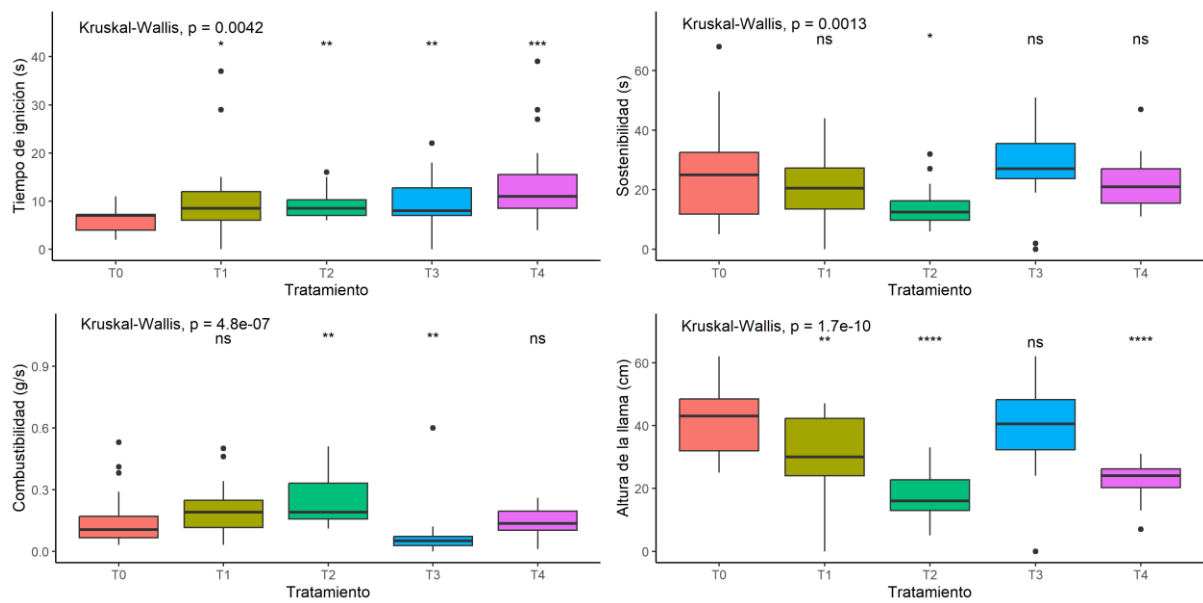


Figura 8. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie *Dendrophorbium scytophyllum*.

La categoría de inflamabilidad para *D. scytophyllum* con la aplicación de los tratamientos fue de muy extremadamente inflamable con T1 y T3; y, de extremadamente inflamable con T2 y T4. El índice de inflamabilidad disminuyó con la aplicación de los tratamientos especialmente aquellos con influencias de viento de 1 m/s (Figura 9).

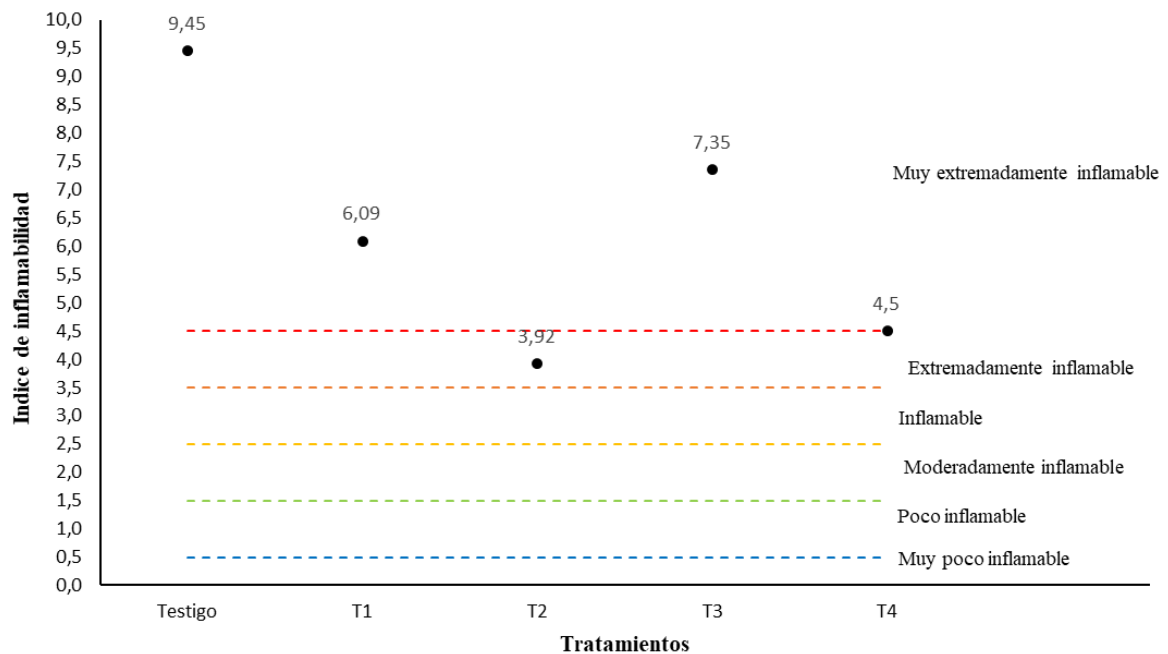


Figura 9. Categoría de inflamabilidad para la especie *Dendrophorbium scytophyllum* por tipo de tratamiento.

6.2.3. *Pappobolus acuminatus* S.F.Blake

La influencia de factores ambientales, viento y pendiente, sobre las características de la inflamabilidad de la especie *P. acuminatus* se presenta en la Tabla 9. Para el tiempo de ignición los valores se incrementaron en relación con el testigo, sin embargo, estas diferencias no fueron significativas (Kruskal Wallis, p-valor: 0,41; $\alpha = 0,05$). Ver Figura 8.

Tabla 9. Características de inflamabilidad de la especie *Pappobolus acuminatus* S.F.Blake en función de cuatro tratamientos.

Tratamiento	Características de inflamabilidad							
	TI (s)	P-valor	TC (s)	P-valor	FH (cm)	P-valor	C (g/s)	p-valor
T1	10,3	0,11	11,7	0,17	11,35	0,11	0,034	0,51
T2	11,55	0,08	7,8	0,31	6,3	0,55	0,083	0,01
T3	11,95	0,36	5,9	0,79	10,4	0,47	0,069	0,15
T4	7,3	0,07	11,4	0,08	10,75	0,12	0,055	0,13
T0	7,2		8,85		6,35		0,04	

Nota. T0: testigo; T1 (P: 22,5 ° y V: 0 m/s), T2 (P: 22,5 ° y V: 1m/s); T3 (P: 45 ° y V: 0 m/s); T4 (P: 45 ° y V: 1 m/s). P: pendiente, V: viento.

Para la sostenibilidad existió una reducción en el tiempo de duración de la llama en todos los tratamientos con respecto al testigo (T0), siendo tales diferencias no significativas (Kruskal Wallis, p-valor: 0,28; $\alpha = 0,05$), ver Figura 10.

Para la altura de la llama las diferencias registradas por tratamiento con respecto al testigo no fueron significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,34, $\alpha = 0,05$), ver Figura 10.

La combustibilidad mostró variabilidad con la aplicación de los tratamientos con respecto al testigo (T0), mostrando diferencias significativas solo el tratamiento T2 (p-valor 0,01, $\alpha = 0,05$), con el que se obtuvo la mayor combustibilidad. Ver Figura 10.

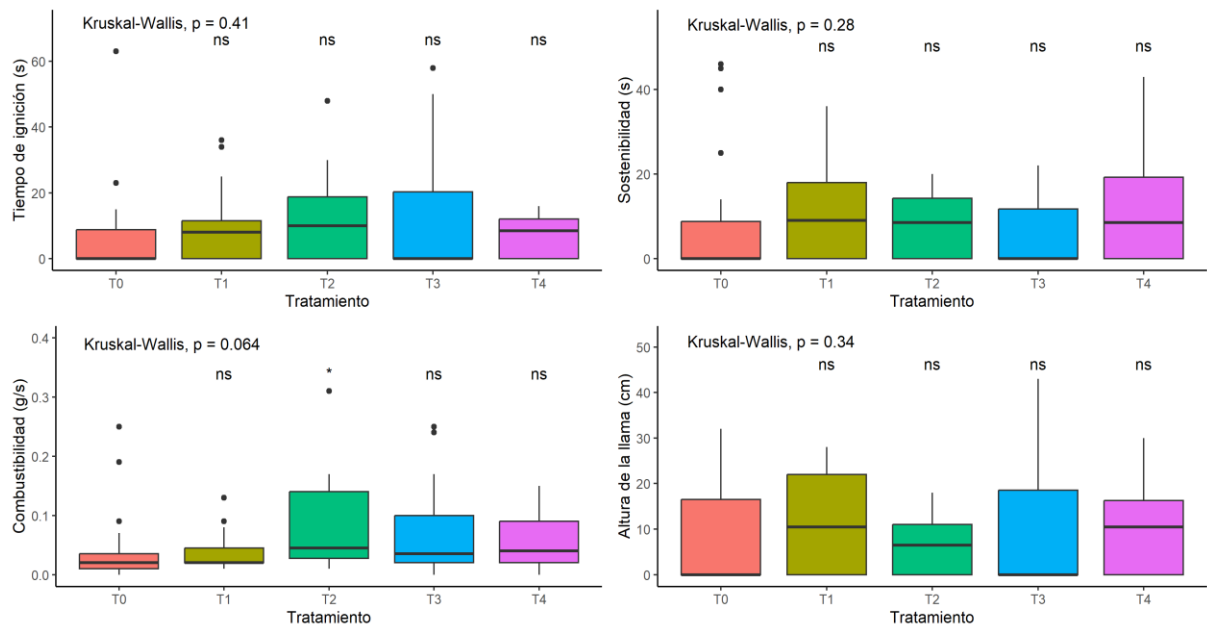


Figura 10. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie *Pappobolus acuminatus*.

La categoría de inflamabilidad para *P. acuminatus* con la aplicación de los tratamientos fue de poco inflamable (T2 y T3), moderadamente inflamable (T1) e inflamable (T4). Ver Figura 11.

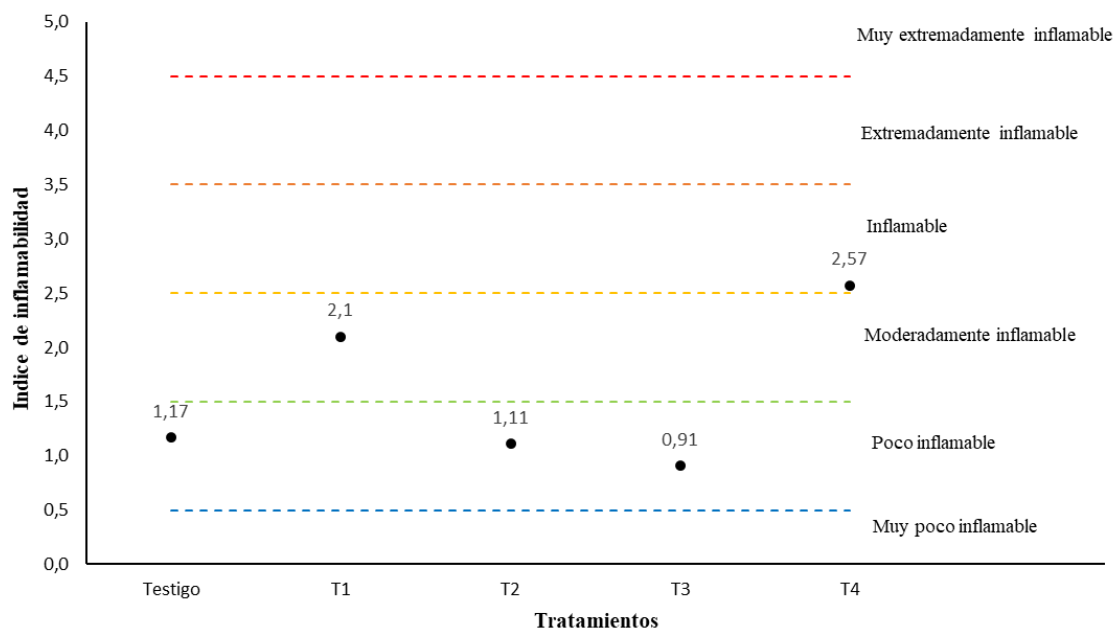


Figura 11. Categoría de inflamabilidad para la especie *Pappobolus acuminatus* por tipo de tratamiento.

6.2.4. *Baccharis latifolia* Ruiz y Pav

La influencia de factores ambientales, viento y pendiente, sobre las características de la inflamabilidad de la especie *B. latifolia* se presenta en la Tabla 10. La aplicación de los tratamientos permitió determinar tiempos de ignición similar y por debajo del valor registrado para el testigo. La prueba Kruskal Wallis evidenció diferencias significativas (p-valor: 0,0051; $\alpha = 0,05$), siendo T4 el tratamiento diferente al testigo (T0). Ver Figura 12.

Tabla 10. Características de inflamabilidad de la especie *Baccharis latifolia* Ruiz y Pav en función de cuatro tratamientos.

Tratamiento	Características de inflamabilidad							
	TI (s)	p-valor	TC (s)	P-valor	FH (cm)	P-valor	C (g/s)	p-valor
T1	8,25	0,69	64,7	0,03	47,15	0,53	0,056	0,15
T2	7,75	0,78	41,15	0,06	28,05	0,00	0,088	0,05
T3	5,7	0,19	42,25	0,22	52,45	0,60	0,078	0,16
T4	4,4	0,01	36,85	0,06	29,95	0,00	0,082	0,08
T0	8,2		47,6		48,4		0,070	

Nota. T0: testigo; T1 (P: 22,5 ° y V: 0 m/s), T2 (P: 22,5 ° y V: 1m/s); T3 (P: 45° y V: 0 m/s); T4 (P: 45° y V: 1 m/s). P: pendiente, V: viento.

Para la sostenibilidad, los tratamientos registraron valores promedios por encima y por debajo con respecto al testigo (T0), siendo estas diferencias significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,000; $\alpha = 0,05$), en especial para T1 donde la duración de llama fue más prolongada (Figura 12).

Para la altura de la llama los tratamientos obtuvieron valores por encima y por debajo del testigo (T0), siendo estas diferencias significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,000; $\alpha = 0,05$), en especial los tratamientos T2 y T4 en donde se obtuvieron alturas de llama más bajas (Figura 12).

La combustibilidad presentó variabilidad con la aplicación de los tratamientos, es decir, se obtuvo valores por encima aumentando 0.018 (g/s) y por debajo del testigo (T0) disminuyendo 0,014 (g/s). El tratamiento T2 registró el valor más alto de combustibilidad, aunque las diferencias no fueron significativas con respecto al testigo (Figura 12).

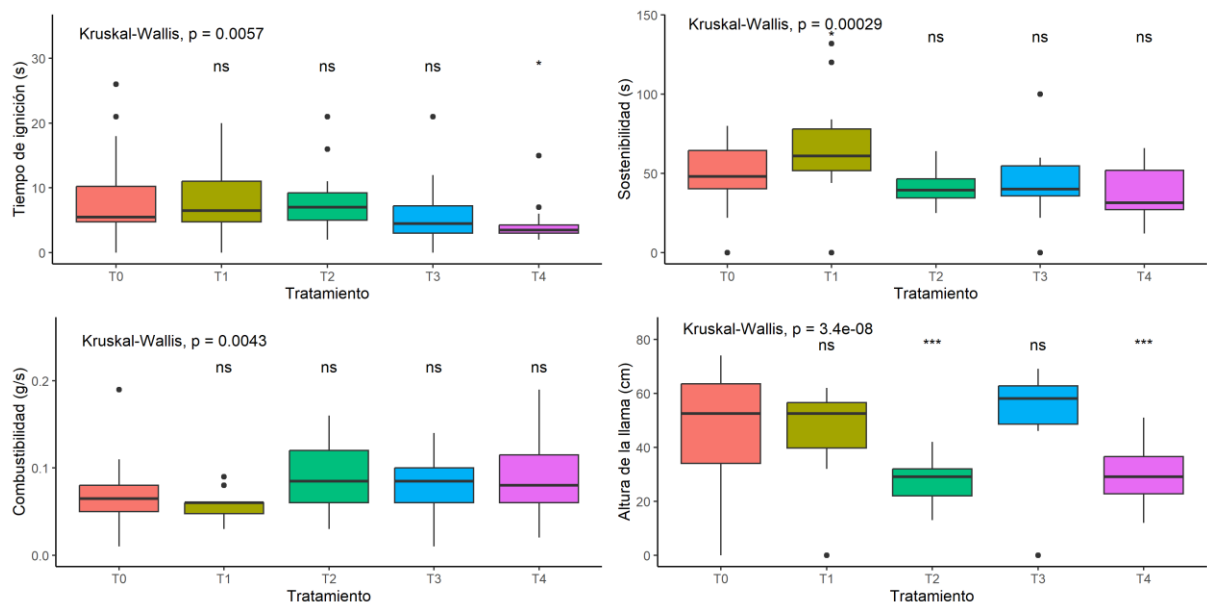


Figura 12. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie *Baccharis latifolia*.

La categoría de inflamabilidad para *B. latifolia* con la aplicación de los tratamientos fue muy extremadamente inflamable con una disminución en el valor del índice de inflamabilidad, en especial con los tratamientos influenciados por viento de 1 m/s (Figura 13).

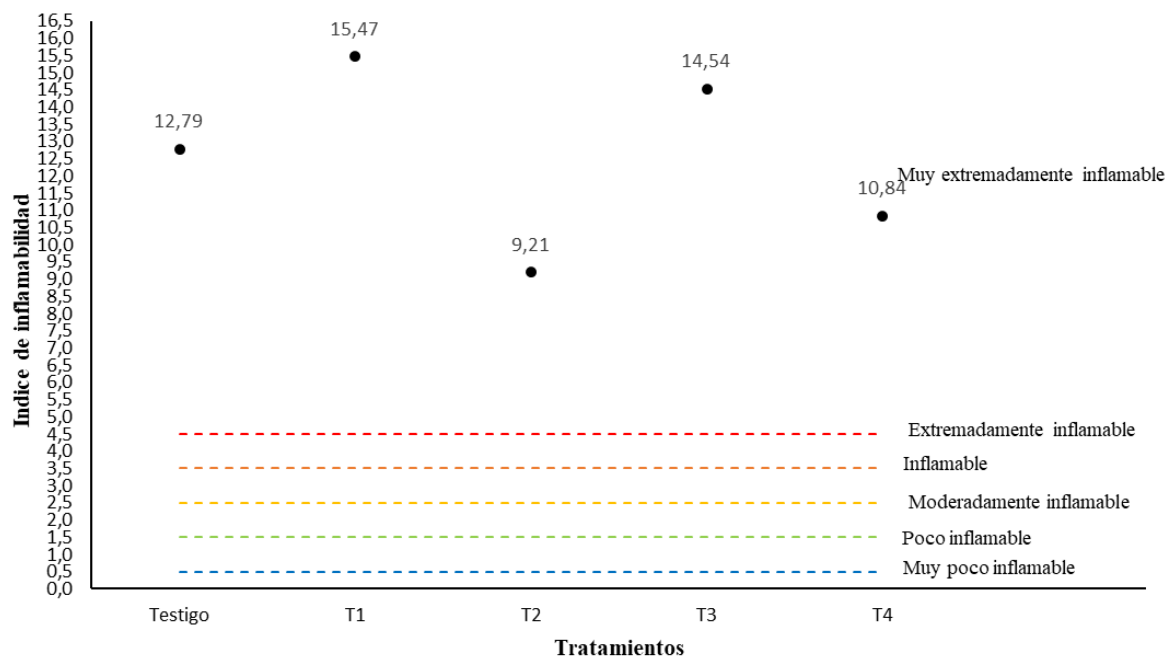


Figura 13. Categoría de inflamabilidad para la especie *Baccharis latifolia* por tipo de tratamiento.

6.2.5. *Gynoxyx nitida* Muschl.

La influencia de factores ambientales, viento y pendiente, sobre las características de la inflamabilidad de la especie *G. nitida* se presenta en la Tabla 11. Para el tiempo de ignición, todos los tratamientos aumentaron el valor en relación con el testigo (T0). La prueba Kruskal Wallis evidenció diferencias estadísticas (p-valor: 0,000; $\alpha = 0,05$), en donde T2, T3 y T4 presentaron significancia con tiempos de ignición más lentos (Figura 14).

Tabla 11. Características de inflamabilidad de la especie *Gynoxyx nitida* Muschl. en función de cuatro tratamientos.

Tratamiento	Características de inflamabilidad							
	TI (s)	p-valor	TC (s)	p-valor	FH (cm)	p-valor	C (g/s)	p-valor
T1	7,85	0,54	62,55	0,48	42,65	0,41	0,067	0,44
T2	9,6	0,02	61,95	0,63	16,55	0,00	0,066	0,98
T3	14,15	0,00	61,55	0,16	40,15	0,65	0,055	0,15
T4	16,1	0,00	59,9	0,16	19,3	0,00	0,055	0,22
T0	7,2		68,1		40,05		0,062	

Nota. T0: testigo; T1 (P: 22,5° y V: 0 m/s), T2 (P: 22,5° y V: 1m/s); T3 (P: 45° y V: 0 m/s); T4 (P: 45° y V: 1 m/s). P: pendiente, V: viento.

Para la sostenibilidad existió una reducción con la aplicación de los tratamientos con relación al testigo (T0), diferencias que no fueron significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,64, $\alpha = 0,05$). Ver Figura 14.

En la altura de la llama los tratamientos T2 y T4 evidenciaron una reducción en este valor, mientras que, para los tratamientos T1 y T3, existió un incremento con respecto al testigo (T0). Estas diferencias fueron significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,000, $\alpha = 0,05$), en especial para los tratamientos T2 y T4 (Figura 14).

La combustibilidad con la aplicación de los tratamientos registró valores por encima y por debajo del testigo, siendo tales diferencias no significativas (Kruskal Wallis, p-valor 0,21, $\alpha = 0,05$). Ver Figura 14.

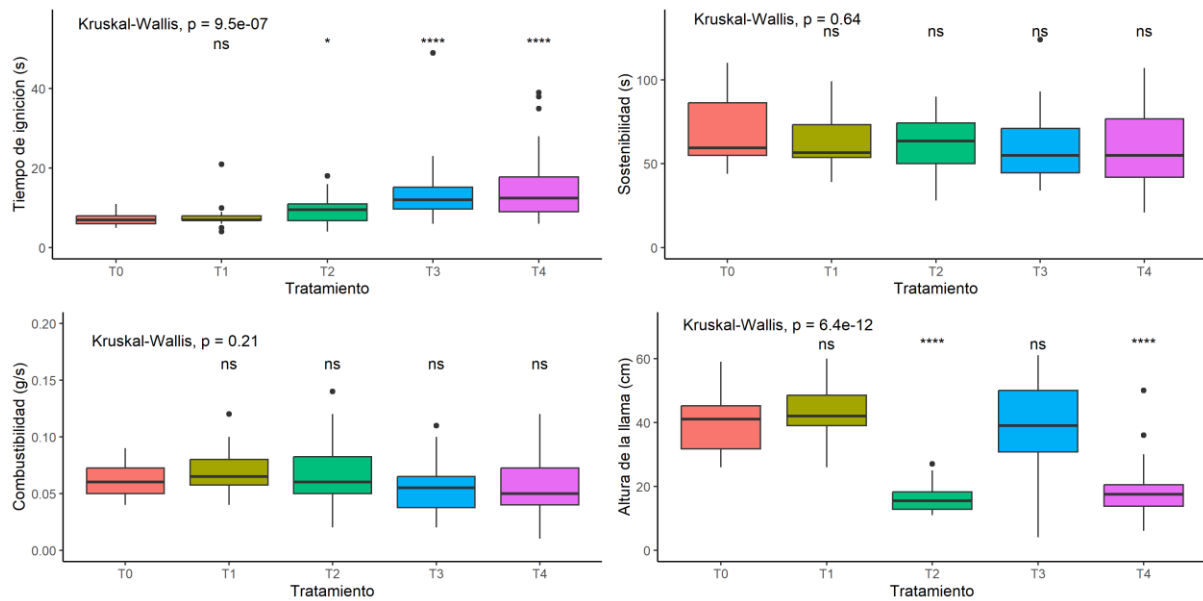


Figura 14. Características de inflamabilidad y distribución de valores para la especie *Gynoxyx nitida*.

La categoría de inflamabilidad para *G. nitida* con la aplicación de los tratamientos fue muy extremadamente inflamable; con una reducción en el valor del índice de inflamabilidad en especial para los tratamientos donde hubo influencia de viento de 1 m/s (Figura 15).

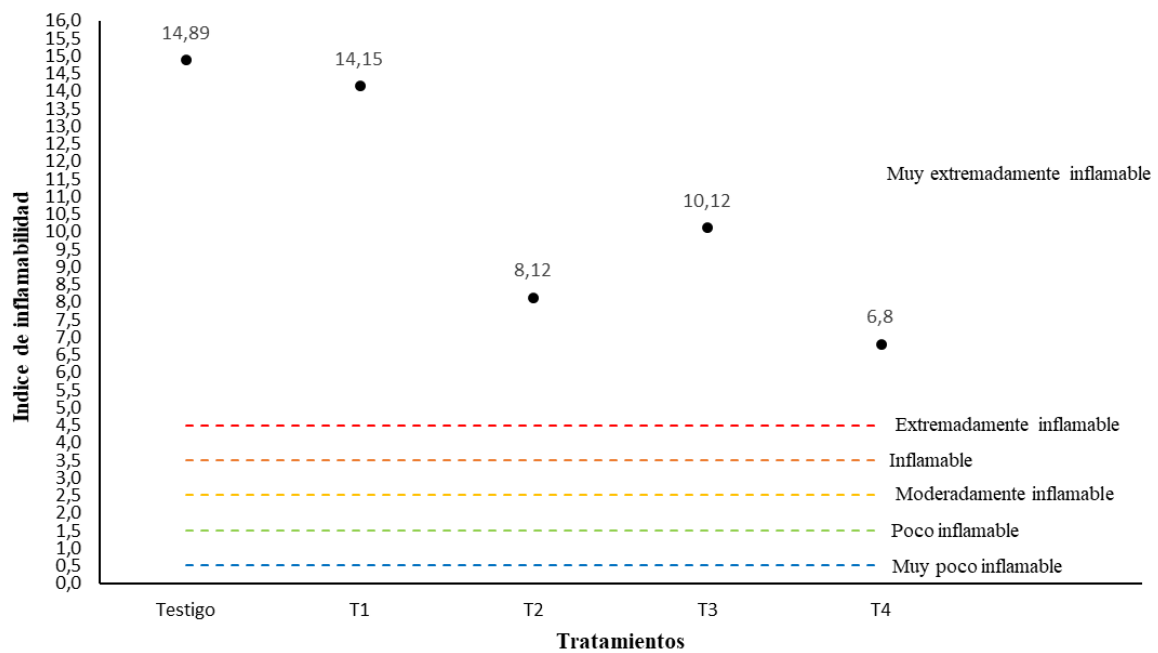


Figura 15. Categoría de inflamabilidad para la especie *Gynoxyx nitida* por tipo de tratamiento.

7. Discusión

7.1. Inflamabilidad de las especies vegetales representativas del matorral andino en el PUFVC

Las características de la inflamabilidad evaluadas en la presente investigación como el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama se realizaron bajo condiciones de laboratorio con contenidos de humedad entre 60 a 75 %, valores que se encuentran dentro del rango determinado para el contenido de humedad de árboles y arbustos, que está entre 30 y más de 400 % (Rosales-Solórzano, 2019). La variabilidad del contenido de humedad en combustibles vivos está en función de las características propias de las especies, condiciones de crecimiento, densidad básica (Rosales-Solórzano, 2019) y edad de la especie (Baeza et al, 2000), por lo que su cálculo y conocimiento al realizar las pruebas de laboratorio es importante porque ejerce una influencia considerable sobre la combustión de las especies y propagación de los incendios (Kane y Prat-Guitart, 2018). En comparación con otros estudios, estos valores fueron altos a los registrados para especies forestales de bosque andino del PUFVC (Vele, 2023), lo cual puede obedecer a que la mayoría de las especies de matorral retienen mayor humedad como respuesta a las condiciones del sitio, edad del follaje, diferencias fisiológicas de las especies (Kane y Prat-Guitart, 2018) y por las condiciones propias del matorral andino (Muñoz-Chamba et al., 2022). Adicionalmente, estos valores concuerdan con lo reportado por Peterson et al. (2008), quienes registran para matorrales del sur de California contenidos de humedad del combustible vivo entre 55 a 75 %, y Baeza et al. (2000), reportan contenidos de humedad de 73 % para especies de matorral en etapas juveniles y 25 % en etapas maduras; esto último, podría sostener la idea de que el matorral del PUFVC se encuentran en una etapa juvenil, pues esta área fue afectada por un incendio en 2017 (Sarango-Cobos et al., 2019) y su vegetación se encuentra en un proceso de recuperación (Muñoz-Chamba et al., 2022).

Para la presente investigación todas las especies generaron llama, en especial *D. scytophyllum*, *B. latifolia* y *G. nitida* con un 100 % de ensayos positivos, es decir ensayos que generaron llama en hasta los 60 segundos; mientras que, para *L. mutica* y *P. acuminatus* fueron especies que mostraron aparición de llama en un 90 % y 35 % de los ensayos respectivamente. En las muestras que no generaron llama se evidenció una combustión del material vegetal, fenómeno conocido como combustión latente que es una reacción exotérmica sin llama que se propaga por el interior de materiales combustibles porosos (Rein et al., 2002) (Liodakis et al., 2002).

El tiempo de ignición, considerado como el tiempo que demora un combustible en generar llama al estar expuesta a una fuente de calor (Hachmi et al., 2011, Behm et al. 2004), estuvo comprendido entre 6,2 s y 14,95 s, con *D. scytophyllum* como la que generó llama más rápido (6,2 s) y *L. mutica* la que generó llama más lento (14,95 s). Comparando con otras investigaciones, el tiempo de ignición de las especies de matorral andino es rápido a lo que reporta Vele (2023) y Alzate-Guarín et al. (2022) para especies arbustivas y arbóreas, tiempos lentos a lo que registra Magalhães y Schwilk (2012), y similares a lo determinado por Rodríguez (2016) para especies arbóreas y arbustivas.

Los tiempos de ignición rápidos encontrados para las especies de matorral andino pudieran obedecer a la presencia de compuestos químicos en el combustible vivo, los cuales favorecen a la inflamabilidad. Por ejemplo *L. mutica* que pertenece a la familia Lamiaceae se caracteriza por mostrar un alto contenido de fenoles (Lemjallad et al., 2019) y aceites esenciales (Padilla, 2018), lo que según Arancibia (2021), las altas concentraciones de aceites esenciales en el combustible vivo son considerados como impulsores de inflamabilidad; por otra parte, especies perteneciente a la familia Asteraceae tienen grandes perspectivas para la elaboración de combustibles como el biodiesel (Vitto y Petenatti, 2009), lo que podría sostener los tiempos de ignición rápidos en la presente investigación.

En cuanto a la sostenibilidad, definida como el tiempo que tiene el combustible en sostener la llama (Behm et al., 2018, Behm et al. 2004), para la presente investigación estuvo comprendida entre 8,85 s a 68,1 s, con *P. acuminatus* con la sostenibilidad más corta y *G. nitida* con la duración de la llama más extendida. Al comparar con otras investigaciones, Alzate-Guarín et al. (2022) señala duraciones de la llama más cortas y Magalhães y Schwilk (2012) reporta sostenibilidades más extensas, lo que podría deberse a la liberación total de calor en respuesta al peso y cantidad de combustibles pues en los diferentes estudios se utilizan muestras entre 1 g a 450 g, aspectos que importantes en la predicción de efectos del fuego (Gagnon et al. 2010). Esta característica de inflamabilidad juega un papel importante en la combustión del combustible y propagación de la llama al facilitar y dar su continuidad hacia otras superficies o plantas aledañas (Alzate-Guarín et al., 2022, Magalhães y Schwilk, 2012).

La combustibilidad, entendida como la velocidad o rapidez de la combustión después de la ignición (Duane et al., 2019, Anderson et al. 1970), estuvo comprendida entre valores de 0,04 g/s y 0,15 g/s, con una variabilidad en el consumo del material combustible. Por ejemplo, para *D. scytophyllum* se evidenció un consumo de material en su totalidad, lo que no ocurrió con *P.*

acuminatus donde el consumo del material vegetal por la llama fue parcial. Comparando con otras investigaciones, la combustibilidad de las especies del matorral andino fue alta a lo que reporta Vele (2023) para especies forestales de bosque andino del PUFVC; y, menores a lo señalado por Ormeño et al. (2009). Esta variabilidad en los valores de combustibilidad podría obedecer a la cantidad de combustible utilizado en los ensayos, su origen (vivo o muerto) y su estructura (Duane et al., 2019).

La altura de llama, entendida como la distancia vertical máxima medida desde la base hasta la punta de dichas llamas (Adkins, 1986), presentó para las cinco especies del matorral valores promedios entre 6,35 cm hasta 48,4 cm, que en comparación al estudio de Magalhães y Schwilk, (2012) y Ormeño et al. (2009) podrían considerarse como bajos. Las diferencias encontradas entre especies y con otras investigaciones pudiera ser explicado por características del material combustible como la edad de las especies, disponibilidad y distribución del material (Hobbs y Gimingham, 1984).

Con respecto a la inflamabilidad de las especies representativas de matorral andino se determinó para cuatro especies la categoría de muy extremadamente inflamable. Comparando con otros estudios, Alzate-Guarín et al. (2022) reportan la inflamabilidad para 11 especies y determinan categorías de poco inflamable a altamente inflamable siendo esta última la de mayor dominancia; y, Dehane et al. (2017) clasifican a especies arbóreas y arbustivas como moderadamente inflamables. Estos resultados demuestran que la inflamabilidad de las especies del matorral andino se centra en la categoría de muy extremadamente inflamable lo que permitiría inferir que el matorral andino es un ecosistema muy inflamable. Sin embargo, es importante considerar que la presente investigación fue determinada bajo condiciones de laboratorio y con un tipo particular de combustible, por lo que bajo condiciones reales en territorio podría existir la influencia de características no consideradas como el tipo de densidad de la madera, retención de ramas secas, presencia de compuestos volátiles, distribución y separación de ramas y hojas las que podrían aumentar o disminuir la inflamabilidad de las especies (Pausas, 2017).

7.2. Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies representativas de matorral andino

La presente investigación determinó la influencia de los factores ambientales, viento y pendiente, sobre la inflamabilidad de especies representativas del matorral andino del PUFV porque son considerados como los factores más influyentes en el comportamiento del fuego (Jellouli y Bernoussi, 2022, Bountzouklis et al., 2021, Pimont et al., 2012).

El tiempo de ignición registró variabilidad en los valores obtenidos por especie y tratamiento con respecto al testigo (T0), es decir, se registraron tiempos de ignición más rápidos para *L. mutica* y *B. latifolia*; y, tiempos más lentos para *D. scytohypyllum*, *P. acuminatus* y *G. nitida*; con diferencias significativas por lo menos en uno de los cuatro tratamientos aplicados para cada especie, particularmente los tratamientos con influencia de viento y pendiente (T2 y T4). Para la especie *P. acuminatus* las diferencias en los valores promedios de los tratamientos con respecto al testigo no fueron significativos. Estos resultados muestran la variabilidad de respuesta de la inflamabilidad frente a factores externos, por lo que es prioritario ampliar la investigación direccionando el estudio hacia el combustible y la prueba de varios niveles de viento y pendiente, en especial para el viento, pues de acuerdo con Plucinski y Anderson (2008) podría existir una velocidad de viento óptima para el éxito de la ignición, pues este proporciona oxígeno pero al mismo tiempo podría enfriar la superficie del combustible no quemado provocando la necesidad de un mayor tiempo para generar llama. Por su parte, Butler (2014) menciona que el viento tiene una influencia antes y después de la ignición por convección sobre los combustibles cercanos a la fuente de calor; Moreira y Schipper, (2021) sostiene que el viento puede elevar más rápidamente la temperatura de ignición que en condiciones sin viento; y, de acuerdo con Hidalgo et al. (2021) la combustión en la fase de inicio de un incendio es desacelerada por el viento, pero conforme el fuego interactúa con el viento este logra expandirse y al interactuar con pendientes altas de más de 22,5° y bajas provocan que los incendios se propaguen a mayor o menor velocidad respectivamente.

En cuanto a la sostenibilidad se observó una disminución de dicho valor con respecto al testigo (T0) en todas las especies, siendo únicamente significativo estos cambios para *L. mutica*, en especial en los tratamientos que combinaron pendiente (22,5 °, 45 °) y viento de 1 m/s (T2 Y T4). De manera general, estos resultados evidenciaron que el viento y pendiente analizados disminuyeron la duración de la llama, teniendo también un papel importante el origen del combustible utilizado, es decir la especie, por lo tanto, podrían existir otros factores,

no analizados en la presente investigación, que tendrían una influencia sobre la sostenibilidad, lo que es ratificado por Molina y Llinares (2000) quienes sostienen que esta característica está relacionada con muchas variables como la velocidad de propagación del fuego, viento, carga, estructura del material y humedad del combustible (Grootemaat et al., 2017).

La altura de la llama ante los efectos del viento y pendiente presentó comportamientos diferentes en las especies del matorral del PUFVC. Por ejemplo, con la presencia de pendiente las alturas fueron mayores en *B. latifolia*, *L. mutica* y *G. nitida* y menores para *D. sytophyllum* y *P. acuminatus* con respecto al testigo (T0), siendo estas diferencias de manera general no significativas. Por otra parte, cuando hubo el efecto de pendiente y viento (T2 Y T4), la altura de la llama fue menor con respecto al testigo para todas las especies, siendo estas diferencias significativas con excepción de *P. acuminatus*.

El efecto de los factores ambientales viento y pendiente sobre la altura de la llama de los combustibles fue evidente en la presente investigación, incrementando y disminuyendo en función de las especies, lo que confirma que la inflamabilidad de los combustibles está influenciada por muchos factores, demostrado en las diferentes investigaciones realizadas y con diferentes criterios. Por ejemplo, Moreira y Schipper, (2021) manifiesta que desde el punto de vista de la física el aumento de la velocidad del viento dobla las llamas disminuyendo su altura, Malkinson (2013) demuestra en modelos de simulación de propagación de incendios que el incremento de la velocidad del viento produce un aumento en las alturas de las llamas con efectos más homogéneo en la severidad de los incendios a nivel de paisajes; y, Mendes-Lopes et al. (2003) y Águeda et al. (2010) sostienen que la altura de la llama depende de la velocidad del viento, la pendiente y el contenido de humedad del combustible.

La combustibilidad mostró una variabilidad con los tratamientos aplicados, es decir los valores se incrementaron y disminuyeron con respecto al testigo (T0), siendo *L. mutica* la única especie que mostró significancia en todos los tratamientos. Los tratamientos donde se combinaron viento y pendiente (T2 Y T4) fueron los que presentaron diferencias significativas con respecto al testigo (T0). La velocidad de propagación del fuego influenciada por viento y pendiente ha sido analizado en varias investigaciones, por ejemplo, para combustibles de acículas de pino Liu et al. (2014) determinan que ésta se incrementa a mayores pendientes, pero con un menor consumo del combustible, Pimont et al. (2012) mediante un modelo numérico llamado FIRETEC sostienen que la velocidad de propagación del fuego está determinada por el tamaño del fuego, en donde los fuegos más grandes tienden a propagarse

más rápido en pendientes pronunciadas y en condiciones de viento fuerte. Por su parte Weise (1994), sostiene que tanto viento y pendiente tienen un impacto significativo en la velocidad de propagación del fuego, el viento puede aumentar la propagación del fuego y pendientes empinadas pueden dificultar la propagación del fuego por la interferencia con la dirección del viento, en especial cuando la dirección del viento es en contra de la pendiente.

En lo que respecta a la categoría de inflamabilidad de las especies del matorral andino del PUFVC, se evidenció cambios en los valores del índice de inflamabilidad por tratamientos y especies con respecto al testigo (T0), teniendo como consecuencia en algunas especies el cambio de categoría de inflamabilidad en comparación con el testigo (T0). Al igual que las especies forestales (Vele, 2023, Popović et al., 2021), los arbustos del matorral andino del PUFVC difieren en cuanto a la inflamabilidad, es decir pueden presentar diferentes categorías de inflamabilidad en un lugar y tiempo determinado como producto de la influencia del viento, pendiente o la combinación de ambos, aunque se debe considerar que la inflamabilidad no solo depende de los factores ambientales viento y pendiente, pues varias investigaciones han demostrado la influencia de la carga y disponibilidad de los combustibles, el contenido de humedad del combustible, la humedad relativa del ambiente, la temperatura atmosférica (McLauchlan et al., 2020), combustible vivos o muertos (Kane y Prat-Guitart, 2018), rasgos biológicos y ecológicos de las especies (Popović et al., 2021), presencia de sustancias o componentes químicos (Malkinson, 2013), entre otros. Esta investigación abre un abanico de oportunidades para empezar a entender la dinámica del fuego y su comportamiento, en especial destaca la importancia de considerar factores ambientales como viento y pendiente en la planificación, manejo y prevención de incendios forestales.

8. Conclusiones

Las características de inflamabilidad determinadas bajo condiciones de laboratorio, con combustible seco, para las cinco especies representativas del matorral andino del PUFVC presentaron variabilidad en los valores obtenidos, con diferencias significativas, lo que evidencia una diversidad de respuestas en cuanto al tiempo de ignición, sostenibilidad, altura de las llama y combustibilidad que pudieran presentar las especies que conforman el matorral andino ante la ocurrencia de un incendio forestal.

La categoría de inflamabilidad predominante en las especies representativas del matorral andino del PUFVC fue de muy extremadamente inflamable (*L. mutica*, *D. scytophyllum*, *B. latifolia*, *G. nitida*), y de poco inflamable para una especie (*P. acuminatus*), lo que podría sostener la idea que el matorral andino sería un ecosistema muy extremadamente inflamable, con una repercusión importante en la biodiversidad ante la ocurrencia de un incendio forestal.

Los factores ambientales, viento y pendiente, analizados en la presente investigación bajo condiciones de laboratorio, influyeron de manera significativa en algunas características, tratamientos y especies, con valores promedio por encima y debajo con relación al testigo. El tiempo de ignición y la altura de la llama fueron las características más influenciadas por los factores ambientales analizados, en especial cuando existió la combinación de viento y pendiente, con alturas menores en todas las especies y tiempos de ignición más lentos principalmente.

La inflamabilidad de las especies representativas del matorral andino se vio influenciada por los factores ambientales viento y pendiente, reflejado principalmente en el índice de inflamabilidad y en algunos casos en la categoría de inflamabilidad, como *P. acuminatus* que pasó de poco inflamable a una especie inflamable y *D. syctophyllum* que pasó de muy extremadamente inflamable a extremadamente inflamable, ambas por la acción conjunta de viento (1 m/s) y pendiente (45 °).

9. Recomendaciones

- Ampliar la investigación a otras especies y otros estratos que compone el parque universitario, así como la inclusión de más niveles para las variables ambientales pendiente y viento, para poder contar con una idea integral del potencial comportamiento del fuego a nivel de especie y paisaje.
- Evaluar la inflamabilidad de combustibles vivos y muertos a lo largo de un año, para conocer la influencia de factores ambientales atmosféricos en la inflamabilidad de estos.
- Aplicar estos resultados en la identificación de especies vegetales potenciales para restauración y establecimiento de barreras vivas para el combate y control de incendios forestales.

10. Bibliografía

- Acosta, M. B. (2019, 26 junio). *Matorrales: qué son, tipos y fauna*. ecologiaverde.com.
<https://www.ecologiaverde.com/matorrales-que-son-tipos-y-fauna-2103.html>
- Águeda, A., Pastor, E., Pérez, Y., y Planas, E. (2010). Experimental study of the emissivity of flames resulting from the combustion of forest fuels. *International Journal of Thermal Sciences*, 49(3), 543-554. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2009.09.006>
- 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>
- Anderson, H.E. 1970. Forest Fuel Ignitability. *Fire Technology* 6(4): 312-319.
- Arancibia, P. (2021). Inflamabilidad de especies nativas de los bosques chilenos. *Universidad técnica Federico Santa María*. <https://noticias.usm.cl/2021/07/28/proyecto-analiza-la-inflamabilidad-de-especies-nativas-de-los-bosques-chilenos/#:~:text=La%20investigaci%C3%B3n%20demostr%C3%B3%20tambi%C3%A9n%20que,especies%20predominantes%20del%20clima%20mediterr%C3%A1neo.>
- Baeza, M. J., Raventós Bonvehí, J., Escarré i Esteve, A., y Vallejo, R. (2000). Efecto de la estructura en matorrales de *Ulex parviflorus* de diferente edad en los tratamientos de roza y quema controlada: Implicaciones en el control del combustible. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 9, 199-210.
- Barriga, P., Toasa, G., Montúfar, R., Tye, A. (2017). *Dendrophorbium scytophyllum*. En: León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam, L. Endara, C. Ulloa y H. Navarrete (Eds). *Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador*. Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
<<https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/FichaEspecie/Dendrophorbium%20scytophyllum>>, acceso miércoles, 3 de agosto de 2022.

- Behm, A.L., Long, A.J., Monroe, M.C., Randall, C.K., Zipperer, W.C. y Hermansen-Báez, L.A. (2004). Fire in the Wildland-Urban Interface: Preparing a Firewise Plant List for WUI Residents, *University of Florida Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS) y USDA Forest Service University of Florida*.
- Bountzouklis, C., Fox, D., y Di Bernardino, E. (2021). Environmental Factors Affecting Wildfire Burned Area in South-Eastern France, 1970–2019.
<https://doi.org/10.5194/nhess-2021-174>
- Briones, F. (2015). *Manual de formación de incendios forestales para cuadrillas 2ª edición*. PDF Free Download. <https://docplayer.es/4219986-Manual-de-formacion-de-incendios-forestales-para-cuadrillas-2a-edicion-revisada.html>
- Butler, B. (2014). A study of the impact of slope and wind on firefighter safety zone effectiveness. *Fire Science*. https://www.firescience.gov/projects/07-2-1-20/project/07-2-1-20_final_report.pdf
- Cevallos, G. C., Sospedra, R. S., Vítores, M. M., y Vítores, A. C. (2015). *ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DEL BOSQUE NATURAL TROPICAL DE LA COMUNA “EL PITAL” MANABÍ, ECUADOR*.
- Chávez Durán, Á. A., Xelhuantzi Carmona, J., Rubio Camacho, E. A., Villanueva Díaz, J., Flores López, H. E., Mora Orozco, C. de la, Chávez Durán, Á. A., Xelhuantzi Carmona, J., Rubio Camacho, E. A., Villanueva Díaz, J., Flores López, H. E., & Mora Orozco, C. de la. (2016). Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(SPE13), 2589-2600.
- Chinamatira, L., Mtetwa, S. y Nyamadzawo, G. (2016). Causes of wildland fires, associated socio-economic impacts and challenges with policing, in Chakari resettlement area, Kadoma, Zimbabwe. *Fire Science Reviews*, 5(1), 1-11.
<https://doi.org/10.1186/s40038-016-0010-5>
- 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), Art. 3. <https://doi.org/10.1007/s13595-017-0659-5>

- Díaz, E., Gonzales, M., Jiménez, J., Treviño, E. y Avila, D. (2013). Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales 1. *GENERAL TECHNICAL REPORT PSW-GTR-245*.
https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_426.pdf
- Duane, A., Brotons, L., Lerner, M., Fernández, M., Vila, B., Chacón-Labela, J., Pescador, D. S., y Lloret, F. (2019). *Análisis de escenarios, a corto y medio plazo, del riesgo de afectación por incendios forestales para al menos veinticinco tipos de hábitat de bosque y matorral*.
- Erazo P, J. K., y Hervas P, C. A. (2014). *Sistema de detección de incendios forestales mediante redes sensoriales inalámbricas (Zigbee)*. MASKANA, 1–11.
- Estrada-Castillón, E., A. Villarreal-Quintanilla, J., Jurado-Ybarra, E., Cantú-Ayala, C., García-Aranda, M. A., Sánchez-Salas, J., Jiménez-Pérez, J., y Pando-Moreno, M. (2012). Clasificación, estructura y diversidad del matorral submontanoadyacente a la planicie costera del GolfoNorte en el Noreste de México. *Botanical Sciences*, 90(1), 37-52. <https://doi.org/10.17129/botsci.384>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2007). Fire Management- Global assesment 2006. *FAO forestry paper No. 151*. Rome, Italy.
- García, R. (2001). *Combustión y combustibles*—01C22 01 COMBUSTION COMBUSTION Y COMBUSTIBLES. <https://www.studocu.com/row/document/university-of-namibia/quimica/combustion-y-combustibles/18058985>
- Grootemaat, S., Wright, I.J., van Bodegom, P.M., Cornelissen, J.H., 2017. *Scaling up flammability from individual leaves to fuel beds*. *Oikos* 126 (10), 1428–1438.
- Hachmi, M., Sesbou, A., Benjelloun, H., El Handouz, N., y Bouanane, F. (2011). A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion*, 2011, e263531. <https://doi.org/10.1155/2011/263531>

- Hernando, C., y Elvira, M. (1989). Inflamabilidad y energía de las especies de sotobosque. *Laboratorio de Incendios Forestales CIT-INIA, 12*.
- Hidalgo, E. N. T., Pazmiño, R. A. L., y Avilés, J. S. P. (2021). Simulación de la propagación de incendios forestales utilizando barreras cortafuegos en el Volcán Ilaló, Quito—Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, 13(2)*, Art. 2.
<https://doi.org/10.18272/aci.v13i2.2328>
- Hobbs, R. J., y Gimingham, C. H. (1984). Studies on Fire in Scottish Heathland Communities II. *Post-Fire Vegetation Development on JSTOR*.
<https://www.jstor.org/stable/2260069>
- Jellouli, O., y Bernoussi, A. S. (2022). The impact of dynamic wind flow behavior on forest fire spread using cellular automata: Application to the watershed BOUKHALEF (Morocco). *Ecological Modelling, 468*, 109938.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109938>
- Kane, J. M., & Prat-Guitart, N. (2018). Fuel Moisture. En S. L. Manzello (Ed.), *Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires* (pp. 1-13). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_115-1
- Lemjallad, L., Chabir, R., Kandri, Y., El Ghadraoui, L., Ouazzani, F. y Errachidi, F. (2019). Improvement of Heliciculture by Three Medicinal Plants Belonging to the Lamiaceae Family. *The Scientific World Journal, 2019*, 1-7.
<https://doi.org/10.1155/2019/2630537>
- Lioudakis, 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)
- Liu, N., Wu, J., Chen, H., Xie, X., Zhang, L., Yao, B., Zhu, J., y Shan, Y. (2014). Effect of slope on spread of a linear flame front over a pine needle fuel bed: Experiments and modelling. *International Journal of Wildland Fire, 23(8)*, 1087.
<https://doi.org/10.1071/WF12189>

- 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>
- Malkinson, D. (2013). Wildfire Heterogeneity: Empirical vs. Simulated Observations—The Carmel 2010 Wildfire as a Case Study. *Israel Journal of Ecology y Evolution*, 58, 165–176. <https://doi.org/10.1560/IJEE.58.2-3.165>
- McLauchlan, K. K., Higuera, P. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, J. K., Tepley, A. J., Varner, J. M., Veblen, T. T., Adalsteinsson, S. A., Balch, J. K., Baker, P., Batllori, E., Bigio, E., Brando, P., Cattau, M., Chipman, M. L., Coen, J., Crandall, R., ... Watts, A. C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108(5), 2047-2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
- Mendes-Lopes, J. M. C., Ventura, J. M. P., y Amaral, J. M. P. (2003). Flame characteristics, temperature–time curves, and rate of spread in fires propagating in a bed of *Pinus pinaster* needles. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 67–84. <https://doi.org/10.1071/wf02063>
- Meteoblue. (17 de agosto de 2023). Datos climáticos y meteorológicos históricos simulados para Loja. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/loja_ecuador_3654667
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2015). *Especies forestales leñosas arbóreas y arbustivas de los bosques montanos del Ecuador*. Quito.
- Molina Donate, M. J., y Llinares Palacios, J. V. (2000). Comportamiento del fuego, intensidad y efectos sobre el suelo en quemas controladas de matorral valenciano en verano y en otoño. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 9, 155–161.
- Moreira, N., y Schipper, J. (2021). *Forest Fires*. <https://resources.eumetrain.org/data/3/30/print.htm>

- Moscoso, A., Montúfar, R., Tye, A. (2017). *Lepechinia mutica*. En: León-Yáñez, S., R. Valencia, N. Pitmam, L. Endara, C. Ulloa Ulloa y H. Navarrete (Eds). Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador. *Publicaciones del Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador*, Quito.
<https://bioweb.bio/floraweb/librorojo/FichaEspecie/Lepechinia%20mutica>
- Muñoz-Chamba, L. F. , Ulloa, E., Muñoz, J., y Aguirre, Z. (2022). Composición y diversidad florística del matorral andino afectado por incendios forestales en el sur del Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 12(2), Art. 2.
- Muñoz, D. F. (2022, 22 abril). Importancia del viento en los incendios | *Blog Meteoclim. Blog Meteoclim* | Una visión 360o para entender y relacionarte con la Meteorología.
<https://blog.meteoclim.com/importancia-del-viento-en-los-incendios>
- Ormeño, E., Céspedes, B., Sánchez, I. A., Velasco-García, A., Moreno, J. M., Fernandez, C., y Baldy, V. (2009). The relationship between terpenes and flammability of leaf litter. *Forest Ecology and Management*, 257(2), 471-482.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.09.019>
- Padilla, L. (2018). Aislamiento e identificación del diterpeno carnosol a partir de las especies vegetales *Lepechinia mutica* Benth y *Rosmarinus officinalis* Linneo.
- Pausas J.G., Keeley J.E., Schwilk D.W. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology* 105: 289-297.
- Pausas, J. G. (2012). *Incendios forestales. Una visión desde la ecología*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España). <https://digital.csic.es/handle/10261/56575>
- Pérez Porto, J., Merino, M. (19 de junio de 2009). Fuego - Qué es, definición y concepto.
- Peterson, S., Roberts, D., y Dennison, P. (2008). Mapping live fuel moisture with MODIS data: A multiple regression approach. *Remote Sensing of Environment*, 112(12), 4272-4284. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.012>
- Pimont, F., Dupuy, J.L., y Linn, R. (2012). Coupled slope and wind effects on fire spread with influences of fire size: A numerical study using FIRETEC. *International Journal of Wildland Fire*, 21, 828. <https://doi.org/10.1071/WF11122>

- Plana, E., Font, M., y Serra, M. (2016). *Los incendios forestales, guía para comunicadores y periodistas*. Proyecto eFIRECOM. Ediciones CTFC. 32pp
- Plucinski, M., y Anderson, W. (2008). Laboratory determination of factors influencing successful point ignition in the litter layer of shrubland vegetation. *International Journal of Wildland Fire - INT J WILDLAND FIRE*, 17.
<https://doi.org/10.1071/WF07046>
- 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>
- Prada, F. I. de. (2006). El fuego: Química y espectáculo. *Anales de Química de la RSEQ*, 2, 54-59.
- Pyne, S. (1999). *Fuego sobre la tierra introducción a su historia*. BAEZA.
<https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2310/365-382Pyne.pdf?sequence=3>
- Ramírez, J., Suarez, A. I., Bec, N., Armijos, C., Gilardoní, G., Larroque, C., & Vidari, G. (2018). Carnosol from *Lepechinia mutica* and tiliroside from *Vallea stipularis*: Two promising inhibitors of BuChE. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28(5), 559-563.
<https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.06.003>
- Rein, G., Torero, J. L., & Ellzey, J. (2002). *Estudio numérico de combustión latente en flujo directo*.
- Reyes, F., & Balcazar, C. (2021). Factores que inciden en la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales en Ecuador. *FIGEMPA Investigación y Desarrollo*, 11, 50-60.
<https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.2634>
- Rochas, L. (1994). Inflammabilité et indice de siccité de la bruyère arborescente et de l'arbousier. *Institut National de La Recherche Agronomique*.
- Rodríguez, D. (2016). Fire Science and Combustion. En *An Introduction to Fire Dynamics* (pp. 1-34). *John Wiley y Sons, Ltd.* <https://doi.org/10.1002/9781119975465.ch1>
- Romoleroux, K., Cárate-Tandalla, D., Erler, R., y Navarrete, H. (2019). *Gynoxys acostae* En: *Plantas vasculares de los bosques de Polylepis en los páramos de Oyacachi*.

<https://edipuce.edu.ec/wp-content/uploads/2021/06/Plantas-vasculares-de-los-bosques-de-polylepis.pdf>

- Rosales-Solórzano, E.R. (2019). Ecuaciones de niveles de humedad relacionada a la densidad básica de la madera de especies forestales tropicales en Madre de Dios, Perú. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 17(40). <https://doi.org/10.18845/rfmk.v17i40.4905>
- Ruiz-González, A. D. (2018). Introducción al comportamiento del fuego. *Recursos Rurais*, 5, 15-19. <https://doi.org/10.15304/rr.id5300>
- Sandberg, D. V., Ottmar, R. D., y Cushon, G. H. (2001). Characterizing fuels in the 21st century. *International Journal of Wildland Fire*, 10(3 and 4), 381–387. <https://doi:10.1071/WF01036>
- Sarango-Cobos, J., Muñoz, J., Muñoz, L., y Aguirre, Z. (2019). Impacto ecológico de un incendio forestal en la flora del páramo antrópico del Parque Universitario “Francisco Vivar Castro”, Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), Art. 2
- Sevinc, V., Kucuk, O. y Goltas, M. (2019). A Bayesian network model for prediction and analysis of possible forest fire causes. *Forest Ecology and Management*, 457, 117723. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117723>
- Soto, M. C. y Salinas, R. (2011). Estudio del comportamiento del fuego mediante simulación de incendios forestales en Chile | *Geographicalia*. <https://papiro.unizar.es/ojs/index.php/geographicalia/article/view/818>
- Villa, J. L. M., Rodríguez-Trejo, D. A., Rosa, M. A. B. la, y Yam, G. A. R. (2018). Propiedades físicas y dinámica de los combustibles forestales en un bosque de encino. *Madera y Bosques*, 24(2), Article 2. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421467>
- Villar-Hernández, B. D. J., Pérez-Elizalde, S., Rodríguez-Trejo, D. A. y Pérez-Rodríguez, P. (2022). Análisis espacio temporal de la ocurrencia de incendios forestales en el estado mexicano de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(74), 120-144. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1274>

- Villers-Ruiz, M. (2006). *Incendios forestales*. Ciencias 81, enero-marzo, 60-66.
<https://www.revistacienciasunam.com/pt/54-revistas/revista-ciencias-81/350-incendios-forestales.html>
- Vitto, L., y Petenatti, E. (2009). *Asteráceas de importancia económica y ambiental. Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial*. [https://Herbario y Jardín Botánico UNSL, Cátedras Farmacobotánica y Famacognosia, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis, Ej. De los Andes 950, D5700HHW San Luis, Argentina](https://Herbario%20y%20Jard%C3%ADn%20Bot%C3%A1nico%20UNSL,%20C%C3%A1tedras%20Farmacobot%C3%A1nica%20y%20Famacognosia,%20Facultad%20de%20Qu%C3%ADmica,%20Bioqu%C3%ADmica%20y%20Farmacia,%20Universidad%20Nacional%20de%20San%20Luis,%20Ej.%20De%20los%20Andes%20950,%20D5700HHW%20San%20Luis,%20Argentina).
- Weise, D. R. (1994). Wind and slope effects on laboratory-scale fire behavior [Data set]. *Forest Service Research Data Archive*. <https://doi.org/10.2737/RDS-2017-0018>

11. Anexos

Anexo 1. Análisis estadístico descriptivo e inferencial realizado para la variable contenido de humedad.

```
## Análisis estadístico para Contenido de Humedad
## Igual procedimiento se realizó para las variables características de inflamabilidad.

# Directorio de trabajo
setwd("C:/Users/LENOVO/Desktop/TESIS/bases de datos")

# Conjunto de datos
datos <- read.csv("Contenido de humedad_R.csv", header= TRUE, dec=".", sep=";")
head(datos)

## LM_CH DS_CH PA_CH BL_CH GN_CH
## 1 67.93 74.44 64.51 62.90 64.50
## 2 66.47 71.78 66.85 60.92 63.10
## 3 70.28 72.81 65.65 61.80 65.82
## 4 70.44 75.51 66.09 59.24 66.59
## 5 69.24 73.66 67.76 59.50 65.43
## 6 68.97 73.79 67.58 62.27 66.29

# Resumen de estadísticos descriptivos
summary(datos)

## LM_CH DS_CH PA_CH BL_CH
## Min. :66.47 Min. :71.07 Min. :63.08 Min. :59.05
## 1st Qu.:68.22 1st Qu.:72.77 1st Qu.:65.87 1st Qu.:59.66
## Median :68.97 Median :73.19 Median :66.85 Median :60.36
## Mean :68.89 Mean :73.22 Mean :66.37 Mean :60.61
## 3rd Qu.:69.68 3rd Qu.:73.72 3rd Qu.:67.63 3rd Qu.:61.36
## Max. :70.44 Max. :75.51 Max. :67.76 Max. :62.90
## GN_CH
## Min. :62.55
## 1st Qu.:64.16
## Median :65.43
## Mean :64.97
## 3rd Qu.:66.02
## Max. :66.59

# Pruebas de normalidad Shapiro.test
# Para el caso de las características de inflamabilidad presentaron datos no normales y
varianzas no homogéneas. Por esa razón solo se presenta para la variable Contenido de
Humedad.

Norm_LM <- shapiro.test(datos$LM_CH) # Shapiro.test
Norm_LM
## Shapiro-Wilk normality test
```



```

## data: datos$LM_CH
## W = 0.95498, p-value = 0.708

Norm_DS <- shapiro.test(datos$DS_CH)
Norm_DS
## Shapiro-Wilk normality test
## data: datos$DS_CH
## W = 0.97872, p-value = 0.9586

Norm_PA <- shapiro.test(datos$PA_CH)
Norm_PA
## Shapiro-Wilk normality test
## data: datos$PA_CH
## W = 0.8668, p-value = 0.07052

Norm_BL <- shapiro.test(datos$BL_CH)
Norm_BL
## Shapiro-Wilk normality test
## data: datos$BL_CH
## W = 0.9419, p-value = 0.5431

Norm_GN <- shapiro.test(datos$GN_CH)
Norm_GN
## Shapiro-Wilk normality test
## data: datos$GN_CH
## W = 0.92836, p-value = 0.3945

# Prueba de homocedasticidad de varianzas por medio de la Prueba estadística de Levene

library(car) # cargamos el paquete car

# Cargamos los datos con dos campos (Variable agrupamiento, datos)
datos2Levene <- read.csv("CH_Levene.csv", header= TRUE, dec=",", sep=";")

# Convertimos en factor la variable de agrupamiento
ESPECIE <- as.factor(datos2Levene$ESPECIE)

# test de Levene
leveneTest(datos2Levene$CH, ESPECIE) # leveneTest(var numero, 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  0.1575 0.9587
##      50

# Cálculo de ANOVA
anova <- aov(CH~ESPECIE, data=datos2Levene)
summary(anova)

##           Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
## ESPECIE    4  960.7   240.2   141.6 <2e-16 ***
## Residuals  50   84.8    1.7

```

```

## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

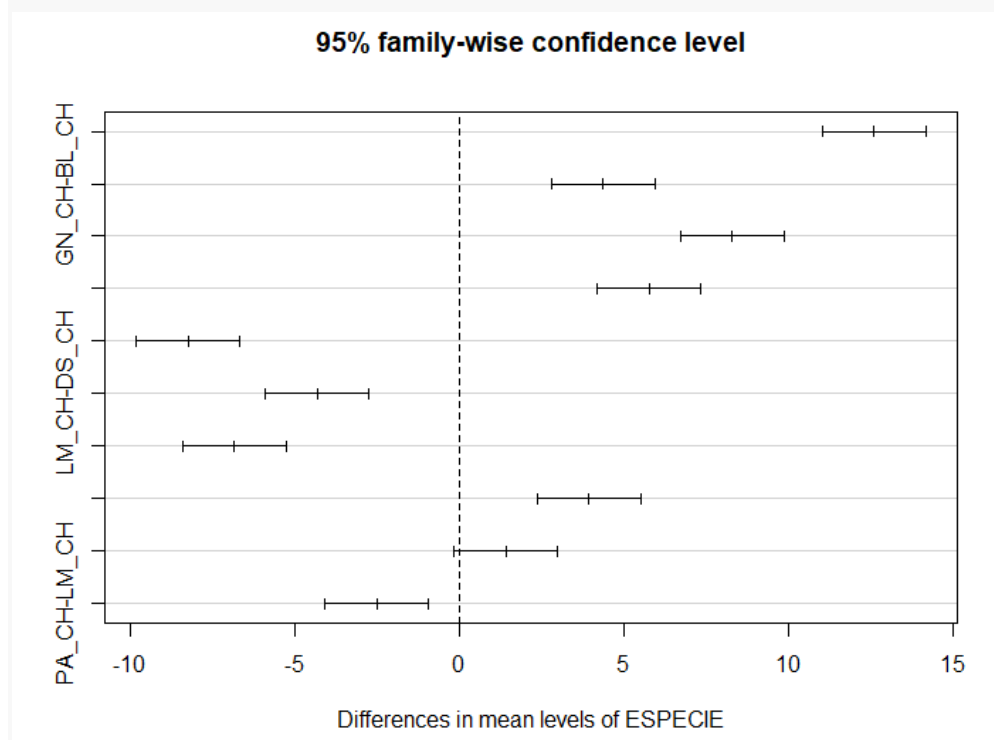
#prueba post-hoc que grupo es diferente

TukeyHSD(anova)

## Tukey multiple comparisons of means
## 95% family-wise confidence level
##
## Fit: aov(formula = CH ~ ESPECIE, data = datos2Levene)
##
## $ESPECIE
##      diff      lwr      upr  p adj
## DS_CH-BL_CH 12.602032 11.0303757 14.1736886 0.0000000
## GN_CH-BL_CH  4.357197  2.7855410  5.9288538 0.0000000
## LM_CH-BL_CH  8.277368  6.7057118  9.8490247 0.0000000
## PA_CH-BL_CH  5.754562  4.1829058  7.3262187 0.0000000
## GN_CH-DS_CH -8.244835 -9.8164912 -6.6731784 0.0000000
## LM_CH-DS_CH -4.324664 -5.8963203 -2.7530075 0.0000000
## PA_CH-DS_CH -6.847470 -8.4191263 -5.2758135 0.0000000
## LM_CH-GN_CH  3.920171  2.3485145  5.4918273 0.0000000
## PA_CH-GN_CH  1.397365 -0.1742915  2.9690213 0.1032597
## PA_CH-LM_CH -2.522806 -4.0944624 -0.9511496 0.0003294

plot(TukeyHSD(anova)) # "para graficar la prueba de tukey"

```



Anexo 2. Estadísticas descriptivas calculadas para las características de la inflamabilidad de las cinco especies del matorral andino del PUFVC.

Especie	Estadísticos	Tiempo de ignición inicial (s)	Sostenibilidad (s)	Altura de la llama (cm)	Combustibilidad
<i>Lepechinia mutica</i> Benth.	Media	14,95	50,55	37,95	0,07
	Error típico	5,48	4,59	3,31	0,00
	Mediana	6,00	52,50	42,00	0,06
	Moda	4,00	45,00	42,00	#N/A
	Desviación estándar	24,54	20,53	14,80	0,02
	Varianza de la muestra	602,57	421,31	219,00	0,00
	Curtosis	13,48	2,28	3,14	-0,82
	Coefficiente de asimetría	3,47	-1,40	-1,71	-0,04
	Rango	111,00	78,00	58,00	0,07
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,03
	Máximo	111,00	78,00	58,00	0,10
	Suma	299,00	1011,00	759,00	1,34
	Cuenta	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Dendrophorbium scytophyllum</i> Kunth	Media	6,20	26,35	42,05	0,16
	Error típico	0,61	3,69	2,48	0,03
	Mediana	7,00	25,00	43,00	0,11
	Moda	7,00	5,00	32,00	#N/A
	Desviación estándar	2,73	16,49	11,10	0,14
	Varianza de la muestra	7,43	272,03	123,10	0,02
	Curtosis	-0,78	0,76	-1,02	1,83
	Coefficiente de asimetría	-0,08	0,86	-0,01	1,61
	Rango	9,00	63,00	37,00	0,51
	Mínimo	2,00	5,00	25,00	0,03
	Máximo	11,00	68,00	62,00	0,53
	Suma	124,00	527,00	841,00	3,11
	Cuenta	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Pappobolus acuminatus</i> S.F.Blake	Media	7,20	8,85	6,35	0,04
	Error típico	3,91	3,64	2,33	0,01
	Mediana	0,00	0,00	0,00	0,02
	Moda	0,00	0,00	0,00	#N/A
	Desviación estándar	17,47	16,29	10,44	0,06

	Varianza de la muestra	305,22	265,50	108,98	0,00
	Curtosis	13,92	1,29	0,36	6,22
	Coefficiente de asimetría	3,56	1,67	1,31	2,56
	Rango	76,00	46,00	32,00	0,25
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Máximo	76,00	46,00	32,00	0,25
	Suma	144,00	177,00	127,00	0,88
	Cuenta	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Baccharis latifolia</i> Ruiz y Pav.	Media	8,20	47,60	48,40	0,07
	Error típico	1,54	4,83	4,82	0,01
	Mediana	5,50	48,00	52,50	0,07
	Moda	5,00	44,00	52,00	#N/A
	Desviación estándar	6,87	21,61	21,57	0,04
	Varianza de la muestra	47,22	466,88	465,31	0,00
	Curtosis	1,31	0,74	0,68	5,36
	Coefficiente de asimetría	1,29	-0,88	-1,10	1,61
	Rango	26,00	80,00	74,00	0,18
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,01
	Máximo	26,00	80,00	74,00	0,19
	Suma	164,00	952,00	968,00	1,40
	Cuenta	20,00	20,00	20,00	20,00
<i>Gynoxyx nitida</i> Muschl.	Media	16,10	59,90	19,30	0,06
	Error típico	2,34	4,93	2,19	0,01
	Mediana	12,50	55,00	17,50	0,05
	Moda	13,00	42,00	18,00	#N/A
	Desviación estándar	10,46	22,05	9,81	0,03
	Varianza de la muestra	109,36	486,41	96,22	0,00
	Curtosis	0,62	-0,19	4,47	0,11
	Coefficiente de asimetría	1,37	0,57	1,88	0,53
	Rango	33,00	86,00	44,00	0,11
	Mínimo	6,00	21,00	6,00	0,01
	Máximo	39,00	107,00	50,00	0,12
	Suma	322,00	1198,00	386,00	1,10
	Cuenta	20,00	20,00	20,00	20,00

Anexo 3. Análisis inferencial mediante la comparación de medias de las características de inflamabilidad de las especies representativas del matorral andino en el PUFVC.

Comparación de medias para todas las especies mediante la

Prueba no paramétrica Kruskal Wallis

Definir un directorio de trabajo

```
setwd("C:/Users/LENOVO/Desktop/TESIS/bases de datos/Analisis")
```

#Cargar el conjunto de datos

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

Cargar los paquetes

```
library(tidyverse)
```

```
library(ggpubr)
```

```
library(rstatix)
```

```
library(ggplot2)
```

Cálculo de la prueba no paramétrica Kruskal Wallis

Ejemplo para el tiempo de ignición. Este procedimiento se repitió para el resto de

características

TI: tiempo de ignición.

```
kruskal.test(TI ~ Tratamiento, data = datos)
```

Kruskal-Wallis rank sum test

data: TI by Tratamiento

Kruskal-Wallis chi-squared = 21.936, df = 4, p-value = 0.0002064

Ejecución de la prueba post hoc para saber que grupo es diferente. Esta prueba se aplicó

solo cuando la prueba Kruskal - Wallis mostró diferencias significativas

Ejemplo para el tiempo de ignición. Se repitió el mismo procedimiento procedimiento para

el resto de # características

```
pairwise.wilcox.test(datos$TI, datos$Tratamiento, p.adjust.method = "bonf",
```

```
paired = F)
```

Pairwise comparisons using Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: datos\$TI and datos\$Tratamiento

	T0	T1	T2	T3
T1	1.00000	-	-	-
T2	1.00000	1.00000	-	-
T3	0.21149	0.00019	0.00082	-
T4	1.00000	1.00000	1.00000	0.00481

Anexo 4. Certificado de traducción del resumen

Loja 07 de agosto de 2023

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Julio Edgar Coronel Puchaicela con numero de cedula 1102502653 Licenciado en ciencias de la educación mención idioma inglés, con registro de la SENESCYT numero: 1008-05-591953

CERTIFICA:

Haber realizado la traducción textual correspondiente al resumen del trabajo de titulación denominado: Influencia de factores ambientales sobre la inflamabilidad de especies vegetales representativas del matorral andino, de autoría de la Srta. Andrea Gabriela Coronel Armijos, con numero de cedula 1105890592

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente


Mg., Julio Edgar Coronel Puchaicela

Cedula: 1102502653