



Universidad
Nacional
de Loja

1859

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Forestal

**Caracterización de la carga de combustible forestal muerto y su
inflamabilidad en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad
Nacional de Loja**

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

AUTORA:

Melanny Arianys Gaona Delgado

DIRECTORA:

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2025

Certificación

Loja, 31 de enero de 2025

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Integración Curricular: **Caracterización de la carga de combustible forestal muerto y su inflamabilidad en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja** de autoría de la estudiante **Melanny Arianys Gaona Delgado**, previa 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 para la respectiva sustentación y defensa.



Escaneado electrónicamente por:
JOHANA CRISTINA
MUÑOZ CHAMBA

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc.

DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Melanny Arianys Gaona Delgado** declaro ser autora del presente trabajo de integración curricular o de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí del trabajo de integración curricular o de titulación en el Repositorio Digital Institucional Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de Identidad: 1719448019

Fecha: 14 de marzo de 2025

Correo electrónico: melanny.gaona@unl.edu.ec

Teléfono/Celular: 0969813586

Carta de autorización por parte de la autora para la consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica de texto completo, del trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Melanny Arianys Gaona Delgado** declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular titulado **Caracterización de la carga de combustible forestal muerto y su inflamabilidad en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja** como requisito para optar el título de **Ingeniera Forestal** autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional. en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad, La Universidad Nacional de Loja. no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización. en la ciudad de Loja, a los catorce días de del dos mil veinticinco.

Firma:



Autora: Melanny Arianys Gaona Delgado

Cédula: 1719448019

Dirección: Barrio Daniel Álvarez

Correo electrónico: melanny.gaona@unl.edu.ec

Teléfono/Celular: 0969813586

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de integración curricular: Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc.

Dedicatoria

Dedico todo este esfuerzo a mi madre, Yadira Delgado Campoverde, por apoyarme en cada paso que di, por estar siempre conmigo y enseñarme que cada esfuerzo tiene su recompensa. Gracias por recordarme de lo que soy capaz, este logro te lo dedico a ti.

A mis abuelos, Humberto Delgado y Lucrecia Campoverde, por todo el apoyo que recibí de ustedes y su amor incondicional. Su ejemplo de esfuerzo y sabiduría ha sido una inspiración para mí y cada uno de sus consejos será un legado que llevaré conmigo.

Quiero expresar mi gratitud a mi hermana Krisley Gaona, a mi tía Alicia Campoverde, a mis primos Dolores Vivanco, Sebastián Vivanco y Pablo Campoverde, y todos aquellos que han estado siempre conmigo, por cada palabra o gesto de apoyo que he recibido de ustedes, gracias por estar conmigo celebrando siempre mis triunfos y alegrías, pero sobre todo por el cariño y sacrificio que me han brindado.

A todos los que me han apoyado en este viaje: esto solo es el comienzo, y me siento bendecida por las personas que han estado en mi vida, dándome todo su amor, sabiduría y apoyo; sobre todo, en cada paso que he dado, sin su ayuda nada de esto hubiera sido posible.

.....

Melanny Arianys Gaona Delgado

Agradecimiento

Quiero expresar mi respeto y gratitud a la Universidad Nacional de Loja, que ha sido fundamental en mi formación académica y personal. A los docentes de la carrera de Ingeniería Forestal, pues a lo largo de mi trayectoria, he tenido la oportunidad de crecer intelectualmente, desarrollar nuevas habilidades y destrezas que han marcado mi camino profesional. Cada desafío superado forma parte de mi desarrollo, y siempre llevare conmigo el conocimiento, los valores, y recuerdos que esta carrera me han brindado.

Agradezco a la Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba Mg Sc, por el tiempo y la dedicación que ha invertido, por motivarme a seguir adelante incluso en los momentos más desafiantes. Gracias por su confianza puesta en mí, sabiendo que, este logro no hubiera sido posible sin su ayuda, siempre llevare conmigo las enseñanzas y lecciones que he tenido bajo su dirección.

Agradezco a Richard Cueva, por su predisposición para que este trabajo culmine con éxito, por enseñarme a no rendirme, por ser un pilar fundamental en este proceso; sin ti, nada de esto hubiera sido posible. Mil gracias.

Melanny Arianys Gaona Delgado

Índice de contenidos

Portada...	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tabla	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
4. Marco Teórico	6
4.1. Plantaciones forestales y su importancia	6
4.1.1. Incendios forestales y sus efectos en las plantaciones forestales	6
4.1.2. Funciones ecológicas en plantaciones forestales	7
4.2. Descripción dendrológica de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltdl. & Cham.	7
4.3. Régimen del fuego	8
4.3.1. Ecosistemas dependientes al fuego	8
4.3.2. Ecosistemas independientes al fuego	8
4.3.3. Ecosistemas sensibles al fuego	9
4.4. Comportamiento del fuego	9
4.5. Incendios forestales	9
4.6. Tipos de incendios forestales	9
4.6.1. Incendios superficiales	9
4.6.2. Incendios subterráneos	9
4.6.3. Incendios de copa o aéreos	10
4.7. Impactos de los incendios forestales	10
4.7.1. Impactos en el suelo	10
4.7.2. Impactos en la vegetación	10

4.7.3.	Impactos en la fauna	11
4.8.	Triángulo del Fuego.....	11
4.9.	Combustibles forestales	12
4.9.1.	Reacciones de combustibles.....	12
4.9.2.	Influencia de factores ambientales en los combustibles forestales muertos	13
4.9.3.	Casos de estudios para la evaluación de la carga del combustible forestal muerto	14
4.10.	Inflamabilidad.....	15
4.10.1.	Características de la inflamabilidad.....	15
4.10.2.	Casos de estudios de inflamabilidad para la evaluación de la carga del combustible forestal muerto.....	16
5.	Metodología.....	18
5.1.	Área de estudio	18
5.2.	Metodología para caracterizar la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara.....	18
5.2.1.	Establecimiento de transectos.....	19
5.2.2.	Caracterización del sotobosque	19
5.2.3.	Caracterización de la carga de combustible forestal muerto	20
5.2.4.	Cuantificación de la carga de combustible forestal muerto.....	20
5.2.5.	Contenido de humedad del combustible forestal muerto	21
5.2.6.	Estimación del combustible forestal muerto.....	22
5.3.	Metodología para determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio	22
5.3.1.	Agrupación del combustible forestal muerto	22
5.3.2.	Parámetros de inflamabilidad.....	23
5.3.3.	Índice y categoría de inflamabilidad.....	24
5.3.4.	Análisis de información.....	25
6.	Resultados	26
6.1.	Caracterización de la carga del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara	26
6.1.1.	Composición florística bajo la plantación de <i>Pinus patula</i> Schiede ex Schltl & Cham. 26	
6.1.2.	Contenido de humedad.....	27
6.1.3.	Caracterización del combustible forestal muerto de la plantación forestal.....	27
6.2.	Inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio	28
6.2.1.	Evaluación de parámetros de inflamabilidad en combustibles forestales muertos	28
6.2.2.	Índice y categorías de inflamabilidad	32
7.	Discusión	34

7.1. Cantidad del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara de la Universidad Nacional de Loja	34
7.2. Inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio	35
8. Conclusiones.....	38
9. Recomendaciones.....	39
10. Bibliografía.....	40
11. Anexos	50

Índice de tabla

Tabla 1. Tamaños y pesos de combustibles forestales muertos (Brown, 1982).	20
Tabla 2. Hoja de campo para el levantamiento de información del combustible forestal muerto	21
Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del combustible forestal muerto (Díaz, 2012).	22
Tabla 4. Parámetros para evaluar la inflamabilidad del combustible forestal muerto (Hachmi et al., 2011).	23
Tabla 5. Valores y categoría de inflamabilidad	24
Tabla 6. Composición florística de la vegetación presente en la plantación de Pinus patula ...	26
Tabla 7. Carga del combustible forestal muerto en plantaciones de Pinus patula en la Quinta Experimental Punzara.....	28
Tabla 8. Estadísticas descriptivas de las características de la inflamabilidad de los combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara.....	29
Tabla 9. Índices y categorías de inflamabilidad de los combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara	32

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de los transectos en la Quinta Experimental Punzara	18
Figura 2. Diseño de los transectos temporales con la línea de intersección en las plantaciones forestales de la Quinta Experimental Punzara	19
Figura 3. Procedimiento para identificación de muestras vegetales	20
Figura 4. Secado de las muestras del combustible forestal muerto (hojarasca y ramas).....	21
Figura 5. Pruebas de inflamabilidad bajo condiciones de laboratorio	24
Figura 6. Contenido de humedad del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales.....	27
Figura 7. Contenido de combustible forestal muerto en la Quinta Experimental Punzara.....	28
Figura 8. Distribución de valores del tiempo de ignición por tipo de combustible forestal muerto.....	30
Figura 9. Distribución de valores de sostenibilidad por tipo de combustible forestal muerto.	31
Figura 10. Distribución de valores de combustibilidad por tipo de combustible forestal muerto.....	31
Figura 11. Distribución de valores de altura de la llama por tipo de combustible forestal muerto.....	32
Figura 12. Análisis de conglomerados por medio de un dendrograma para la inflamabilidad de combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara	33

Índice de anexos

Anexo 1. Cuantificación del combustible.....	50
Anexo 2. Toma de datos en su periodo de secado.....	50
Anexo 3. Pruebas de inflamabilidad en combustibles forestales muertos.....	50
Anexo 4. Análisis no paramétrico de Kruskal Wallis de los parámetros de inflamabilidad....	51

1. Título

Caracterización de la carga del combustible forestal muerto y su inflamabilidad en la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja

2. Resumen

Los incendios forestales, como perturbaciones desempeñan un papel crucial en los ecosistemas puesto que pueden alterar la dinámica de sucesión, la biodiversidad y el ciclo de nutrientes. En este contexto, las plantaciones forestales son de vital importancia ya que generan beneficios económicos y productivos para comunidades locales e industrias maderables. Sin embargo, estas áreas cuando no tienen un manejo adecuado, se convierten en escenarios vulnerables debido a que son propensos en acumular grandes cantidades de combustibles vegetales, lo que puede incrementar el riesgo de incendios como también poner en peligro su función ecológica y económica. Por ello, es de vital importancia realizar estudios que determinen tanto la cantidad de carga de combustibles forestales, como sus niveles de inflamabilidad en plantaciones forestales, a fin de identificar los posibles riesgos asociados y prevenir afectaciones socio ambientales. Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar la carga de combustible forestal muerto en la Quinta Punzara, de la Universidad Nacional de Loja, y evaluar su inflamabilidad bajo condiciones controladas. Para lo cual, se instalaron 10 parcelas de 5×20 m y 2 subparcelas de 50×50 cm, en donde se estimó el contenido de humedad y se evaluó la composición florística del sotobosque. Para la caracterización de combustibles se realizó una intersección en cada parcela siguiendo la metodología de Brown para clasificar el tipo de material vegetal muerto, además se recolectaron muestras de ramas y hojarasca, para continuar con el secado en el Laboratorio de Fisiología Vegetal. En el análisis de inflamabilidad, se realizó el método de llama directa teniendo 15 repeticiones por cada combustible, tomando parámetros como: el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de llama, y el índice de inflamabilidad. *Pappobolus acuminatus* y *Viburnum triphyllum* fueron las especies que mayor número de individuos presentaron de las 64 registradas en el sotobosque de las plantaciones. La carga total de combustible forestal muerto fue de 33.16 Mg ha^{-1} , con los combustibles finos como la categoría predominante. La hojarasca presentó el mayor contenido de humedad (0.39), mientras que las pruebas de inflamabilidad revelaron un tiempo de ignición promedio de 43.38 s, una sostenibilidad de 112.3 s, una combustibilidad de 0.063 g/s y una altura de llama de 16.57 cm, resultados que clasifican al combustible forestal muerto como extremadamente inflamable. El estudio de los tipos de categorías de combustible forestal muerto y su inflamabilidad es de vital importancia para reducir los riesgos de incendios forestales en las plantaciones ya que categorías como la de ramas finas aportan mayor cantidad de combustible volviéndolo en un área susceptible a estas perturbaciones.

Palabras clave: Plantaciones forestales, Incendios, combustibles forestales muertos

Abstract

Wildfires are a critical disturbance in ecosystems, influencing successional dynamics, biodiversity, and nutrient cycling. Forest plantations play an important role in this context, providing economic and productive benefits for local communities and the timber industry. However, poorly managed plantations can become vulnerable to fire due to the accumulation of substantial plant fuels, endangering their ecological and economic functions. Therefore, studies that quantify forest fuel load and assess flammability in these plantations are essential for identifying potential risks and preventing adverse socio-environmental impacts. This study characterized the dead forest fuel load at Quinta Punzara, part of the National University of Loja, and evaluated its flammability under controlled conditions. Ten 5×20 m plots and two 50×50 cm subplots were established to estimate moisture content and assess the floristic composition of the understory. Fuel characterization involved conducting transects in each plot, following Brown's methodology to classify dead plant material. Branch and litter samples were collected and dried in the Plant Physiology Laboratory. Flammability analysis used the direct flame method, with 15 repetitions per fuel type, measuring ignition time, sustainability, combustibility, flame height, and calculating a flammability index. *Pappobolus acuminatus* and *Viburnum triphyllum* were the most abundant species among the 64 species identified in the plantation understory. The total dead forest fuel load was 33.16 Mg ha^{-1} , with fine fuels being the predominant component. Litter had the highest moisture content (0.39). Flammability tests yielded an average ignition time of 43.38 s, sustainability of 112.3 s, combustibility of 0.063 g/s, and flame height of 16.57 cm, classifying the dead forest fuel as highly flammable. Understanding the different categories of dead forest fuel and their flammability is crucial for reducing wildfire risks in plantations, especially since fine branches contribute significantly to the fuel load, making these areas susceptible to fire disturbances.

Keywords: Forest plantations, Fires, dead forest fuels

3. Introducción

Los incendios forestales son perturbaciones que ocasionan alteraciones en los ecosistemas forestales; además, intervienen de manera negativa en aspectos ecológicos, políticos, sociales y económicos (Flores-Garnica, 2021), produciendo cambios en la estructura y composición florística. Los incendios pueden ser de origen natural (Martínez y Rodríguez, 2008) y antrópico (Flores et al., 2010; Chávez-Duran et al., 2017), siendo el 95 % ocasionados por actividades pirománicas y quemas agrícolas (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2015).

Existen factores que influyen en la ocurrencia y comportamiento de los incendios forestales, como puede ser el tipo de combustible, variables ambientales y su factor de inicio (Santiago et al., 2019; Chávez-Duran et al., 2017); y pueden presentarse de forma aérea, superficial y subterránea (Villers-Ruiz, 2006). La cantidad de biomasa y necromasa influye en el aumento o disminución de un incendio forestal, en donde puede ser controlado si se analizan factores como la estación del año, tipo de ecosistema, manejo e intervención al sitio (Muñoz, 2001; Brandeis y Woodall, 2008; Cruz et al., 2018). Teniendo en cuenta la ocurrencia de incendios forestales, es importante realizar gestiones de control y manejo para reducirlos mediante la aplicación de distintas estrategias, tanto en bosques naturales como para plantaciones (Chávez et al., 2016).

En este contexto, las plantaciones forestales son áreas vulnerables y de alto riesgo para que un incendio forestal se propague, ya que cuentan con gran cantidad de material combustible presente en el suelo que no ha sido calculado. Las plantaciones forestales cumplen con un rol importante en el mantenimiento del equilibrio ecológico, ya que ayudan a combatir el cambio climático, capturando carbono, disminuyendo los efectos del CO₂ y generando rentabilidad económica a las comunidades locales e industrias maderables. Cabe destacar que, en la sierra ecuatoriana, se encuentran extensas áreas de plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham y *Eucalyptus sp.*, las cuales son apreciadas debido a su demanda en el mercado nacional e internacional (Peña-Fernández y Valenzuela-Palma, 2008).

En la provincia de Loja, existen áreas cubiertas por plantaciones forestales de especies exóticas como el pino y el eucalipto, las cuales en su mayoría no son manejadas, lo que las convierte en un foco potencial en el caso de presentarse un incendio forestal ya que contienen altas concentraciones de combustibles vegetales, aspecto que contribuye a que los incendios puedan ser de mayor intensidad y escala (Keating, 2007) para lo cual, se pueden considerar

como áreas susceptibles ante la ocurrencia de un incendio sobre todo porque se trata de plantaciones de especies exóticas que contienen ciertas sustancias en su anatomía que facilita la propagación del fuego (Peña-Fernández y Valenzuela-Palma, 2008; Figueroa et al., 2020).

La carga de combustibles forestales presente en las plantaciones forestales puede estar sujeta al deficiente manejo silvicultural, factores ambientales y distintas especies que crecen bajo las plantaciones (Aguirre et al., 2019). De manera general, la información sobre la carga de combustibles forestales muertos es limitada, se requiere evaluar y determinar variables como la cantidad, categorías de combustibles, la capacidad de inflamabilidad, etc.

La Universidad Nacional de Loja, cuenta con estaciones experimentales que son fundamentales para la ejecución de actividades prácticas en la formación de los estudiantes de las diferentes carreras de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, una de ellas corresponde a la Quinta Experimental Punzara, que cuenta con áreas ocupadas por plantaciones forestales de pino que no han sido manejadas y que se convierten en los escenarios para la determinación de la carga de combustible, por lo que la investigación busca responder a dos preguntas: ¿Cuál es la carga de combustible forestal muerto en las plantaciones forestales? y ¿Cuál es la inflamabilidad de la carga de combustible forestal en las plantaciones forestales?, con lo cual se pretende comprender el comportamiento de los incendios forestales, respecto a la carga de combustible forestal muerto y contribuir a la implementación de estrategias de conservación. ante lo cual se han planteado los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento del comportamiento del fuego a través del estudio de la carga de combustible forestal muerto en plantaciones forestales de la Quinta Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja.

Objetivos específicos

- Caracterizar la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara de la Universidad Nacional de Loja.
- Determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio.

4. Marco Teórico

4.1. Plantaciones forestales y su importancia

Las plantaciones forestales son establecidas de forma directa por medio de la dispersión de semillas o plantación de árboles, es decir que pueden implementar varias especies con la finalidad de promover distintos usos al espacio designado. Además, representan una alternativa económica para la obtención de biomasa de madera como también ayuda en procesos de forestación y reforestación (Carnus et al., 2006).

Las plantaciones forestales resultan ser una alternativa sostenible teniendo como objetivo la sostenibilidad a largo plazo, trae consigo beneficios con enfoques tanto industrial-comercial como de restauración, de los cuales se destaca la extracción de madera, obtención de pulpa, así como también se atribuye a la conservación del recurso hídrico. Además, que las condiciones del sitio están sujetas al clima, topografía, especies, rangos poblacionales, desastres naturales o intervención del ser humano; de manera que, la diversidad que representan las plantaciones puede cambiar dependiendo del ecosistema y del manejo que puede provocar la variabilidad genética (Carnus et al., 2006).

Se han incorporado programas como estrategias para aumentar la productividad incorporando semilleros para el mejoramiento genético y obtener ejemplares que puedan ofrecer productores primarios de calidad. sin necesidad de recurrir a bosques para extracción de recursos maderables y no maderables (FAO, 1998).

Las plantaciones forestales pueden estar conformadas por especies nativas las cuales cumplen con varios beneficios para la conservación de especies, como también aporta a la reducción de la degradación del suelo y permite resguardar nichos ecológicos (Kellison, 2002). No obstante, las especies exóticas pueden incluir ganancias en corto plazo debido a sus adaptaciones y rápida tasa de crecimiento. como también ayuda a la reducción de deforestación indiscriminadas (Kellison, 1999).

4.1.1. Incendios forestales y sus efectos en las plantaciones forestales

La presencia de incendios forestales en plantaciones forestales influye en las condiciones del sitio, de este modo la magnitud con la que se presentan en un ecosistema puede incrementar dependiendo de las condiciones del clima y en la acumulación de combustibles forestales creando una amenaza en el lugar afectado, lo que trae efectos en la parte económica como también comprometiendo a la seguridad de la ciudadanía. De este modo, existen antecedentes que la presencia de un incendio siempre se origina por un factor de inicio, en

donde varios de estos casos han surgido por la intervención del ser humano. mediante el cual se han realizado prácticas agrícolas de forma negligente o actividades piromaníacas (Peña-Fernández y Valenzuela-Palma, 2008).

En varias investigaciones radica la particularidad que tienen los incendios con plantaciones exóticas tales como el pino, el cual posee características altamente inflamables por ser resinoso y vulnerable a plagas, a su vez proliferan parte de la corteza eliminando su capacidad de resistencia (Pausas et al., 2017). Por otro lado, las plantaciones de eucalipto son conocidas por su cualidad relacionada con el contenido de celulosa para pasta, su rápido crecimiento lo vuelve propenso a quemarse sobre todo en sus tempranos estadios de crecimiento en fase de cultivos (Riesco, 2007).

Además, las plantaciones de pino y eucalipto son escenarios altamente vulnerables en la incidencia de los incendios esto se debe a sus características más visibles, es decir particularmente estas especies contienen en su estructura aceites, resinas y ceras las cuales vuelven a estas especies muy inflamables (Peña-Fernández y Valenzuela-Palma, 2008).

4.1.2. Funciones ecológicas en plantaciones forestales

Los procesos ecológicos que cumplen las plantaciones forestales tienen múltiples funciones, de modo que la versatilidad que presenta puede incidir en la fluctuación de nutrientes: nitrógeno, fósforo y potasio, mediante un proceso natural que radica en la descomposición de materia orgánica (Tian et al., 2024). Además, las plantaciones forestales son reservorios de carbono pues permite mitigar el cambio climático por medio del proceso de captura de CO₂, así mismo cumple la función del ciclo hidrológico, interceptando la lluvia permitiendo reducir la escorrentía superficial de modo que esta función evita la erosión del suelo, (Stephens & Wagner, 2007). Por otro lado, las plantaciones forestales permiten proporcionar hábitats de especies permitiendo una variedad en su composición dando así, una mejor estabilidad en el ecosistema (Tian et al., 2024).

4.2. Descripción dendrológica de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.

El pino es un árbol que puede alcanzar alturas de 10 hasta 25 metros, corteza de tono rojizo, y escamosa. Las hojas son agrupadas en 4 fascículos, con un largo de 20 cm, delgados y colgantes, tiene canales de resina donde pueden ubicarse internamente, las especies poseen yemas amarillas, largas y erguidas (Chuquín, 1990).

Tiene conos laterales de forma ovoide cónica, de 7 a 9 cm de largo, con forma curva, duros sésiles formando parte del tronco y ramas gruesas. Las semillas son de forma casi triangular, agudas con una tonalidad café, de tipo alada con 13 mm de largo (Gartland y Bohren, 2008).

4.3. Régimen del fuego

El régimen del fuego se compone por variables que influyen en el comportamiento del fuego tomando en cuenta que, si llegan a alterar el punto de inflexión, se altera el ecosistema perdiendo composición y hábitats (Ramos-Rodriguez, 2010).

Mckinney (2019) menciona que existen 5 variables las que condicionan al régimen del fuego, los cuales son: la frecuencia de incendios, de manera que está sujeto a la cantidad de incendios por unidad de un espacio geográfico; la gravedad del incendio, indica el cambio que ocasiona un incendio en un ecosistema en base a la mortalidad de árboles dentro de un sector, tomando una escala entre el daño desde alta a baja, además parámetros como la extensión, estacionalidad, así como también la influencia que tienen las variables atmosféricas frente a los incendios.

4.3.1. Ecosistemas dependientes al fuego

Los ecosistemas dependientes al fuego son escenarios donde la relación que tienen las especies del sitio con el fuego es beneficiosa, además que necesitan constantemente incendios para preservar la estructura ecológica del sitio. De este modo, permite la dispersión de semillas provocando una respuesta favorable por parte de la vegetación (López, 2012).

En este escenario donde la participación del fuego es sustancial. Los ejemplares han desarrollado características físicas más visibles donde se puede diferenciar la corteza más gruesa, conos seróticos, crecimiento inicial cespitoso, de manera que ayuda a la especie a desarrollarse (Nájera, 2013).

4.3.2. Ecosistemas independientes al fuego

En ecosistemas donde la vegetación es muy húmeda y las condiciones del sitio son ideales para ambientes fríos, la presencia del fuego es mínima ya que no cumple con las cualidades que necesita para que el incendio se propague, además que en estos ecosistemas no dependen del fuego para cumplir con las funciones ecológicas (Ramos-Rodríguez, 2010).

En casos particulares donde los cambios son significativos en el ecosistema debido a factores biológicos puede deberse por la presencia de especies invasoras rastreras o alteraciones

en el cambio climático, el fuego puede consumir parte de la vegetación volviéndose una amenaza en el sitio (Myers, 2006).

4.3.3. Ecosistemas sensibles al fuego

La vegetación no posee propiedades inflamables debido a la poca resistencia que tienen frente a los incendios forestales, además son propensos a ser dañados por la perturbación de modo que, ha implicado en la vegetación adaptarse para sobrevivir y recuperarse ante esta afección. Los ecosistemas sensibles al fuego suelen presentarse en bosques de coníferas donde las características de las especies suelen tener más pérdidas por la intensidad del fuego (Kreider et al., 2023)

4.4. Comportamiento del fuego

El comportamiento del fuego se puede presentar de distinta forma debido a que esta perturbación está sujeta a las condiciones del lugar, como a las pendientes, la forma del relieve y la velocidad del viento de modo que influye en la intensidad de un incendio y puede variar de acuerdo al sitio (Castellnou et al., 2009). Existen factores que ayudan en la propagación del incendio tales como la potencia de la llama, la velocidad estimada por minuto y el factor de inicio, estos factores ayudan que el crecimiento de la llama sea mayor y se pueda propagar en un ecosistema (Santos et al., 2014).

4.5. Incendios forestales

Los incendios forestales son fuegos incapaces de controlar donde la presencia de este evento surge de manera natural o antrópica, tienen lugar en pastizales, matorral, bosques y puede ocasionar riesgo de cualquier magnitud si no logra apagarse y controlarlo (Pausas, 2012).

4.6. Tipos de incendios forestales

4.6.1. Incendios superficiales

Villers- Ruiz (2006), afirma que los incendios superficiales son aquellos que afectan gran parte topográfica de un área determinada, por lo que llega a afectar hierbas, hojarasca, microorganismos, ramas secas que se encuentran dispuestas en la superficie. Además, puede llegar a afectar tanto combustibles vivos como muertos (Pyne et al., 1996).

4.6.2. Incendios subterráneos

El fuego se encarga de afectar gran parte de la capa superficial ocasionando daños en la materia orgánica y parte de las raíces que posee la vegetación (Villers-Ruiz, 2006). Además,

estos tipos de incendios alcanzan a la vegetación lentamente. incluso cuando el combustible ha absorbido un alto contenido de humedad del sitio. Parte de estos incendios son causados a partir de los incendios superficiales sin disminuir la intensidad del incendio (Ruiz, 2009).

4.6.3. Incendios de copa o aéreos

Según se menciona que este tipo de incendios son los más perjudiciales por su magnitud. ya que consumen el árbol completamente afectando a las copas de árboles cercanos (Villers-Ruiz, 2006). Se producen por el calor inicial de la superficie, el cual continúa verticalmente por la sección de los árboles transmitiendo por convección y superando la energía necesaria para producir la inflamabilidad en combustibles finos aéreos. De otra manera, la continuidad vertical entre los diferentes combustibles incita a la propagación del fuego desde el suelo hasta las copas (Ruiz, 2009).

4.7. Impactos de los incendios forestales

Es conocido que los incendios forestales contribuyen a la deformación de un ecosistema, es decir provoca alteraciones comprometiendo las formas de vida que coexisten; sin embargo, los efectos ocasionados pueden alterar la dinámica de crecimiento de las especies, obteniendo efectos directos tanto para flora y fauna generando la extinción, pérdida de las especies e incluso estimulando a los daños que puedan repercutir en acciones indirectas como deterioro del suelo y contaminación de fuentes hídricas; es por esta razón que la presencia de incendios forestales está conformada por la intensidad del incendio, la recurrencia y la duración (Ulibarry, 2017; (Muñoz, 2000).

4.7.1. Impactos en el suelo

El suelo es un componente importante para el crecimiento de especies vegetales, además de poseer microorganismos que ayudan con los nutrientes y reguladores que mantienen la purificación de los cuerpos de agua; No obstante, la presencia de incendios forestales degrada al suelo dependiendo de la estructura que mantenga, provoca la erosión contrarrestando sus nutrientes, impide realizar cosechas después de la intensidad del incendio, además de que existen algunos cambios físicos y químicos donde se muestra el daño colateral del suelo, estos pueden ser el pH, estructura, textura, porosidad, materia orgánica etc., (Ulibarry, 2017).

4.7.2. Impactos en la vegetación

Es necesario mencionar que existe un incremento de incendios en la época de verano, y esto se debe a que el material vegetal de los ecosistemas al estar seco es mayoritariamente

vulnerable a la presencia de fuegos; por lo que al tener este fenómeno presente en un ecosistema llega a modificar la estructura, función y servicios ecosistémicos del sitio, a su vez un incendio puede estar comprometido con la intensidad y el grado de tolerancia que tenga la especie (Ulibarry, 2017).

4.7.3. Impactos en la fauna

La presencia de incendios es nociva para el componente fauna, puesto que puede llegar a afectar a los animales vertebrados e invertebrados, comprometiendo la dinámica de crecimiento; sin embargo, existen algunos elementos que pueden ayudar al momento de la propagación del incendio es decir algunos de estos factores son la velocidad del viento, la temperatura, humedad, la carga del material vegetal, etc. Todos estos factores pueden provocar un ciclo (Ulibarry, 2017).

4.8. Triángulo del Fuego

Para que un ecosistema tenga la capacidad de inflamarse se necesita de tres elementos que conforman el triángulo del fuego, los factores que lo componen son: el oxígeno, el combustible a inflamar y la capacidad calorífica (Pyne, 1999). De este modo, la existencia de tres factores resulta un factor clave para provocar una reacción en el medio natural, siendo que el combustible vegetal pueda desprender calor y así mismo actuar ante el oxígeno de modo que tenga posibilidad de provocar un incendio (Pyne et al., 1996).

El oxígeno, también conocido como comburente cuya actuación frente al fuego es clave para la propagación del mismo, teniendo en cuenta que se encuentra presente en la atmósfera actuando como oxidante en la transformación de un cuerpo sólido. La relación que tiene el oxígeno con el combustible promueve su participación en una delgada capa conocida como llama de difusión, este actúa mediante el espacio generado que contiene elementos como hollín provocando una energía térmica de manera que el oxígeno es consumido por completo (Liñan, 2002).

El calor de un incendio se puede presentar por radiación utilizando la energía de los rayos, por conducción utilizando el cuerpo material y por convección la cual incorpora factores como la velocidad del viento, pavesas, pendiente. De manera que si alguno de estos factores externos reduce la posibilidad de que se propague un incendio (Santos et al., 2014).

4.9. Combustibles forestales

Es el material vegetal que se encuentra presente en cualquier ecosistema y se clasifica como vivo o muerto, teniendo en cuenta que el combustible tiene la capacidad de retener humedad y reaccionar ante un exceso de energía calorífica. Así mismo, la ubicación de los combustibles se da en un proceso natural respecto a la caída de un árbol o a su vez un ecosistema posee gran cantidad de biomasa por el tipo de vegetación y el escaso manejo del lugar. Los combustibles se clasifican en base a su peso, tamaño, estado vital, ubicación, (García et al., 2012).

Los combustibles forestales muertos se clasifican en base al tamaño y peso, influyendo en el diámetro, el tiempo que tarda un combustible en estabilizarse con el ambiente, de este modo se implementan ecuaciones integrales donde se evalúa la superficie que permanece el combustible, es decir se realizan estimaciones por medio de la hojarasca, la vegetación herbácea, arbustiva y árboles de menor alcance, material vegetal muerto, etc. (Pyne et al., 1996).

4.9.1. Reacciones de combustibles

4.9.1.1. Combustión latente

La combustión latente es aquella reacción donde el combustible leñoso se expone a una fuente de calor, de manera que la energía se propaga de forma interna del combustible sin tener incidencia al fuego de forma externa (Guillermo et al., 2002).

- **Oxidación del combustible:** todo combustible que entra en contacto con el oxígeno y el calor a elevadas temperaturas, produce elementos carbonizados (Guillermo et al., 2002).
- **Oxidación de los restos carbonizados:** en este proceso se produce cenizas al entrar en contacto a una fuente de calor máxima, este proceso funciona como fuente dominante de calor, sin embargo, debe mantener su estado en un grado de calor elevado sin incorporar cambios para obtener una fuente de calor en su máxima magnitud (Guillermo et al., 2002).

4.9.1.2. Pirólisis de combustión

Es la capacidad que tiene para descomponer la materia en elementos más pequeños, ya que la temperatura a la que está expuesta supera los 180 °C, a su vez compite con la oxidación del combustible sin consumirlo por completo (Guillermo et al., 2002).

4.9.2. Influencia de factores ambientales en los combustibles forestales muertos

Existen algunos factores ambientales que son determinantes en la cantidad de combustibles forestales muertos. Uno de ellos es la humedad de un combustible la cual está determinada en base al tiempo de retardo que a su vez está clasificado por su diámetro (Fosberg et al., 1981). Sin embargo, la madera tiene propiedades de absorber humedad del ambiente que rodea de modo que la cantidad interceptada debe estar estabilizada con las condiciones ambientales (Foglia, 2005). El viento cumple una función importante para la propagación de los incendios, pueden ser cálidos y fuertes, por lo que pueden variar en el tamaño de los incendios (Pausas, 2012). Además, se crea un proceso de secamiento y movimiento de masas de aire provocando disminuir la temperatura en el material vegetal presente del sitio, aumentando la disponibilidad del oxígeno para conservar la combustión (Guillermo y Giroz, 1975).

Otro factor es la precipitación, el cual es un factor indispensable para estudios que tienen relación con el ambiente, sobre todo porque altera el contenido de humedad que está presente en la capa superficial y en la vegetación (Soares y Batista, 2007; Domínguez, 2013; Soares et al., 2015; Michalijos et al., 2022).

Algunos factores como la topografía de un sitio, influye en el comportamiento de los incendios debido a las pendientes que posee y por tal imposibilita el accionar rápido para sofocar los incendios de manera que su propagación incrementa (Velasco-Herrera et al., 2013; Pompa-García y Sensibaugh, 2014; Huerta-Martínez, 2014).

La humedad de un combustible es otro factor que se debe considerar, pues se refiere a la cantidad de agua que posee un material. cuya característica higroscópica sirve como índice de ignición cuya característica permite evaluar la posible intensidad y severidad del fuego (Fernandes et al., 2012). Existen variables que influyen en la cantidad de humedad en un combustible, estas pueden ser el clima, fenología, fisiología, tamaño del combustible y exposición al sol (Ruiz, 2004; Wittich, 2011; Kunst et al., 2014).

La biomasa forestal también es un aspecto a considerar pues está representada por distintos tipos como herbáceas, hojarasca, necromasa y arbustos, donde las características del sitio influyen para que exista una acumulación de combustibles en el piso superficial (Hernández et al., 2016).

4.9.3. Casos de estudios para la evaluación de la carga del combustible forestal muerto

Chávez-Durán et al., (2017) expone un trabajo sobre la evaluación de combustibles forestales muertos en varias zonas del bosque de coníferas y encinos en el Estado de Jalisco mediante una base de datos del sitio Inventario Nacional Forestal y Suelos (INFyS) de manera que proporciona información de sitios estratégicos en considerables períodos de tiempo. La información que se recibe es a partir de conglomerados la cual sigue una distribución sistemática estratificada de forma especial incorporando los diferentes estratos de vegetación. De este modo, para realizar la cuantificación respecto a la carga de combustible forestal muerto siguen la metodología propuesta por Brown et al., (1974) mediante intersecciones planares, de manera que es aplicada a 4 transectos que posee cada conglomerado y las presencias de carácter vegetal leñoso que interceptan la línea media es registrada para realizar los cálculos pertinentes sobre la carga del combustible. Para ello, las fórmulas a implementar requieren datos para obtener la carga del vegetal leñoso caídos, además el diámetro del material interceptado, la frecuencia, el factor de corrección de la pendiente como también el largo del transecto. Además de requerir la carga de combustible de la hojarasca se necesita variables como profundidad y la densidad aparente, mediante el cual se obtuvo datos de 434 sitios estimados en el Estado de Jalisco, donde se presentan diferencias significativas en el bosque de coníferas por su alta cantidad de combustibles que en el bosque de encino esto debido a las condiciones climáticas y el factor de ignición pudiendo desencadenar incendios de gran magnitud.

Según Carmona et al., (2011) presenta las investigaciones sobre cargas de combustibles en ecosistemas forestales referente a su relación con las condiciones del sitio y el tipo de ecosistema son limitado, teniendo en cuenta esta visión se buscaba comparar las cargas de combustible forestal en dos tipos de ecosistemas distintos mediante el cual se centra en un bosque templado con seis estados distintos incluyendo selvas para lo cual, se situaron en distintos puntos áreas que sufrieron de incendios en los últimos tres años, considerando su fácil acceso en áreas prioritarias. Se instalaron tres transectos donde se orientaron por la parte media siguiendo el norte del lugar, estimaron pendiente y se muestreo 45 m, al final del transecto en un cuadrante de 30×30 cm, se determinó combustibles ligeros incluyendo la capa de hojarasca y fermentación.

Para la cuantificación de datos en campo, siguieron la metodología de Brown (1974), la cual radica en realizar un conteo para todo material vegetal que es interceptado por la línea intermedia y se cataloga en base a su tiempo de retardo. El diseño estadístico que

implementaron fue por bloques, de forma al azar buscando que el tipo de vegetación sea lo más parecido a lo que se estaba evaluando para evitar datos incongruentes. De este modo, para los combustibles forestales del bosque templado se menciona que la vegetación dominante es de pino y encino, la cual dispone de un 17.90 ton ha⁻¹ como valor total de la biomasa, mientras que en sitios que fueron afectados por incendios, la carga de combustible fue de 10 ton ha⁻¹ en cuanto a los combustibles ligeros obtuvieron un 8 ton ha⁻¹ aumentando en tiempo de retardo. De manera que, para bosques templados existió una mayor disponibilidad de 1.9 hasta 30 ton ha⁻¹ entre hojarasca y capa de fermentación. En síntesis, mientras más incidencia ocupó un incendio y a su vez su duración fue más extensa, la acumulación de la carga de combustibles incrementa lo cual potencia en la intensidad y severidad de los efectos, así como también variables como la densidad, la edad y la frecuencia aumenta la disponibilidad del material inflamable y con ello incrementa la magnitud frente a la ocurrencia de incendios.

4.10. Inflamabilidad

La inflamabilidad es una particularidad que poseen los combustibles forestales, debido a la capacidad que tiene el material vegetal al entrar en ignición. Resulta de vital importancia conocer tal singularidad de la inflamabilidad de las especies puesto que el 90 % de incendios son causados por actividades antrópicas resultando como una propagación no controlada, especialmente en bosque naturales y vegetales afectando a la estructura, funcionamiento y dinámica del ecosistema (Muñoz-Chamba et al., 2023).

4.10.1. Características de la inflamabilidad

En Ecuador, el conocimiento sobre la inflamabilidad de combustibles forestales es escaso debido a que los estudios se centran en especies exóticas o introducidas. Esta variable resulta contraproducente por la diversidad de especies biológicas que existen en el país. De otro modo, en Ecuador la mayoría de estudios se centra en el comportamiento del fuego mediante condiciones controladas para plantaciones de *Eucalyptus* sp, y *Tectona grandis* (Muñoz-Chamba, 2023).

La inflamabilidad de un combustible se caracteriza por la evaluación de distintas variables las cuales se toman en cuenta el tiempo de ignición, la sostenibilidad de la llama, combustibilidad y proporción del material vegetal consumido (Hachmi et al., 2011; Muñoz-Chamba, 2023). Referente a esto, se puede definir al tiempo de ignición como la capacidad que tiene un combustible para entrar en ignición, la sostenibilidad se contabiliza la duración de la llama para seguir quemando el combustible, por otro lado, la combustibilidad es la propiedad

del calor liberado cuya cantidad es necesaria para mantener la combustión y que pueda propagarse a combustibles cercanos y, por último, la proporción del material vegetal consumido en el cual se especifica que es la carga de combustible forestal que entra en combustión por su densidad (Neri et al., 2009).

4.10.2. Casos de estudios de inflamabilidad para la evaluación de la carga del combustible forestal muerto

Ecuador no dispone con un amplio repertorio de investigaciones realizadas en base a la inflamabilidad sobre combustibles forestales, sin embargo, algunos estudios que se han realizado en distintos ecosistemas tomando la importancia de varias especies diferentes al pino, se puede tomar como referencia los estudios realizados por Muñoz-Chamba et al. (2023).

En el estudio de Muñoz-Chamba et al. (2023) realizó una investigación sobre la inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino, para lo cual se realizó en el laboratorio bajo condiciones controladas, en donde el objetivo de la presente investigación es determinar la inflamabilidad de combustibles vivos para enriquecer el conocimiento sobre la conexión entre la dinámica del fuego y el comportamiento de los combustibles. De manera que, se seleccionaron cinco especies representativas del bosque andino del PUFVC, en donde se colectaron muestras de hojas y ramillas menor de 0,6 mm; de manera que, fueron sometidas en una estufa a 55 °C, hasta que presentaron estabilidad para luego conforme con las 250 muestras obtenidas se procedió a someter a llama directa con un peso inicial de 5g, en donde tuvo un total de 50 repeticiones respectivamente. Se evaluaron parámetros como el tiempo de ignición, sostenibilidad, combustibilidad y altura de la llama. En donde obtuvo un promedio entre 15 a 29 segundos en tiempos de ignición, 12 a 29 segundos en sostenibilidad, 0,049 a 0,093g en combustibilidad y alcanzaron alturas promedio de 14 a 18 cm. De acuerdo con estos parámetros, se pudo observar que las especies se catalogan entre poco inflamables hasta moderadamente inflamables.

Por otra parte, en el estudio de Neri et al. (2009) se realizó en la Reserva de la biosfera de Calakmul de México. Para lo cual el sitio de muestreo se realiza en una superficie de 723 185 ha en donde se procedió a realizar en zonas que fueron poco afectadas muestreo de 30 x 30 cm en cada tipo de selva y condición, colocando capas de combustible superficiales y subterráneos como herbáceas, hojarasca y capa de fermentación. Se procedió a retirar materiales leñosos (Brown et al. 1982), se limpió el suelo mineral para luego uniformizar las muestras utilizando el método de molienda. Posteriormente, se secaron las muestras en el laboratorio sometiéndose

a un horno de secado para proceder aplicar pruebas de inflamabilidad tomando el tiempo de ignición, duración de combustión, además que se realizaron pruebas de calor liberado y proporción de combustible quemado. Para lo cual se realizó diez repeticiones por cada tipo de ecosistema y estrato de combustible forestal a llama directa máxima. Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, en donde los combustibles subterráneos son valores más altos en tiempo de ignición como la capa de fermentación que demostraron tiempos de ignición altos, además que también liberan más energía, y tuvieron una proporcionalidad alta en el combustible quemado.

Jaime, (2017) realizó su investigación de Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares, Cuba. En donde busca evaluar la distribución anual de la inflamabilidad de especies vegetales de un ecosistema de pinar en donde define los meses en los cuales existe mayor porcentaje de vegetación proporcional a los altos grados de inflamabilidad. Para lo cual, recolectó muestras tomando en cuenta la ubicación, clima y estación seca. De manera que se procedió a recolectar las muestras entre los meses de noviembre y octubre con un año de diferencia, para lo cual se obtuvo las variables meteorológicas por medio de la micro estación de Kestrel 3500 donde se tomaron en consideración la temperatura y humedad relativa, además se realizó un proceso de limpieza en donde manualmente se retiraron ramas laterales y terminales. Para lo cual se recolectaron 70 g de los cuales 50 g fueron utilizados para las pruebas de inflamabilidad. Para determinar el contenido de humedad de las muestras se procedió a colocar en bolsas herméticas para ser trasladadas al laboratorio en donde fueron colocadas a una cámara de 5 °C, las mismas que serían utilizadas para pruebas de inflamabilidad. Se sometieron 50 muestras de $1 \pm 0,1$ g al foco calorífico de 500 W de potencia siguiendo a Elvira y Hernando (1989), se evaluó el tiempo de ignición, el porcentaje de ensayos positivos, duración de la llama y de la combustión, en donde se logró observar en la distribución anual de inflamabilidad de las ocho especies estudiadas que *B. crassifolia* y *C. hirta* son extremadamente inflamables durante todo el año, las especies *M. apetala* y *B. virgata* son casi inflamables durante todo el año, *Pinus caribaea*, *O. Wrightiana* y *A. erecta* son muy o extremadamente inflamables en todo el año y *R. correifolia* es moderadamente inflamable casi todo el año.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la plantación forestal de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham. con alrededor de 20 años de edad establecidas en la Quinta Experimental Punzara, perteneciente a la Universidad Nacional de Loja. El área de estudio tiene una extensión de 285.7 Km², con un rango altitudinal que oscila desde los 2 100 a 2 135 m s.n.m. (Figura 1). El lugar de estudio registra la temperatura mínima de 15.9 °C y una temperatura máxima de 22.6 °C; con una precipitación anual de 906.9 mm, y la humedad relativa mensual de 74.5 % (Quizhpe, 2013).

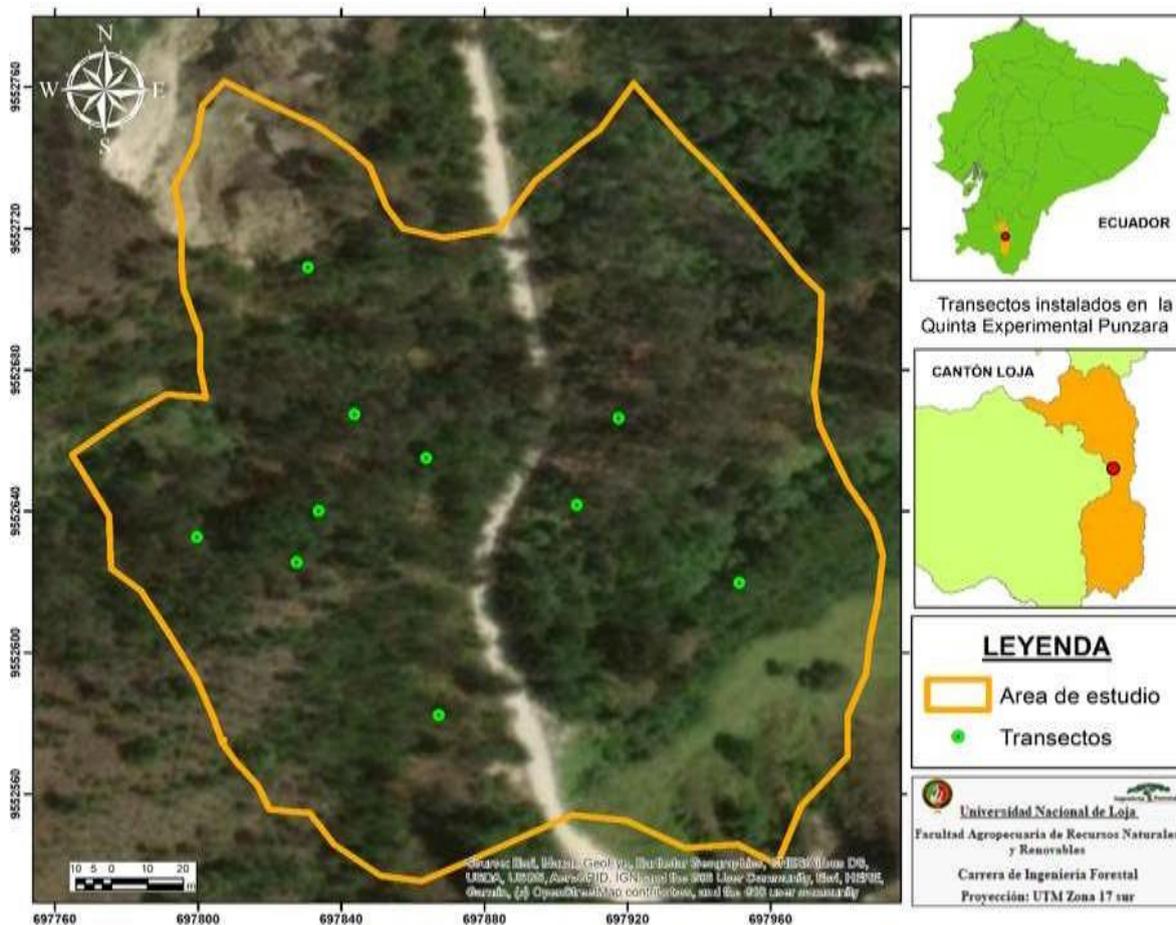


Figura 1. Mapa de ubicación de los transectos en la Quinta Experimental Punzara.

5.2. Metodología para caracterizar la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara

En las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham. se caracterizó la carga de combustible forestal muerto a partir de las siguientes actividades.

5.2.1. Establecimiento de transectos

En las plantaciones forestales se instalaron 10 transectos temporales de 5 x 20 m (1000 m²), considerando la pendiente y la accesibilidad del sitio de manera que se delimitó las líneas de intersección a una distancia de: 2, 4, 6 y 20 m según las categorías de los combustibles forestales muertos (Figura 2). La línea de intersección se colocó a la mitad de cada transecto a favor de la pendiente para lo cual se utilizó una piola que fue colocada a ras del suelo con el propósito de identificar y cuantificar el combustible forestal muerto que obstruye a la piola de intersección.

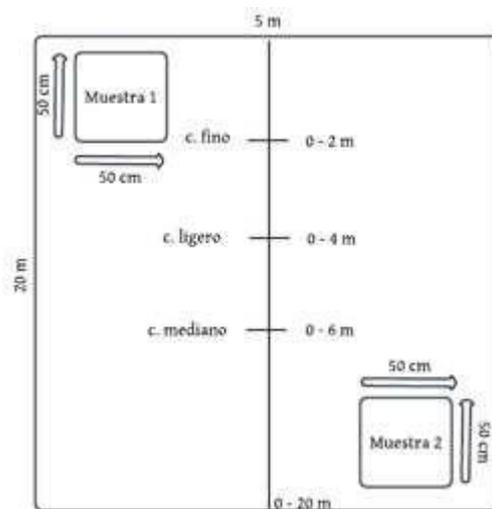


Figura 2. Diseño de los transectos temporales con la línea de intersección en las plantaciones forestales de la Quinta Experimental Punzara

5.2.2. Caracterización del sotobosque

En los transectos instalados se registró la vegetación bajo las plantaciones forestales de la Quinta Punzara con la finalidad de determinar la composición florística que se ha desarrollado en el sotobosque de la plantación y que podría contribuir con material combustible y su inflamabilidad.

Para la caracterización de la composición florística de las plantaciones de *Pinus patula*, se tomó como referencia todas las especies mayores a 1 metro de altura, de manera que se recolectó muestras botánicas que se identificaron en el Herbario Reinaldo Espinoza de la Universidad Nacional de Loja. Se realizó el proceso de prensado, secado, y de congelación (Figura 3) de manera que se logró identificar el nombre común de cada especie por transecto.



Figura 3. Procedimiento para identificación de muestras vegetales

5.2.3. Caracterización de la carga de combustible forestal muerto

Para el cálculo del combustible forestal muerto de las plantaciones de *Pinus patula*, se empleó la metodología de Brown (1982), considerando las condiciones específicas del área de estudio, como la accesibilidad del sitio y factores ambientales. Para el levantamiento de datos sobre el combustible forestal muerto, se registraron todas las ramas que interceptaron la línea intermedia del transecto (Tabla 1). Estas ramas secas fueron clasificadas según su frecuencia y diámetro, para determinar el tipo de combustible (Anexo 1). Además, se recolectaron muestras de ramas basándose en el tamaño y peso en cada transecto, lo que permitió realizar las pruebas de inflamabilidad.

Tabla 1. Tamaños y pesos de combustibles forestales muertos (Brown, 1982).

Diámetro (cm)	Tiempo de retardo (horas)	Tamaño y peso	Distancia (m)
< 0.6	1	Finos	0 - 2m
0.61 – 2.5	10	Ligeros	2 – 4 m
2.51- 7.5	100	Medianos	4 - 6 m
>7.5	1000	Pesados podridos	6 -20 m

5.2.4. Cuantificación de la carga de combustible forestal muerto

Para la recopilación de datos, se utilizó una hoja de campo que permitió registrar información sobre el diámetro por cada intersección del combustible, la profundidad de la capa superficial de la hojarasca y el peso del combustible muerto (Tabla 2). Además, facilitó la obtención de variables como la pendiente, las coordenadas de los transectos, elevación, entre otras características del sitio.

Tabla 2. Hoja de campo para el levantamiento de información del combustible forestal muerto

Condiciones Generales para el Combustible Forestal Muerto					
Fecha:		Hora:		Transecto:	
Subtransecto:		Ecosistemas:		Pendiente (%):	
Coordenadas:		Elevación:		Hojarasca:	
Códigos	Intersección:				Peso:
	0-0,6	0,61-2	2.51-7,6	> 7,6	

5.2.5. Contenido de humedad del combustible forestal muerto

El contenido de humedad se determinó tanto de la hojarasca y de las ramas encontradas en líneas de intersección. Para estimar la hojarasca con relación a la profundidad de la capa superficial en cada transecto se anidaron dos subparcelas de 50 × 50 cm en sentidos opuestos (Figura 4), en donde se recolectó todo el material vegetal del cuadrante para colocarlo en fundas Ziploc y tomar su peso verde in situ, además se midió la profundidad de la capa superficial.

Para el caso del combustible de las diferentes categorías, en cada punto de intersección se colectó el material que se depositó en fundas ziploc y se tomó su peso en verde. Para realizar el secado de todo material, se trasladó las 46 muestras (26 de ramas y 20 de hojarasca) al laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Loja, en donde se colocaron en estufa por 12 días a una temperatura de 55°C, hasta que presentaron estabilidad en el peso (Anexo 2).



Figura 4. Secado de las muestras del combustible forestal muerto (hojarasca y ramas).

Una vez secas las muestras, se organizó la información en una base de datos de los pesos por cada muestra mediante el cual, se determinó el contenido de humedad teniendo en cuenta el peso anhidrido y peso seco utilizando la siguiente fórmula:

$$Ch = \left(\frac{p_i - p_f}{p_f} \right)$$

donde:

Ch= contenido de humedad

P_i = significa el peso inicial del combustible

P_f = peso final del combustible forestal muerto

5.2.6. Estimación del combustible forestal muerto

Para la estimación de la cantidad del combustible forestal muerto por categorías se aplicaron las fórmulas sugeridas por Díaz (2012) (Tabla 3).

Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del combustible forestal muerto (Díaz, 2012).

Diámetros del combustible (cm)	Fórmulas para cada diámetro	Definiciones
< 0.6	$p = \frac{0484 * f * C}{NI}$	P : peso del combustible ($Mg\ ha^{-1}$) f : frecuencia o número de intercepciones c : factor de corrección
0.61 – 2.5	$p = \frac{3.369 * f * C}{NI}$	
2.51-7.5	$p = \frac{NI}{d^2}$	d^2 : suma de cuadrados de diámetros de ramas y trozas
>7.5	$p = \frac{36.808 * f * C}{NI}$	NI : es la longitud total de la línea de muestreo o suma de longitudes de las líneas
>7.5	$p = \frac{1.46 * d2 * C}{NI}$	
	$p = \frac{1.21 * d2 * C}{NI}$	

Así mismo se evaluó la pendiente siguiendo la fórmula propuesta por Brown (1974).

$$C = \sqrt{1 + \left(\% \frac{pendiente}{100} \right)^2}$$

5.3. Metodología para determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio

5.3.1. Agrupación del combustible forestal muerto

Para las pruebas de inflamabilidad, se combinaron todas las muestras de hojarasca y

ramas secas correspondientes a cada categoría de combustible fino, ligero, mediano y pesado

por transecto. De este modo, se obtuvieron muestras aleatorias de hojarasca y ramas, teniendo en cuenta que el peso inicial no sobrepase los 5 gramos (Anexo 3).

5.3.2. Parámetros de inflamabilidad

Las características de inflamabilidad se estimaron a partir de la metodología de Hachmi et al. (2011), se aplicó el combustible forestal muerto y hojarasca directamente al fuego adaptado en condiciones de convección hasta que entró en ignición (Anexo 4). Para ello, se realizaron 15 repeticiones por cada categoría de combustible muerto teniendo como resultado 60 repeticiones (Tabla 4).

Tabla 4. Parámetros para evaluar la inflamabilidad del combustible forestal muerto (Hachmi et al., 2011).

Parámetros	Expresión	Expresiones matemáticas	Definición
Tiempo de ignición	Ti	Cronómetro (s)	Exposición del combustible ante una fuente de calor permitiendo aparecer las primeras llamas.
Sostenibilidad	TC	$TC = tf - ti$	tf = tiempo que se agota la llama ti = tiempo que aparece la llama
Combustibilidad	Ci	$Ci = \frac{(w_f - w_i)}{(tf - ti)}$	w_f = peso final del combustible quemado w_i = peso del combustible antes de exponerse a una fuente de calor
Altura de la llama	FH	Regla graduada	Determinar la altura de la llama desde la base del combustible hasta el límite máximo.

El combustible forestal muerto fue acondicionado en una malla metálica de 15×15 cm, extendida de forma horizontal con ayuda de soportes metálicos (Figura 5), adaptado a una cocineta pequeña, colocada a una altura de 7 cm desde su base hasta el material seco. Se utilizó una pistola termo laser registrando el aumento de temperatura hasta que el material entro en ignición.



Figura 5. Pruebas de inflamabilidad bajo condiciones de laboratorio.

5.3.3. Índice y categoría de inflamabilidad

Para determinar la inflamabilidad de las muestras, se aplicó el índice de inflamabilidad con las variables del tiempo de ignición, sostenibilidad y altura de la llama aplicando la siguiente fórmula:

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

donde:

FI = índice de inflamabilidad

TC = sostenibilidad (s)

TI = tiempo de ignición (s)

FH = altura de la llama (cm)

La categoría de inflamabilidad a la que pertenece el combustible forestal muerto se determinó con base a la clasificación de Hachmi et al. (2011), (Tabla 5).

Tabla 5. Valores y categoría de inflamabilidad

Valores	Categoría
$FI < 0.5$	Muy poco inflamable
$0.5 \leq FI < 1.5$	Poco inflamable
$1.5 \leq FI < 2.5$	Moderadamente inflamable
$2.5 \leq FI < 3.5$	Inflamable
$3.5 \leq FI < 4.5$	Extremadamente inflamable
$4.5 \leq FI$	Muy extremadamente inflamable

5.3.4. Análisis de información

Para la caracterización de los combustibles forestales muertos y la inflamabilidad, se organizó la información en una base de datos utilizando el programa Excel donde se obtuvieron resultados totales del combustible forestal muerto por categorías de cada transecto. Se aplicó el análisis de Shapiro Wilks sobre los residuos de los datos con el propósito de validar la normalidad, al no cumplirse dicha condición se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis para comprobar las diferencias significativas entre las categorías del combustible forestal muerto para lo cual se utilizó el programa InfoStat.

6. Resultados

6.1. Caracterización de la carga del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara

6.1.1. Composición florística bajo la plantación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham.

En la plantación de *Pinus patula* se registraron 64 individuos que representan a 25 especies y a 16 familias botánicas, donde *Pappobolus acuminatus* y *Viburnum triphyllum* son las especies más abundantes. Con relación al hábito de crecimiento las especies arbustivas representan más del 70 %, en comparación con las especies arbóreas que corresponden casi al 20 % y las especies herbáceas siendo menos del 10 %. Tabla 6.

Tabla 6. Composición florística de la vegetación presente en la plantación de *Pinus patula*.

Familia	Especie	Hábito de crecimiento	Número de individuos
Asteraceae	<i>Pappobolus acuminatus</i> (S.F. Blake)	Arbusto	8
Adoxaceae	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Arbusto	7
Rhamnaceae	<i>Frangula granulosa</i> (Ruiz & Pav.) Grubov	Arbusto	5
Melastomataceae	<i>Tibouchina laxa</i> (Desr.)	Arbusto	5
Myrtaceae	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	Árbol	4
Asteraceae	<i>Ageratina pichinchensis</i> (Kunth) R.M. King & H. Rob.	Arbusto	4
Ericaceae	<i>Macleania sp.</i>	Arbusto	4
Melastomataceae	<i>Miconia lutescens</i> (Bonpl.)	Arbusto	3
Betulaceae	<i>Alnus acuminata</i> Kunth	Árbol	3
Rosaceae	<i>Hesperomeles obtusifolia</i> Schltdl.	Arbusto	3
Primulaceae	<i>Geissanthus vanderwerffii</i> Pipoly	Árbol	2
Piperaceae	<i>Peperomia galioides</i> Kunth	Hierba	2
Araliaceae	<i>Oreopanax sp.</i>	Árbol	2
Piperaceae	<i>Piper asperiusculum</i> Kunth	Arbusto	1
Escalloniaceae	<i>Escallonia paniculata</i> (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.	Arbusto	1
Ericaceae	<i>Gaultheria erecta</i> Vent.	Arbusto	1
Melastomataceae	<i>Brachyotum campanulare</i> (Bonpl.) Triana	Arbusto	1
Asteraceae	<i>Dendrophorbium sp</i>	Hierba	1

Asteraceae	<i>Ferreyranthus verbascifolius</i> (Kunth) H. Rob. & Brettell	Arbusto	<i>I</i>
Piperaceae	<i>Piper bogotense</i> C. DC	Arbusto	<i>I</i>

Clethraceae	<i>Clethra revoluta</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	Arbusto	1
Ericaceae	<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth	Arbusto	1
Iridaceae	<i>Orthrosanthus chimboracensis</i> (Kunth) Baker	Hierba	1
Polemoniaceae	<i>Cantua quercifolia</i> Juss. ex Lam.	Arbusto	1
Lamiaceae	<i>Lepechinia mutica</i> (Benth.) Epling.	Arbusto	1
Total			64

6.1.2. Contenido de humedad

En las plantaciones forestales de la Estación Experimental Punzara se encontró cuatro tipos de combustibles forestales muertos. Entre ellos, la hojarasca y ramas regulares presentaron valores mayores alcanzando casi el 40 %, mientras que las categorías restantes mostraron valores similares menores al 20 % de contenido de humedad. Figura 6.

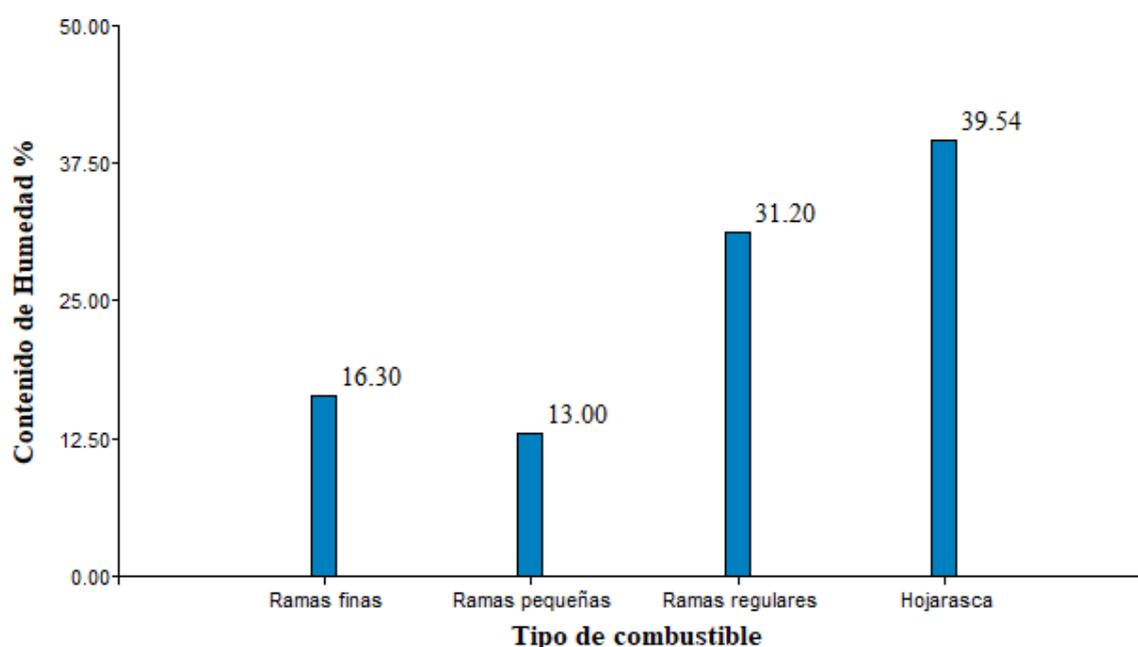


Figura 6. Contenido de humedad del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales

6.1.3. Caracterización del combustible forestal muerto de la plantación forestal

Las plantaciones de *Pinus patula* en la Quinta Punzara, presentaron una carga de combustible muerto total de 33,16 Mg ha⁻¹, en donde la categoría de ramas finas fue la que mayor carga de combustible presento, a diferencia del combustible grande podrido que tuvo menos carga en comparación con el resto de los tipos de combustible. (Tabla 7). Además, las

categorías de combustible forestal muerto presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las categorías grande podrido con la categoría fino, (Figura 7).

Tabla 7. Carga del combustible forestal muerto en plantaciones de *Pinus patula* en la Quinta Experimental Punzara.

Categorías del tipo de combustible	Contenido de combustible (Mg ha⁻¹)	Representatividad (%)	Error estándar (±) Mg ha⁻¹	Coefficiente de variación (%)
Fino/ liviano	10,83	32,66	1,69	49,48
Pequeño /ligero	8,29	25,00	1,65	67,18
Mediano/Regular	9,16	27,62	4,98	171,85
Grande firme	4,22	12,73	0,46	140,73
Grande podrido	0,66	1,99	1,88	220,29
Total	33,16	100	10,66	-

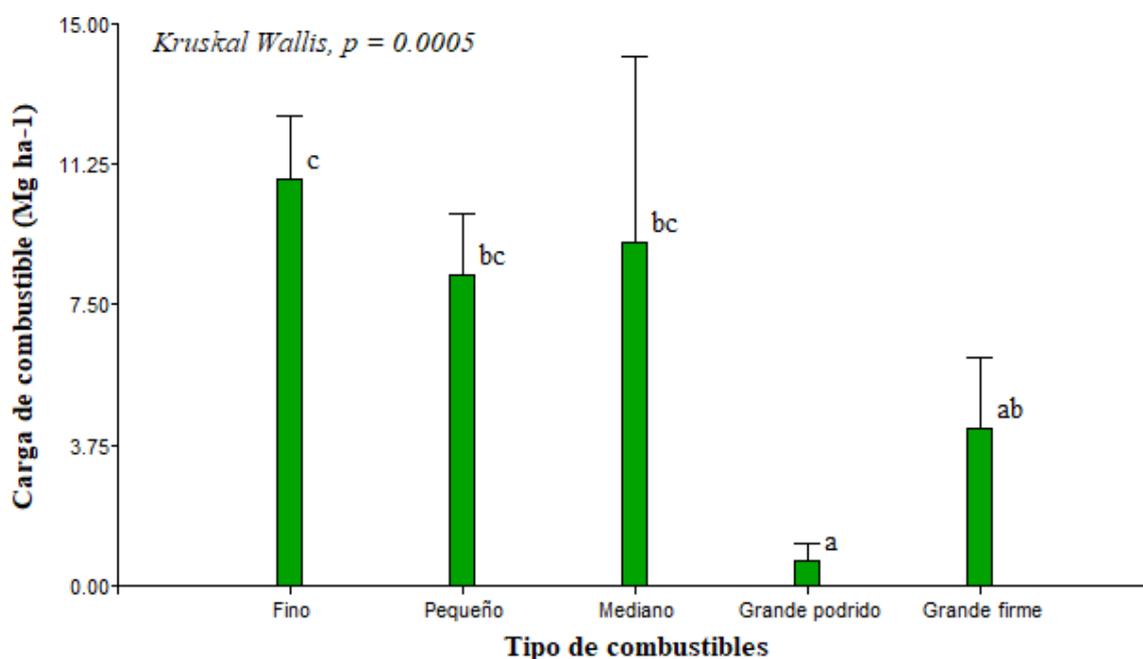


Figura 7. Contenido de combustible forestal muerto en la Quinta Experimental Punzara

6.2. Inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio

6.2.1. Evaluación de parámetros de inflamabilidad en combustibles forestales muertos

La hojarasca genera llamas en un tiempo de 3 segundos, con una combustibilidad de 43,53 g/s. La llama tuvo una sostenibilidad de 55,53 segundos y alcanza una altura promedio

de 34,53 cm, destacándose por producir llamas de mayor altura en comparación con los demás combustibles evaluados.

El combustible fino/ligero presenta un tiempo de ignición promedio de 44,27 segundos y una sostenibilidad de 114,6 segundos, categoría que se caracteriza por presentar alturas promedio de la llama de 11,67 cm; con un coeficiente de variación superior al 100 %.

Por su lado, el combustible pequeño/liviano, alcanzo un tiempo de ignición promedio de 57,73 s, con una duración de la llama que supera el minuto. Las alturas promedio fueron de 9,47 cm, con un coeficiente de variación superior al 50 %.

El combustible regular/mediado registra las primeras llamas a los 68,53 s y una sostenibilidad de 133,87 segundos, lo que evidencia su demora en comparación con los demás combustibles. La altura de la lama presento un promedio de 10,60 cm y una combustibilidad promedio de 0.05 g/s con un coeficiente de variación de 113,63 %. Todas las variables muestran una alta variabilidad lo que hace que el comportamiento sea menos predecible. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Estadísticas descriptivas de las características de la inflamabilidad de los combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara.

Combustible	Variables Estadísticas	Tiempo de ignición (s)	Sostenibilidad (s)	Combustibilidad (g/s)	Altura de la llama (cm)
Hojarasca	Media	3	55,53	0,07	34,53
	Error típico	0,37	7,68	0,01	3,79
	Desviación estándar	1,414	29,74	0,03	14,67
	Coficiente de variación	47,14	53,55	43,53	42,49
Fino/ligero	Media	44,27	114,60	0,11	11,67
	Error típico	10,17	30,37	0,05	1,65
	Desviación estándar	39,40	117,62	0,19	6,38
	Coficiente de variación	89,00	102,64	176,93	54,66
	Media	57,73	145,20	0,03	9,47
	Error típico	8,44	15,63	0,02	1,37

Pequeño/ Liviano	Desviación estándar	32,69	60,55	4,90	5,29
	Coeficiente de variación	56,63	41,70	74,96	55,88
Regular/ Mediano	Media	68,53	133,87	0,05	10,60
	Error típico	13,35	27,84	0,01	1,84
	Desviación estándar	51,69	107,84	0,05	7,14
	Coeficiente de variación	75,42	80,56	113,63	67,35

El tiempo de ignición promedio de todos los combustibles forestales muertos es de 43,38 cm, en donde los grupos evaluados presentan diferencias significativas, tal es el caso de la hojarasca que muestra un comportamiento distinto al resto de categorías. Figura 8.

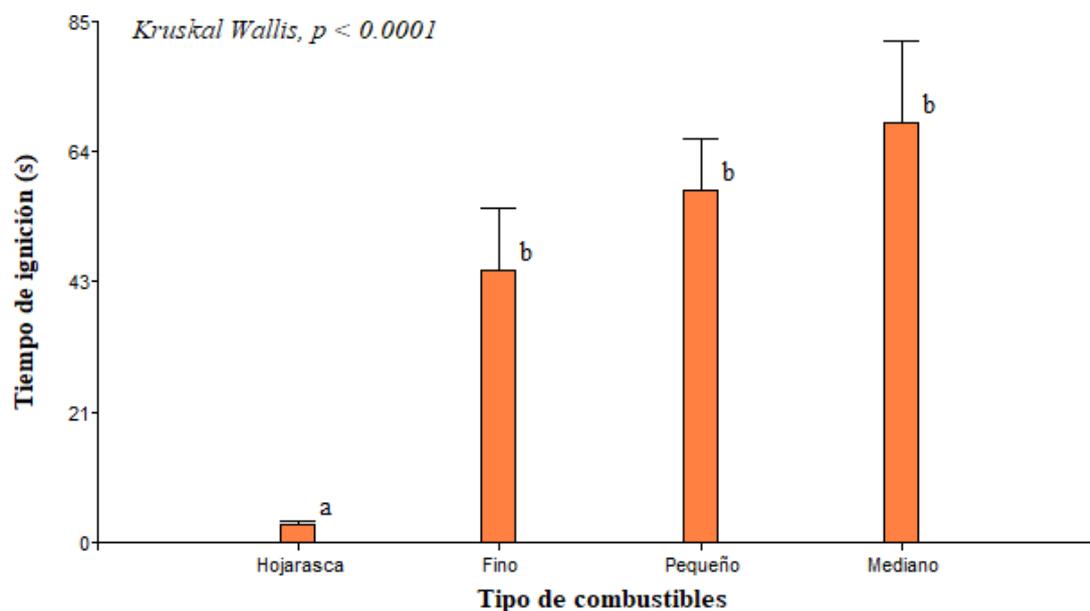


Figura 8. Distribución de valores del tiempo de ignición por tipo de combustible forestal muerto

Los combustibles forestales muertos presentaron en promedio un valor de sostenibilidad de la llama de 112.3 s, donde se evidenció diferencias significativas ($p=0,0054$) entre los grupos evaluados, la hojarasca se diferencia del resto de combustibles forestales muertos y presentó menor sostenibilidad de la llama (Figura 9).

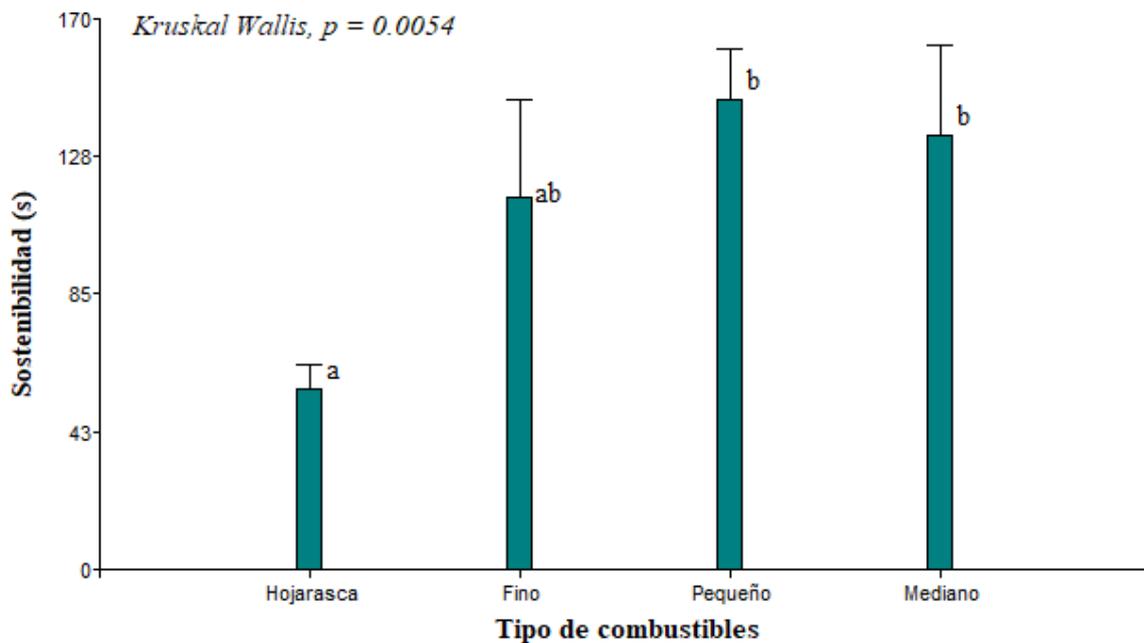


Figura 9. Distribución de valores de sostenibilidad por tipo de combustible forestal muerto

La combustibilidad promedio de todo el material vegetal muerto es de 0.063 g/s. y muestra diferencias estadísticas significativas entre los combustibles de las categorías hojarasca y pequeño. Figura 10.

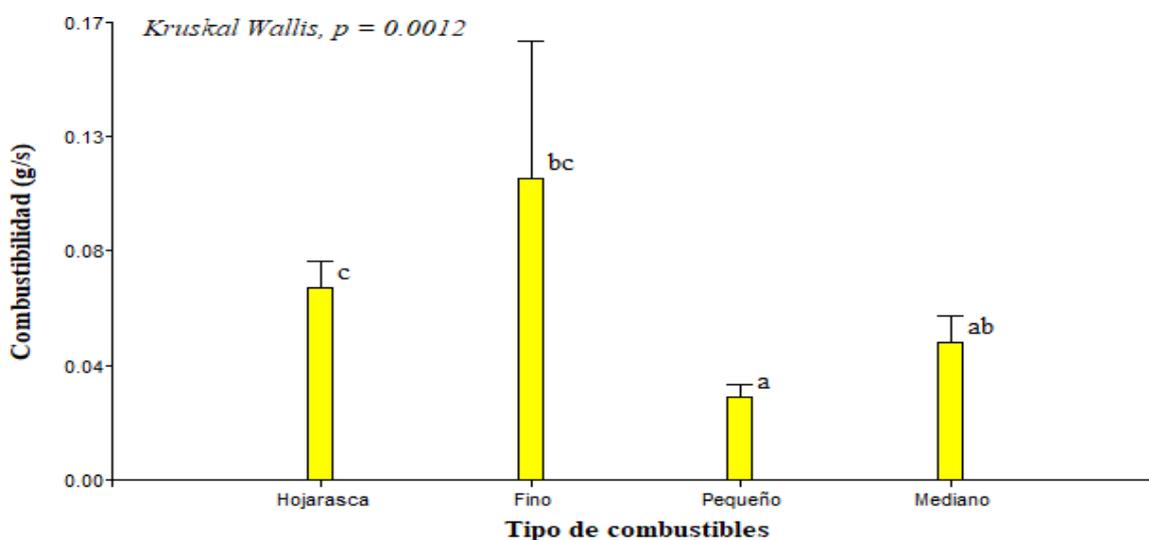


Figura 10. Distribución de valores de combustibilidad por tipo de combustible forestal muerto.

La altura de la llama promedio para todos los combustibles forestales muertos fue de 16.57 cm, de modo que en la Figura 11, se presenta la distribución de los valores respecto a la altura de la llama, donde se muestra diferencias significativas ($p < 0.0001$ $\alpha = 0.05$), entre la hojarasca respecto a los demás combustibles.

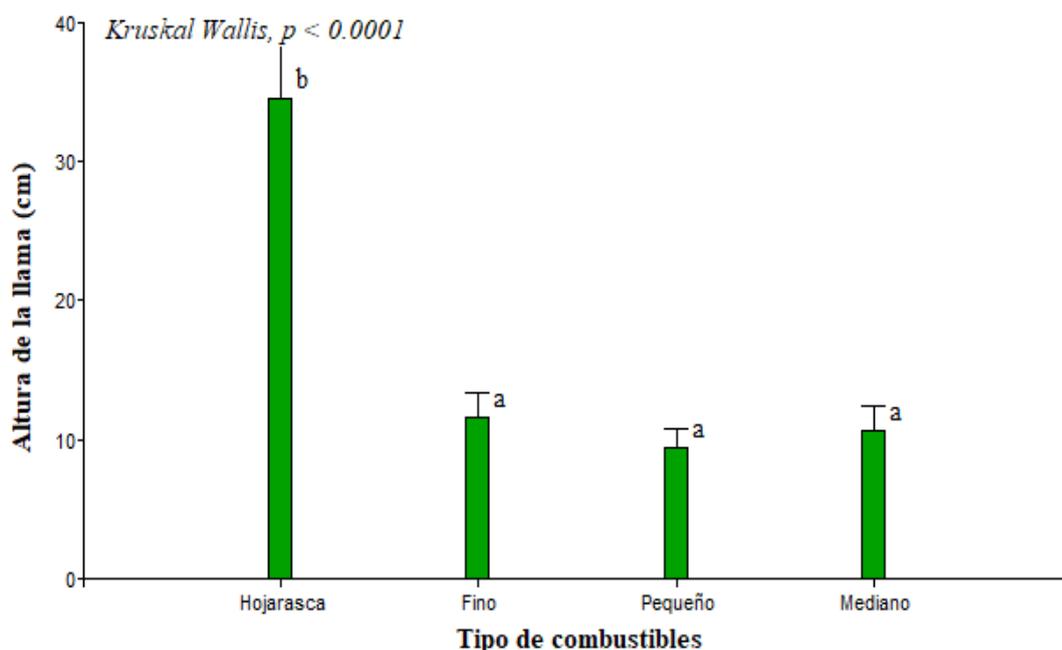


Figura 11. Distribución de valores de altura de la llama por tipo de combustible forestal muerto.

6.2.2. Índice y categorías de inflamabilidad

En la plantación forestal de *Pinus patula*, la categoría que mayor inflamabilidad presentó fue la hojarasca que entra en el parámetro considerado como muy extremadamente inflamable, el resto de categorías de combustibles son señalados como extremadamente inflamables. Tabla 9.

Tabla 9. Índices y categorías de inflamabilidad de los combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara.

Tipo de Combustible	Índice de Inflamabilidad	Categoría
Hojarasca	15,32	Muy extremadamente inflamable
Finos / Livianos	5,48	Muy extremadamente inflamable
Pequeños / Ligeros	3,88	Extremadamente inflamable
Regular / Mediano	4,08	Extremadamente inflamable

Las diferencias entre las categorías de combustible forestal muerto se evidencian en la conformación de dos grupos bien diferenciados, en donde la categoría hojarasca conforma el primer grupo mientras que el resto de categorías conforman el segundo grupo (Figura 12).

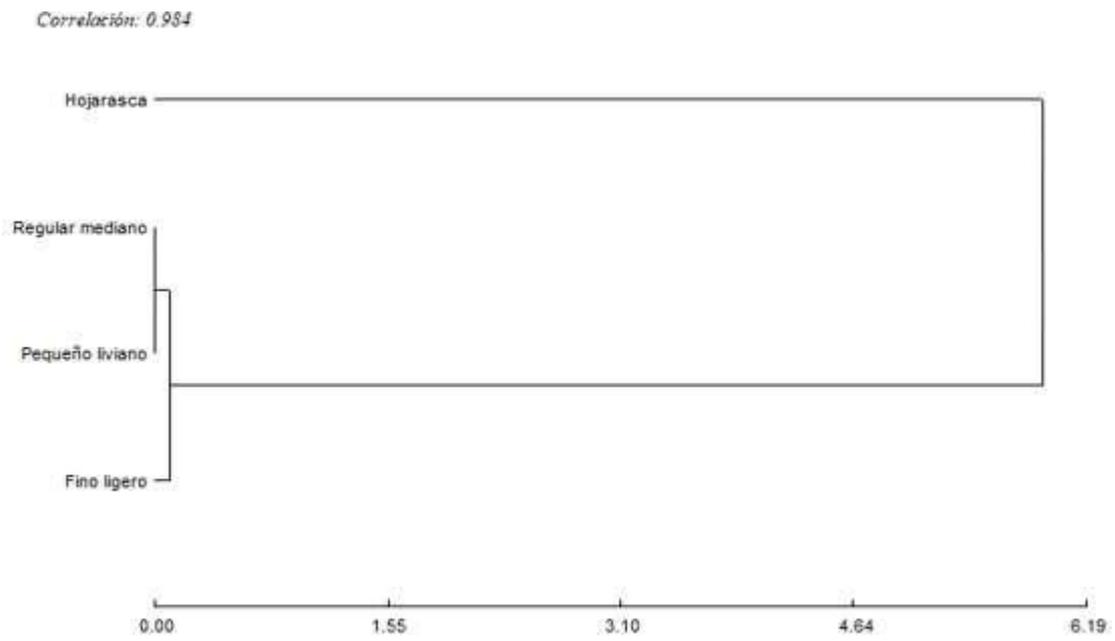


Figura 12. Análisis de conglomerados por medio de un dendrograma para la inflamabilidad de combustibles forestales muertos presentes en la Quinta Experimental Punzara

7. Discusión

7.1. Cantidad del combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara de la Universidad Nacional de Loja

La investigación utilizó la metodología de Brown (1982) para caracterizar la cantidad de combustible forestal muerto presente en plantaciones forestales de la Quinta Punzara, la cual es conocida por tener procedimientos rápidos y fáciles al momento de evaluar los combustibles muertos por medio de su diámetro y peso, lo cual es apoyado por Bautista et al. (2005) quienes manifiestan que la aplicación de esta metodología permite estimar de forma rápida el volumen de los combustibles en cualquier tipo de ecosistema.

Conocer el tipo de vegetación que se desarrolla bajo las plantaciones forestales es importante ya que permite identificar otros aportes del tipo de combustible, en la investigación se determinó la presencia de 27 especies vegetales correspondientes a 16 familias con 64 individuos, al comparar estos valores resultan relativamente menores a los reportados por Cortés et al. (2005) el cual menciona que en las plantaciones de pino se han identificado hasta 159 especies en distintos años, debido a la cantidad de luz que favorece a la presencia de más especies formando un plus con la aplicación de tratamientos silviculturales provocando que tenga mayor diversidad vegetal. Por su parte, Factos y Montero (2009) en su investigación sobre procesos sucesionales de vegetación muestran mayor número con un total de 110 especies, creciendo bajo la plantación de pino en bosque montanos del Ecuador; estos dos estudios demuestran que la cantidad de luz, el área y el manejo que se le da a un sitio, puede ser factores clave para que exista mayor diversidad sin perder de vista el objetivo para el cual se establecieron las plantaciones forestales.

El contenido de humedad de las muestras de la categoría hojarasca fue de 39,54 %, un resultado superior a los valores reportados por Wong y Villers (2007), quienes indicaron que especies como *Pinus hartwegii* presentaron contenidos de humedad inferiores al 25 %. Esta diferencia puede explicarse por las condiciones atmosféricas, la época del año y comunidades vegetales del área, que influyen significativamente en la capacidad de retención de agua en combustibles forestales muertos. Por su parte, Alvarado-Celestino (2006) identificó en su estudio sobre la propagación de incendios en bosques tropicales que los contenidos de humedad en combustibles eran aún menores, alcanzando valores inferiores al 13.5 %.

Las restantes categorías de combustibles forestales muertos muestran gradualmente contenidos de humedad de hasta 16.3 %, siendo este un valor óptimo para que logren inflamarse. Por su parte, Roble y Echenique (1983), argumentan que las diferencias del

contenido de humedad se deben a las variedades de pinos por sus características intrínsecas como propiedades químicas, el grado de descomposición, densidad y estructuras anatómicas de la madera, por lo que juega un papel clave en la capacidad de retención del agua, lo que explicaría la variabilidad de los contenidos de humedad entre distintas especies de coníferas.

La carga de contenido del combustible forestal muerto en las plantaciones forestales de la Quinta Punzara fue de 33,16 Mg ha⁻¹, valores similares a los reportados por Castañeda et al. (2015) en donde muestran valores de combustible bajo diferentes densidades de plantaciones en bosques densos de *Pinus hartwegii* y *Pinus rudis* P. dondell-smithii, de 25 Mg ha⁻¹, 24 Mg ha⁻¹ en bosque semidenso, mientras que en un bosque fragmentado reportó valores de 34 Mg ha⁻¹ demostrando que la carga presentada se mantiene en un rango promedio aceptable. Por su lado, Barrios, et al. (2024) en un bosque fragmentado de pino-encino obtuvo cargas de contenido de combustible de 39.02 a 54.52 Mg ha⁻¹. Así mismo, Caballero et al., (2018) en plantaciones en bosques templados en Mixteca donde las cargas de combustible oscilan entre 45.54 y 41.89 Mg ha⁻¹ con especies tales como *Pinus rudis*, *P. pseudostrobus* y *P. douglasiana*. Además, Rubio et al. (2016) reportaron en su estudio una carga de combustible promedio de 49.6 Mg ha⁻¹. No obstante, existen estudios donde se han obtenido cargas menores como Xelhuantzi-Carmona et al. (2011) quienes reportaron valores de 11.07 Mg ha⁻¹

Las cargas de combustible fino y podrido reportaron valores de 10.83 Mg ha⁻¹ y 0.66 Mg ha⁻¹ respectivamente, valores que son considerado menores a los reportados por Flores y Benavides (1994) que presentaron una carga de 41.3 Mg ha⁻¹ en combustible fino y de 13.75 Mg ha⁻¹ para el combustible grueso podrido en un bosque de *Pinus michoacana*, destacando que el tipo de vegetación, la influencia de los factores ambientales, ubicación geográfica, y tamaños de las parcelas, pueden subestimar los datos y causar variabilidad en cuanto a los combustibles de un área. Resultados con menores cargas se reportan en otras regiones, tal como indica Caballero et al., (2018), donde las cargas para la categoría fina fueron de 0.81 a 0.95 Mg ha⁻¹ y en la categoría pesados podridos tiene una carga total de 9.35 y 10.43 Mg ha⁻¹ sabiendo que la colección de muestras se realizó en meses donde las condiciones eran favorables para el origen de incendios forestales.

7.2. Inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales en la Quinta Punzara bajo condiciones de laboratorio

La inflamabilidad de la carga de combustible fluctúa entre extremadamente inflamable hasta muy extremadamente inflamable, lo que es un indicativo claro de que estas plantaciones forestales son un punto focal que debe ser monitoreado para evitar que se presente un incendio forestal. La inflamabilidad, es una particularidad que tienen los combustibles forestales de

reaccionar ante una fuente de calor externa y que está sujeto a las variables ambientales, tiempo atmosférico, topografía, tipo y contenido de humedad del combustible (DeBano, 1998., Hachmi et al., 2011; Ramos, 2010).

Es importante considerar, que existen especies que tienen en sus estructuras anatómicas ciertos aceites y resinas que contribuyen a su inflamabilidad. Las especies de pino se consideran altamente inflamables por sus características fisiológicas además de ser resinosas volátiles. Rodríguez et al. (2013) en su estudio de incendios forestales y grado básico del peligro, determinaron que la inflamabilidad de las especies de *Pino sp*, resultan ser peligrosas y por medio de una escala básica reflejó un 88,39 % en el índice de inflamabilidad; además, Mascaraque (2003) menciona que los combustibles poseen la característica de arder representando un riesgo alto para la ocurrencia de incendios y su propagación.

El tiempo de ignición que presentaron los distintos tipos de combustibles fue de 43,38 s, de modo que la hojarasca tardó menos tiempo en presentar llama en comparación con el resto de combustibles. Fonda (2001) señala que la llama que generan las especies de *Pinus contorta* y *Pinus banksiana* es alta, por lo que se consume más rápido la biomasa dependiendo de las condiciones ambientales y la variedad de especie.

Otra variedad de pino utilizada para realizar ensayos de inflamabilidad, fue en el estudio de Mesa, (2017) el cual evaluó la distribución anual de especies vegetales en un ecosistema de pinares, de modo que recolectó muestras de ocho especies entre ellas el *Pinus caribaea*, de esta manera continuó con el procedimiento de la recolección de las muestras sometidas en una cámara humedad de 50 °C evitando así perder la humedad; de estas muestras en las cuales se aplicaron las características de inflamabilidad, *P. caribaea* obtuvo ensayos positivos en distintos meses del año, en donde se consideró que su valor medio anual es de T_i : 12,78 observando que la especie es muy o extremadamente inflamable durante todo el año.

En cuanto a la sostenibilidad, los diferentes tipos de combustible forestal muerto en la Estación Experimental Punzara, obtuvo un promedio de 112.3 segundos, valores similares a los reportados por Emery y Hart (2020), donde se realizaron quemas controladas en laboratorio con *Pinus palustris* Mill., en la cual se reportó una duración de la llama de 212 s tomando en cuenta que, puede llegar a tener mayor sostenibilidad de la llama considerando las condiciones en las que se encuentra el combustible y la presencia de aceites volátiles de acuerdo a la especie. Por otro lado, Rodríguez et al., (2016) mostraron que *Pinus caribaea* presenta una duración de llamas de 15,30 s en ensayos realizados anualmente.

Existen variables que influyen en la sostenibilidad de la llama de un combustible vegetal, como son la forma y tamaño (White y Zipperer, 2010). Además de que existen distintos

factores que pueden alterar la inflamabilidad de un árbol, como la presencia de hongos descomponedores los cuales afectan directamente a la madera (Hyde et al., 2012; Hyde, Smith y Ottmar, 2012; Zhao et al., 2018). Estos resultados indican que dependiendo de la variedad de pino a la que se realice el estudio puede presentar tiempos cortos o largos en la sostenibilidad de la llama, condicionado por aspectos externos del lugar, la densidad de la especie, presencia de patógenos, contenido de humedad, tamaño y forma, etc.

La combustibilidad se define como la intensidad en la que un combustible arde ante una fuente de calor (Anderson, 1970; Gill y Zylstra, 2005; Martin et al., 1993). Para las plantaciones de pino, presentó una combustibilidad de 0.063 g/s de modo que el combustible fino tuvo mayor consumo conjuntamente con la hojarasca. Hernando y Elvira, (1989) mencionan que los compuestos volátiles y lignina de los pinos, pueden contribuir a que la inflamabilidad sea mayor.

De todos los tipos de combustibles la hojarasca y la categoría fina fueron las que presentaron el índice de inflamabilidad como muy extremadamente inflamable y que se diferencian del resto de categorías de combustible, lo que demuestra la importancia de dichas categorías en la realización de un plan de riesgos, todos los resultados atribuyen a darle la importancia que requieren. Magalhães y Schwilk, (2012), coinciden que la hojarasca reporta valores altos que la ubican en la categoría de muy extremadamente inflamable, ellos analizaron ocho especies de pino en un bosque mixto de coníferas en donde se reportaron llamas con alturas que van entre los 48,5 a 50,7 cm, además destacan que la composición de la hojarasca puede incluir biomasa de diversas especies, lo que es de vital importancia para plantaciones no manejadas ya que algunas de esas especies podrían ser consideradas como especies más inflamables.

8. Conclusiones

- Bajo las plantaciones forestales de la Estación Experimental Punzara de la Universidad Nacional de Loja se encuentran creciendo 25 especies vegetales correspondientes a 16 familias botánicas, entre las especies más abundantes se destacan *Pappobolus acuminatus* y *Viburnum triphyllum*, las cuales están aportando en el material combustible que se almacena en el suelo de las plantaciones.
- La hojarasca presenta un contenido de humedad del 39,54 %, siendo el valor más alto en comparación al resto de las categorías de combustibles, evidenciando la influencia de factores externos como variables ambientales y estacionales que pueden afectar en la retención del agua de los combustibles forestales muertos.
- Las plantaciones de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl & Cham en la Estación Experimental Punzara, presentan un elevado contenido de combustible forestal muerto con un promedio de 33,16 Mg ha⁻¹, siendo el combustible fino el que predomina y aporta en mayor cantidad a dicha cantidad.
- De todos los tipos de combustible forestal muerto, los parámetros de inflamabilidad evaluados de la hojarasca se diferencian significativamente del resto de combustibles por lo que su manejo es prioritario para evitar que los incendios forestales se propaguen con facilidad.
- El índice de inflamabilidad de los tipos de combustible forestal muerto en la Estación Experimental Punzara son señalados como extremadamente inflamables a muy extremadamente inflamables, demostrando que estas plantaciones forestales son un blanco fácil para la ocurrencia de un incendio forestal por lo que operaciones de manejo son necesarias para reducir la cantidad disponible de combustible.

9. Recomendaciones

Aplicar técnicas silviculturales de manejo a las plantaciones forestales que permitan mejorar los niveles de productividad y reducir el material combustible que se almacena en el suelo.

Desarrollar pruebas de inflamabilidad a las especies vegetales de mayor importancia que se estén desarrollando en el sotobosque con el propósito de conocer su aporte calórico ante la presencia de siniestros.

10. Bibliografía

- Aguirre Mendoza, Zhofre., Díaz Ordoñez, Elvis., Muñoz Chamba, Johana., y Muñoz Chamba, Luis. (2019). Sucesión natural bajo plantaciones de *Pinus radiata* D. Don (Pinaceae) y *Eucalyptus globulus* Labill. (Myrtaceae), en el sur del Ecuador. *Arnaldoa*, 26(3), 943- 964.
- Anderson, H. E. (1970). *Forest fuel ignitability*, *Fire Technology*, 6, 312–31.
- Alvarado-Celestino, E. (2006). Consideraciones sobre incendios en bosques tropicales y templados de áreas protegidas de México y Brasil. En: Flores–Garnica, J. G., Rodríguez–Trejo D. A., Estrada–Murrieta, O., y Sánchez–Zárraga, F. Incendios forestales. CONAFOR–Mundi Prensa. México, D. F. pp. 171–184.
- Bautista, J., Treviño-Garza, E., Navár-Chaidez, J., Aguirre-Calderón, A., y Cantú-Silva, I. (2005). Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Chapingo, serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 11(1), 51-56.
<https://www.redalyc.org/pdf/629/62911108.pdf>
- Barrios, R., Flores-Garnica, J., Rodríguez, J., y Torres, J. (2024). Variación altitudinal de cargas de combustibles forestales en un bosque de Pino-Encino fragmentado en el Volcán Tacaná, México. *Ecosistemas* 33(2), 26-48. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2648>
- Brandeis, T.J., y Woodall, W.C. (2008). Assessment of forest fuel loadings in Puerto Rico and the Us Virgin Islands. *Ambio* 37(7-8), 557-562.
- Bilgili, E., Coskuner, K. A., Usta, Y., and Goltas, M. (2019). Modeling surface fuels moisture content in *Pinus brutia* stands. *J. For. Res.* 30, 577–587.
- Brown, J. K. (1974). Handbook for inventoring downed woody material. USDA *Forest Service*. General Technical Report INT-16. Utah, USA. 24p.
- Brown, J. K., Oberheu, R. D., y Johnston, C. M. (1982) Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. USDA Forest Service. General Technical Report INT129.
- Carnus, J. M., Parrotta, J., Brockerhoff, E., Arbez, M., Jactel, H., Kremer, A., Lamb, D., O’Hara, K., y Walters, B. (2006). Planted forests and biodiversity. *Journal of Forestry*, 104(2), 65-77.
- Carmona, J., Flores, J., y Chávez, A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 2(3), 37-52.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322011000100004&lng=es&tlng=es

Castellnou, M., Pages, J., Miralles, M., y Piqué, M. (2009). Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. In: 5º Congreso Forestal. *Ávila*.

https://recercat.cat/bitstream/handle/2072/281988/2009_Castellnou_CongrAvila.pdf?sequence=1

Castañeda, M., Endara, A., Villers Ruiz, M., y Nava, E. (2015). Evaluación forestal de combustibles en bosques de *Pinus hastwegii* en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios. *Madera y Bosques*, 21(2), 45-58.

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712015000200003&lng=es&tlng=es

Caballero, P., Juárez, W., Martínez, D., Cruz, O., Silva, E., y Calderón, O. (2018).

Combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Foresta Veracruzana*, 28(1), 9-18.

<https://www.redalyc.org/journal/497/49757295003/49757295003.pdf>

Cortés, F., Dueñas, H., y Cardozo, H. (2005). Cambios en la vegetación de sabana ocasionados por la plantación de *Pinus caribaea* en Vichada-Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, 29 (110), 69-84.

Cruz, P., Santiago, W., Martínez, D., Cruz, O., Pérez, E., y Aguirre, O. (2018). Combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado en la Mixteca Alta, Oaxaca, México. *Recursos Genéticos Forestales, México*, 20(1), 9-16.

<https://www.redalyc.org/journal/497/49757295003/49757295003.pdf>

Chávez-Durán, A., Carmona, J., Camacho, E., Díaz, J., López, H., y Orozco, C. (2017).

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(13), 2589-2600. <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263144472012.pdf>

Chuquín, P. (1990). Comportamiento de las especies *Pinus patula* Scchl et Cham y *Pinus radiata* D. Don, utilizando cuatro mezclas de suelo en vivero. Universidad Técnica del Norte.

DeBano, L. (1998). *Fire's Effects on Ecosystems*, John Wiley and Sons, Inc.

Díaz, G. (2012). Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales. 426-436. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/44565>

- Domínguez, S. (2013). Variabilidad de la precipitación en el norte de México: Forzamientos oceánicos y atmosféricos y su relación con incendios forestales. [Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste].
- Dueñas, H., y Cortés, F. 1990. Comparación de la vegetación asociada a un cultivo de *Pinus caribaea* con la existente en sabanas bien drenadas de la Orinoquia Colombiana (Gaviotas, Vichada). Centro Experimental "Las Gaviotas", Bogotá. 33 p
- Emery, R. K., y Hart, J. L. (2020) Flammability Characteristics of Surface Fuels in a Longleaf Pine (*Pinus palustris* Mill.) Woodland. *Fire*, 3(3), 39.
<https://doi.org/10.3390/fire3030039>.
- FAO. (1998). *Programa de Evaluación de Recursos Forestales, Términos y definiciones, FRA 2000. Documentación de trabajo* (N. °1). FAO.
<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/7e3f2a85-b6e6-47f8-a899-c66953e8efbc/content>
- Factos, V., y Montero, C. (2009). Influencia del estado sucesional en la regeneración natural del bosque y distribución espacial de la familia Cyatheaceae en un bosque de neblina montano de la región sur del Ecuador. Universidad Técnica Particular de Loja. Tesis previa obtención de ingeniería Gestión Ambiental. Loja, Ecuador
- Fernandes, P., Loureiro, C., y Botelho, H. (2012). Piropinus: A spreadsheet application to guide prescribed burning operations in maritime pine forest. *Computers and Electronics in Agriculture* 81, 58-61.
- Figueroa, R., Díaz, M., Vidal, M., y Delgado, V. (2020). Plantaciones e incendios forestales: Antítesis a la conservación de los servicios ecosistémicos.
- Fosberg, M., Rothermel, R., y Andrews, P. (1981). Moisture content calculations for 1000-hour timelag fuels. *Forest Science*, 27(1), 19-26.
- Foglia, R. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 2(5), 88-92.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5123396>
- Fonda, R.W. (2001). Burning characteristics of needles of eight pine species. *Forest Science*, 47(3), 390–396.
- Flores, GJG y Benavides, SJDE. (1994). Efecto de dos tipos de quemas controladas en bosque de pino en Jalisco. Folleto técnico., núm. 5. CIPAC-Jalisco, INIFAP, SARH. México. 12p.

- Flores, G. J., Moreno, G. A., y Morfín, R. J. (2010). Muestreo directo y fotoseries en la evaluación de combustibles forestales. INIFAP, SAGARPA. Campo experimental Centro Altos de Jalisco. Folleto técnico, 4, 69.
- Flores-Garnica, J. (2021). Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12, 91-119.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iespecial-1.981>
- Gartland, H., y Bohren, A. (2008). Árboles forestales de Argentina. *Dendrología Especial*.
https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitaes/f3_978-950-579-095-1x.pdf
- García, E., Tagle, M., Pérez, J., Garza, E., y Flores, D. (2012). Caracterización de combustibles forestales mediante un muestreo directo en plantaciones forestales. Memorias del Cuarto Simposio Internacional sobre Políticas. Planificación y Economía de los Incendios Forestales: Cambios Climático e Incendios Forestales.
https://www.fs.usda.gov/psw/publications/documents/psw_gtr245/es/psw_gtr245_426.pdf
- Gill, A. M., y Zylstra, P. (2005). Flammability of Australian forests. *Australian Forestry*, 68, 87-93.
- Guillermo, R., Torero, J., y Ellzey, J. (2002). Estudio numérico de combustión latente en flujo directo. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para calculo y diseño en Ingeniería*, 18 (4), 459-474.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3372/RR184A.pdf>
- Guillermo, J., y Giroz, G. (1975). Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicación en el control de incendios forestales.
<https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/3adf57f7-5a9b-4d27-8bd36cf10d4f03fc/content>
- Hachmi, M., Sesbou, A., Benjelloun, H., Handouz, N., and Bouanane, F. (2011). A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion*, 2011.
- Hernández, J., Rodríguez, G., Enríquez del Valle, J., Campos, G., y Hernández, A. (2016). Biomasa arbustiva, herbácea y en el piso forestal como factor de riesgo de incendios. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 7(36), 51-63.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200711322016000400051&lng=es&tlng=es.

- Hyde, J. C., Smith, A. M. S., y Ottmar, R. D. (2012). Properties affecting the consumption of sound and rotten coarse woody debris in northern Idaho: a preliminary investigation using laboratory fires. *Int. J. Wildland Fire*, 21, 596–608.
- Hyde, J. C., Smith, A. M. S., Ottmar, R.D., Alvarado, E. C., y Morgan, P. (2011). The combustion of sound and rotten coarse woody debris: a review. *Int. J. Wildland Fire*, 20, 163–174.
- Holsinger, L., Parks, S. A., and Miller, C. (2016). Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes. *For. Ecol. Manag*, 380, 59–69.
- Huerta-Martínez, F. M., y Ibarra-Montoya, J. L. (2014). Incendios en el bosque la primavera (Jalisco. México): un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias. *CienciaUAT*, 9(1), 23-32.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S200778582014000100023&lng=es&tlng=es
- Jaime, F. (2017). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Ciencias Forestales y Ambientales*, 2 (1), 68-81.
<https://cifam.upr.edu.cu/index.php/cifam/article/view/71>
- Kane, J., y Prat-Guitart, N. (2018). Fuel Moisture. pp. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51727-8_115-1
- Keating, P. (2007). Fire ecology and conservation in the high tropical Andes: observations from northern Ecuador. *Journal of Latin American Geography*, 6(1), 43-62.
- Kellison, R. (1999). *Forestry trends in the new millennium*. In: Proceedings 26th Annual Tree Improvement Conference. Athens. Georgia. USA. 5 pp.
- Kellison, R. (2002). *Forestry trends in transition*. In: *Proceedings of Symposium on Technical, Social and Economic Issues of Eucalyptus*. University of Vigo. Pontevedra. Spain. 6 pp.
- Kreider, M., Jafe, M., Berkey, J., Sean, A., and Andrew, J. (2023). The scientific value of fire in wilderness. *Fire ecol*, 19(36). <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00195-2>
- Kunst, C., Ledesma, R., Bravo, S., Defossé, G., Godoy, J., y Navarrete, V. (2014). Dinámica de la humedad de los combustibles y su relación con la ecología y manejo de fuego. región chaqueña occidental (Argentina) II: follaje y residuos de árboles y arbustos. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 40(2), 165-181.
http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S166923142014000200009&lng=es&tlng=es
- Liñan, A. (2002). Modelos de combustión y fuego.
https://oa.upm.es/2100/2/LINAN_CL_2002_01a.pdf

- López, J. (2012). Percepción social del fuego forestal y su ecología: la necesidad de un cambio de orientación. *Foresta*, 56, 46-55. <http://www.redforesta.com/wp-content/uploads/2013/04/CT1-Percepcion-social-del-fuego-forestal-y-su-ecologia.pdf>
- Martínez, D., y Rodríguez, D. A. (2008). Los Incendios Forestales en México y América Central. In: Memorias del Segundo Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía de los Programas de Protección Contra Incendios Forestales: Una Visión Global. General Technical Report psw-gtr-208. USADA Forest Service, 767-769.
- Martin, R., Gordon, D., Gutierrez, M., Lee, D., Molina, D., Schroeder, R., Sapsis, D., Stephens, S., and Chambers, M. (1993). Assessing the flammability of domestic and wildland vegetation. In 12th Conference on *Fire and Forest Meteorology*, 130–137. Jekyll Island, GA.
https://www.researchgate.net/publication/230881790_The_burning_characteristics_of_southeastern_oaks_Discriminating_fire_facilitators_from_fire_impeders
- Mascaraque, A. (2003). Índices de causalidad y riesgo de incendios forestales a los espacios naturales protegidos de la Comunidad de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid; Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. <https://oa.upm.es/911/>
- Magalhães R., y Schwilk, D. (2012). Leaf traits and litter flammability: evidence for non-additive mixture effects in a temperate forest. *Journal of Ecology* (100), 1153–1163. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.13652745.2012.01987.x>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador [MAE]. (2015). Prevención y control de incendios una prioridad nacional. <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-deincendios-una-prioridad-nacional/>
- Michalijos, M., Geraldi, A., y Barragán, F. (2022). Análisis de la distribución de la precipitación y su incidencia en el peligro de incendio: Estudio de caso. Sierra de la Ventana. Argentina; Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Instituto de Investigaciones Geográficas de la Patagonia. *Párrafos Geográficos*, 21, 1-13.
<http://www.revistas.unp.edu.ar/index.php/parrafosgeograficos/article/view/808>
- Mesa, F. (2017). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Ciencias Forestales y ambientales*, 2(1), 68-81.
<https://cifam.upr.edu.cu/index.php/cifam/article/view/71>

- Muñoz-Chamba, L., Vele-Yauri, Y., Muñoz, J. y Aguirre, Z. (2023). Inflamabilidad de especies forestales representativas del bosque andino bajo condiciones de laboratorio. *Bosques Latitud Cero*, 13(2): 56 - 69.
- Myers, R. (2006). Convivir con el fuego. Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el manejo integral del fuego. Tallahassee. Estados Unidos. *The Nature Conservancy*.
https://www.conservationgateway.org/Documents/el_manejo_integral_del_fuego.pdf
- McKinney, S. (2019). Systematic review and meta-analysis of fire regime research in ponderosa pine (*Pinus ponderosa*) ecosystems. Colorado. USA. *Fire Ecology*, 15 (38).
<https://doi.org/10.1186/s42408-019-0056-6>
- Muñoz, R. (2000). Las quemadas incontroladas como causa de incendios forestales. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 9, 13-26.
https://secforestales.org/publicaciones/index.php/cuadernos_secf/article/view/9179/9097
- Muñoz, RCA. 2001. *Elaboración de un modelo espacial de peligro de incendios forestales*. Tesis de maestría en Ciencias Forestales. Linares N. L. 120 p.
- Nájera, A. (2013). El fuego en la naturaleza. *Bordeando el monte*. https://sma.gob.mx/wp-content/uploads/2021/09/2_El-fuego.pdf
- Neri, A., Rodríguez, D., y Contreras, R. (2009). Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche. *Universidad y ciencia*, 25(2), 121-132.
- Pausas, J. (2012). *Incendios, una visión desde la ecología*. CSIC. Libros de Catarata.
- Pausas, J., Keeley, J., and Schwilk, D. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*, 105(2), 289–297. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12691>
- Peña-Fernández, E., y Valenzuela-Palma, L. (2008). *Incremento de los Incendios Forestales en Bosque Naturales y Plantaciones Forestales en Chile*. Segundo Simposio Internacional sobre Políticas. Planificación y Economía de programas de Protección contra incendios Forestales.
- Pompa-García, M. y Sensibaugh, M. (2014). Ocurrencia de incendios forestales y su teleconexión con fenómenos ENSO. *CienciaUAT*, 27(2), 06-10.
- Pyne, S., Andrews, P., and Laven, R. (1996). Introduction to Wildland Fire. (2nd ed).. pp (6-7). https://www.frames.gov/documents/behaveplus/publications/Pyne_etal_1996_Ch1-4_ocr.pdf
- Pyne, S. (1999). Fuego sobre la tierra, introducción a su historia. BAEZA.
<https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2310/365-382Pyne.pdf>

- Ramos-Rodríguez, M. (2010). Manejo del fuego. Editorial Félix Varela.
- Real de Abreu, R., Bessão de Assis, G., Frison, S., Aguirre, A., and Durigan, G. (2011). Can native vegetation recover after slash pine cultivation in the Brazilian Savanna. *Forest Ecology and Management*, 262(8), 1452-1459.
- Riesco, G. (2007). Aspectos particulares de la ordenación de plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)
<https://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/1622/b1554255.pdf?sequence=1>
- Ritter, L. (2017). Regeneración de árboles nativos en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte Misiones: efectos del manejo a nivel del rodal y el paisaje. Tesis Doctoral previa obtención del título de doctor en Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. La Plata, Argentina.
- Rodríguez, Y. C., Rodríguez, M. R., Mesa, F. J., Hernández, Y. C., y Becerra, L. W. M. (2016). Inflamabilidad de especies vegetales del ecosistema de pinares. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 4(1), 36-47.
- Rodríguez, G., Rodríguez, P., Dangel, D., Soares, V., Batista, C., Tetto, F. (2013). Incendios forestales y grado básico de peligro en la empresa forestal Macurije, Cuba. *Revista Brasileira de Ciencias Agrarias*, 8 (2), 279-286.
- Robles, F. y Echenique, R. (1983), Estructuras de madera, Limusa, México.
- Ruiz, A. (2004). La predicción de la humedad en los restos forestales combustibles; aplicación a masas arboladas en Galicia. Tesis Doctorado. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela de Ingenieros de Montes. 440 p. <http://oa.upm.es/302/>
- Ruiz, A. (2009). Introducción al comportamiento del fuego. Instituto Agraria e Desenvolvimento Rural.
https://www.researchgate.net/publication/43032515_Introduccion_al_comportamiento_del_fuego
- Rubio, C., González, T., Benavides, A., Chávez, A., y Xelhuantzi, J. (2016). Relación entre necromasa, composición de especies leñosas y posibles implicaciones del cambio climático en bosques templados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (13), 2601-2614. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000902601
- Santos, R., Fernández, V., Rey, E., y Inés, J. (2014). Manual de extinción de incendios forestales para cuadrillas. España: Sorles León.
https://pfcyl.es/sites/default/files/biblioteca/documentos/manual_de_extincion_de_incendios_forestales_para_cuadrillas.pdf

- Santiago, F. H.; Servín, M. M.; Rodarte, R. H. y Garfias, A. F. (1999). UNAM. Programa Universitario de Medio Ambiente Dirección general de Publicaciones y Fomento Editorial. 107 p.
- Santa Regina, I. and Tarazona, T. (2001). "Nutrient pools to the soil through organic matter and throughfall under a Scots pine plantation in the Sierra de la Demanda, Spain". *European Journal of Soil Biology*, 37, 125-133.
- Soares, R., and Batista, A. (2007). Incendios florestais: controle. efeitos e uso do fogo. Universidades Federal do Paraná.
- Soares, R. V., Batista, A., y Tetto, A. F. (2015). Meteorología e climatología forestal. Editor Stephens, S., and Wagner, M. (2007). Forest plantations and biodiversity: A fresh perspective. *Journal of Forestry*, 105(6), 307-313. <https://doi.org/10.1093/jof/105.6.307>
- Tian, X., McRae, D. J., Jin, J., Shu, L., Zhao, F., and Wang, M. (2011). Wildfires and the Canadian forest fire weather index system for the Daxing'anling region of China. *Int. J. Wildland Fire*, 20, 963–973.
- Tian, J., Ni, T., Miao, Z., Shuo, Y., Ma, A., Dong, L., and Li, F. (2024). Effects of biotic and abiotic factors on ecosystem multifunctionality of plantations. *Ecol process*, 13(44). <https://doi.org/10.1186/s13717-024-00525-5>
- Ulibarry, P. (2017). Impacto de los incendios forestales en el suelo. agua. vegetación y fauna. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile /BCN. Departamento de Estudios. extensión y publicaciones. pp2. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=39186>
- Villers-Ruiz, M. (2006). Incendios forestales. *Ciencias*, 81, 60-66. <https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/81/05/incendios%20forestales.pdf>
- Velasco-Herrera, J. A., Flores-Garnica, J. G., Marquez-Azúa, B., y López, S. (2013). Arcas de respuesta homogénea para el muestreo de combustibles forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(15), 41-54.
- Wittich, K. (2011). Phenological observations of grass curing in Germany. *International Journal of Biometeorology*, 55, 313-318.
- White, R., y Zipperer, W. (2010). Testing and classification of individual plants for fire behaviour: Plant selection for the wildland–urban interface. *International Journal of Wildland Fire*, 19, 213–227.

Wong, J. C., y Villers, M. de L. (2007) Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche. *Investigaciones geográficas*, (62), 87-103.

Xelhuantzi-Carmona, J., Flores-Garnica, J.G., Chávez-Durán, A.A. (2011). Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 2(3), 37–52.

<https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i3.624>

Zhao, W., Van Logtestijn, R.S.P., Van der Werf, G.R., van Hal, J.R., and Cornelissen, J.H.C., (2018). Disentangling effects of key coarse woody debris fuel properties on its combustion, consumption and carbon gas emissions during experimental laboratory fire. *For. Ecol. Manag*, 427, 275–288.

11. Anexos

Anexo 1. Cuantificación del combustible



Anexo 2. Toma de datos en su periodo de secado



Anexo 3. Pruebas de inflamabilidad en combustibles forestales muertos



Anexo 4. Análisis no paramétrico de Kruskal Wallis de los parámetros de inflamabilidad.

VARIABLES	Tipo de combustible	N	Medias	D. E	Medianas	H	p-valor
Tiempo de ignición	Fino Ligero	15	44.27	39.40	32.00	36.87	< 0.0001
	Hojarasca	15	3.00	1.41	3.00		
	Pequeño liviano	15	57.73	32.69	47.00		
	Regular mediano	15	68.53	51.69	40.00		

VARIABLES	Tipo de combustible	N	Medias	D. E	Medianas	H	p-valor
Sostenibilidad	Fino Ligero	15	114.60	117.62	94.00	12.65	0.0054
	Hojarasca	15	53.53	29.74	43.00		
	Pequeño liviano	15	145.20	60.55	119.00		
	Regular mediano	15	133.87	107.84	120.00		

VARIABLES	Tipo de combustible	N	Medias	D. E	Medianas	H	p-valor
Altura de la llama	Fino Ligero	15	11.67	6.38	9.00	27.73	<0.0001
	Hojarasca	15	34.53	14.67	32.00		
	Pequeño liviano	15	9.47	5.29	8.00		
	Regular mediano	15	10.60	7.14	8.00		

VARIABLES	Tipo de combustible	N	Medias	D. E	Medianas	H	p-valor
Combustibilidad	Fino Ligero	15	0.11	0.19	0.04	15.84	0.0012
	Hojarasca	15	0.07	0.03	0.07		
	Pequeño liviano	15	0.03	0.02	0.02		
	Regular mediano	15	0.05	0.05	0.02		



**BRENTWOOD
LANGUAGE CENTER**
Making a difference

Lic. Mónica Guarnizo Torres,
SECRETARIA DE "BRENTWOOD LANGUAGE CENTER"

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés del trabajo de titulación denominado "**Caracterización de la carga de combustible forestal muerto y su inflamabilidad en la Quinta Punzara de la Universidad Nacional de Loja**", de la estudiante Melanny Arianys Gaona Delgado, con cédula de identidad No. 1719448019, egresada de la carrera de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 14 de marzo de 2025

Lic. Mónica Guarnizo Torres
SECRETARIA DE B.L.C.

