



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniera Forestal

Inflamabilidad y carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de pino *Pinus patula* Schl. et Cham, en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro

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

AUTOR:

Daniel Alejandro Maldonado Jumbo

DIRECTORA:

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

Certificación

Loja, 1 de abril 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 o de Titulación: **Inflamabilidad y carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de pino *Pinus patula* Schl. et Cham, en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro**, previa a la obtención del título de **Ingeniero Forestal**, de autoría del estudiante **Daniel Alejandro Maldonado Jumbo**, con cédula de identidad Nro. **1105661159**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Daniel Alejandro Maldonado Jumbo** declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mí Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Daniel Maldonado', enclosed within a large, loopy circular scribble.

Cédula de Identidad: 1105661159

Fecha: 1 de abril de 2025

Correo electrónico: daniel.a.maldonado.j@unl.edu.ec

Télefono: 0988439324

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

Yo, **Daniel Alejandro Maldonado Jumbo** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Inflamabilidad y carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de pino *Pinus patula* Schl. et Cham, en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro**, como requisito para optar el título de **Ingeniero 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 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, al primer día de abril del dos mil veinticinco.

Firma:



Autor: Daniel Alejandro Maldonado Jumbo

Cédula: 1105661159

Dirección: Ciudadela Ciudad Alegría

Correo electrónico: daniel.a.maldonado.j@unl.edu.ec

Celular: 0988439324

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

Dedicatoria

Este Trabajo de Titulación se la dedico a los pilares fundamentales de mi vida, a mi padre Gober Maldonado y a mi madre Noemi Jumbo. Gracias por su amor incondicional, su apoyo constante y por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la perseverancia y la honestidad. Este logro es también suyo, porque sin su guía y sacrificio no habría sido posible.

A mis hermanos, Paola y David Maldonado, gracias por acompañarme en cada paso, por las risas compartidas, por sus palabras de aliento, por su apoyo incondicional y por brindarme siempre un refugio de confianza y alegría. Su presencia ha hecho de este camino, más llevadero y significativo.

Esta tesis está dedicada a ustedes, con todo mi cariño y gratitud.

Daniel Alejandro Maldonado Jumbo

Agradecimiento

Mi gratitud eterna a Dios y a la virgen por brindarme salud, fortaleza y sabiduría para terminar con éxito este trabajo de investigación.

A mi familia, que nunca dejó de creer en mí y que me han sido una fuente de inspiración a lo largo de mi carrera. Sin ellos no hubiera sido posible este logro.

Expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Loja, en particular a la Carrera de Ingeniería Forestal, por haberme acogido y formado como persona y como profesional con valores éticos, morales y dedicación.

Al ingeniero Luis Fernando Muñoz Chamba, M. Sc., por brindarme su respaldo, orientación y paciencia a lo largo de esta investigación.

A la ingeniera Johana Cristina Muñoz Chamba, Mg Sc, quien ayudó a terminar este estudio y demostró un verdadero interés en mi investigación. Sus consejos y sugerencias fueron importantes para su desarrollo. Le agradezco sinceramente todo el tiempo y el esfuerzo que ha invertido en mi crecimiento como estudiante, así como por creer en mi capacidad para realizar esta investigación.

A mis amigos, María Teresa, Melany, Eimy, Roy, Marlon, Tito y Anthony que siempre mostraron su disposición a participar en este trabajo a pesar de las dificultades, por su comprensión, capacidad para escucharme y su ayuda tanto en lo personal como en lo académico.

Agradezco a todo aquellos que contribuyeron a mi proceso académico, con profunda gratitud.

Daniel Alejandro Maldonado Jumbo

Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación.....	ii
Autoría.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de tablas:.....	xi
Índice de figuras:.....	xii
Índice de anexos:.....	xiii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
Abstract.....	3
3. Introducción.....	4
4. Marco teórico.....	6
4.1. Plantaciones forestales.....	6
4.2. Importancia de las plantaciones forestales.....	6
4.3. Procesos ecológicos en las plantaciones.....	7
4.4. Manejo de plantaciones forestales.....	7
4.5. Plantaciones de <i>Pinus patula</i>	8
4.5.1. Descripción dendrológica Pino.....	8
4.5.2. Distribución y ecología de la especie.....	9
4.5.3. Incidencia del pino en incendios forestales.....	9
4.6. Combustibles forestales en plantaciones forestales.....	9
4.6.1. Clasificación de combustibles forestales.....	10

4.6.2. Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares	11
4.7. Silvicultura preventiva en plantaciones forestales	11
4.7.1. Quemadas al barrer	11
4.7.2. Quemadas parciales.....	11
4.7.3. Quema progresiva	12
4.8. Incendio forestal.....	12
4.8.1. Causas de un incendio forestal	13
4.8.2. Tipos de incendios forestales	13
4.8.3. Impacto de los incendios forestales en el ecosistema.....	13
4.9. Incidencia meteorológica en incendios forestales	14
4.10. Triángulo de fuego	14
4.10.1. Combustible	15
4.10.2. Oxígeno	15
4.10.3. Reacción en cadena	15
4.10.4. Elementos del triángulo de la propagación del fuego	15
5. Metodología	17
5.1. Área de estudio.....	17
5.2 Metodología para estimar la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino (<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham) en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.....	17
5.2.1 Cuantificación del combustible forestal muerto.....	18
5.2.2. Establecimiento de líneas de intersección en cada parcela	18
5.2.3 Recolección de la hojarasca	18
5.2.4 Levantamiento del combustible forestal muerto	19
5.2.5 Determinación de la cantidad de combustible forestal muerto	19

5.2.6 Secado de hojarasca.....	20
5.3 Metodología para determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto y su relación con factores ambientales, en las plantaciones de pino (<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham)	21
5.3.1 Tiempo de ignición.....	22
5.3.2 Sostenibilidad	22
5.3.3 Combustibilidad	22
5.3.4 Altura de llama	22
5.3.5 Índice de inflamabilidad.....	23
5.3.6 Categoría de inflamabilidad	23
5.3.7. Factores ambientales y su relación con la cantidad de combustible forestal muerto	23
5.3.8 Análisis de datos.....	24
6. Resultados	25
6.1 Carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino (<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham) en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.....	25
6.1.1 Composición florística bajo la plantación de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	25
6.1.2 Carga total de combustible forestal muerto presente en las plantaciones forestales de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.	25
6.2 Determinación de inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto y su relación con factores ambientales en las plantaciones de pino (<i>Pinus patula</i> Schl. et Cham).	27
6.2.1 Determinación de las características para determinar la inflamabilidad.....	27
6.2.2 Inflamabilidad de los combustibles forestales muertos.....	31
6.2.3 Relación de la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto con los factores ambientales	32
7. Discusión.....	34

7.1 Carga de combustible forestal muerto en las plantaciones forestales de <i>Pinus patula</i> ..	34
7.2 Inflamabilidad del combustible forestal muerto en las plantaciones forestales de <i>Pinus patula</i>	35
8. Conclusiones	38
9. Recomendaciones.....	39
10. Bibliografía.....	40
11. Anexos.....	47

Índice de tablas:

Tabla 1. Clasificación del combustible forestal muerto, por su tamaño y tiempo de retardo ..	10
Tabla 2. Tamaños del combustible forestal muerto (Brown, 1982).....	19
Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del combustible forestal muerto (Díaz et al., 2015).....	19
Tabla 4. Hoja de campo para el levantamiento de información del combustible forestal muerto.....	20
Tabla 5. Valores y categorías de inflamabilidad.	23
Tabla 6. Composición florística de regeneración natural bajo la plantación forestal de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham.....	25
Tabla 7. Contenido de humedad de los combustibles forestales muertos en las plantaciones de pino anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.....	25
Tabla 8. Carga de combustible forestal muerto en las plantaciones de pino anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.....	26
Tabla 9. Estadísticas descriptivas de la inflamabilidad de los combustibles forestales muerto.	27
Tabla 10. Índices y categorías de inflamabilidad del combustible forestal muerto en las plantaciones de pino anexas al PUFVC por medio del método de Hachmi et al. (2011).	31
Tabla 11. Valores de coeficiente de correlación de Spearman entre los factores ambientales y la carga de combustible forestal muerto en la plantación de pino.	33

Índice de figuras:

Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales de pino anexas al PUFVC.	17
Figura 2. Transectos temporales con las líneas de intersección y categorías para la cuantificación del combustible forestal muerto.....	18
Figura 3. Esquema para la instalación de parcelas de hojarasca en una plantación de <i>Pinus patula</i>	19
Figura 4. Secado del material vegetal en estufa a 55 °C/ 24 hrs	21
Figura 5. Medición de las variables ambientales con la estación micro climática Krestel 3 500 en una plantación de <i>Pinus patula</i>	24
Figura 6. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	27
Figura 7. Distribución de los valores de tiempo de ignición del combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	28
Figura 8. Distribución de los valores de sostenibilidad del combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	29
Figura 9. Distribución de los valores de combustibilidad del combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	30
Figura 10. Distribución de los valores de altura de la llama del combustible forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	31
Figura 11. Análisis de clúster por medio de un dendrograma para la inflamabilidad de los combustibles forestal muerto de la plantación <i>Pinus patula</i>	32
Figura 12. Análisis de componentes principales para determinar la relación entre los factores ambientales y los combustibles forestales muerto en la plantación forestal de <i>Pinus patula</i> ..	33

Índice de anexos:

Anexo 1 . El contenido de humedad de los combustibles forestales.....	47
Anexo 2 . Composición florística que se desarrolla bajo las plantaciones.....	47
Anexo 3. Base de datos de Inflamabilidad de los combustibles forestales	49
Anexo 4. Certificado de traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular.....	51

1. Título

Inflamabilidad y carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de pino *Pinus patula* Schl. et Cham, en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro

2. Resumen

Los incendios forestales ponen en riesgo los beneficios socioeconómicos y ecológicos obtenidos de las plantaciones forestales, de tal modo lograr reducir su impacto. La prevención es una de las bases fundamentales en la lucha contra los incendios forestales. El objetivo de la investigación fue: determinar la carga de combustible forestal muerto y evaluar su relación con factores ambientales, en las plantaciones forestales de *Pinus patula* Schl. et Cham en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro de la ciudad de Loja. En la zona de estudio se instalaron 10 parcelas temporales de 20 x 5 m, dentro de cada parcela se trazaron líneas de intersección a 2, 4, y 6 m donde se registró la cantidad de combustible forestal muerto. Para calcular la carga de combustible y su relación con los factores ambientales se utilizaron variables como la cantidad de material de combustible, pendiente, humedad relativa, humedad absoluta, temperatura, velocidad máxima del viento y la profundidad de la hojarasca. La plantación forestal de *P. patula* presento una carga total de 46,06 Mg ha⁻¹, de los cuales la categoría de combustible mediano/regular registraron la mayor carga con un total de 20,59 Mg ha⁻¹. La humedad relativa, absoluta y la temperatura son los factores ambientales que influyen significativamente en la carga de combustible forestal muerto. La inflamabilidad de la carga de combustible presente en la plantación de pino es extremadamente inflamable, por lo que existe un alto riesgo de ignición y propagación de un incendio forestal en la zona de estudio.

Palabras clave: plantación, combustible, incendio, forestal

Abstract

Flammability and dead forest fuel load of *Pinus patula* Schl. et Cham pine plantations in areas adjacent to the University Park “Francisco Vivar Castro”.

Forest fires endanger the socioeconomic and ecological benefits obtained from forest plantations to reduce their impact. Prevention is one of the fundamental bases in the fight against forest fires. The research objective was to determine the load of dead forest fuel and evaluate its relationship with environmental factors in forest plantations of *Pinus patula* Schl. et Cham in areas adjacent to the Francisco Vivar Castro University Park in the city of Loja. Ten temporary plots of 20 x 5 m were installed in the study area. Within each plot, intersection lines were drawn at 2, 4, and 6 m where the amount of dead forest fuel was recorded. Variables such as the amount of fuel material, slope, relative humidity, absolute humidity, temperature, maximum wind speed, and litter depth were used to calculate the fuel load and its relationship to environmental factors. The *P. patula* forest plantation presented a total load of 46.06 Mg ha⁻¹, of which the medium/regular fuel category registered the highest load with a total of 20.59 Mg ha⁻¹. Relative and absolute humidity and temperature are environmental factors that significantly influence the dead forest fuel load. The flammability of the fuel load present in the pine plantation is extremely flammable, so there is a high risk of ignition and spread of a forest fire in the study area.

Key words: plantation, fuel, fire, wildfire, forest.

3. Introducción

Los bosques y las plantaciones forestales están relacionadas con el desarrollo de la vida en nuestro planeta por su función ecológica, ya que contribuyen a varias características ecológicas necesarias para mantener un ecosistema equilibrado como la regulación de la temperatura, la humedad, la protección del suelo y el refugio para los seres vivos (Lozano, 2021). Por ende, las plantaciones forestales son cruciales para la conservación y la gestión sostenible de los recursos naturales, ya que son fuentes de bienes y servicios ambientales esenciales para todos los seres vivos (FAO, 2010).

Las plantaciones forestales pueden albergar una amplia variedad de especies, algunas de las cuales se encuentran en peligro de extinción. Su importancia radica porque actúan como corredores ecológicos, facilitando de esta manera la movilidad de las especies presentes entre varios hábitats (Pan et al., 2011). Así mismo, son utilizados como sumideros de carbono, para la protección del suelo y del recurso hídrico y, para la extracción de madera que genera un desarrollo socioeconómico para las comunidades cercanas (Reed et al., 2018).

Algunos de los problemas que enfrentan las plantaciones forestales se centran en la falta de manejo forestal que podría desencadenar en un potencial riesgo de presentarse incendios forestales debido a la acumulación de combustible y a la presencia de especies vegetales inflamables que podrían ocasionar serios daños ecológicos, sociales y económicos (Cárdenas, 2010).

En Ecuador, los incendios forestales ocurren en un mayor porcentaje en la región Sierra. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE] (2020), Pichincha, Carchi, Tungurahua, Azuay, Guayas, Chimborazo y Loja son las provincias más afectadas. El 70 % de los casos se deben a los factores antrópicos, el 25 % se debe a la negligencia en las quemas agrícolas y el 5 % se debe a los factores naturales (rayos).

La cantidad de incendios forestales en la provincia de Loja ha aumentado en los últimos años, entre 2011 y 2020 se registraron 2 514 incendios. Para el año 2023, durante los meses de enero a septiembre, se registraron 123 incendios forestales en la provincia, 55 de los cuales se presentaron en el cantón Loja, lo que provocó la pérdida de 2 657,01 ha de cobertura vegetal. Estos incendios son un grave problema ambiental que causa pérdidas económicas y sociales (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos [SGR], 2023).

El desarrollo de un incendio forestal depende principalmente de la carga o cantidad de combustible forestal (ramas, troncos, hojarasca, etc.). Esta carga de combustible tiene un impacto en cómo comienza un incendio forestal, ya que es el único componente del triángulo del fuego que los humanos tienen la capacidad de controlar (Gould et al., 2008) y al no hacerlo,

aumenta la probabilidad de que ocurran, así como el grado de afectación a componentes ambientales como el suelo, la fauna y la vegetación; sin embargo existe poca información sobre el tipo y la cantidad de combustible forestal que se encuentra presente en las plantaciones forestales, aspecto que es de vital importancia para comprender la carga de combustible forestal muerto y aportar con elementos técnicos enmarcados en la prevención, mitigación y adaptación del fuego (Hernández, 2020) complementando así las estadísticas de incendios forestales, la cobertura vegetal afectada y los efectos en la biodiversidad (Troya, 2017).

La ciudad de Loja no escapa a esta realidad, existen áreas que han sido afectadas en múltiples ocasiones por los incendios forestales, tal es el caso del Parque Universitario Francisco Vivar Castro "PUFVC", área protegida de gran importancia por ser un remanente de varios ecosistemas, el último incendio registrado afectó 9,20 ha del ecosistema páramo dando como resultado una pérdida de diversidad (flora y fauna), degradación del suelo y crecimiento de especies invasoras (Sarango et al., 2019). La mayoría de los incendios forestales que afectan al PUFVC, ocurren en zonas aledañas (Aguirre y Yaguana, 2014) que brindan las condiciones para propagar el fuego incrementando el riesgo de un incendio forestal.

Por lo anteriormente mencionado, la investigación se desarrolló en las plantaciones forestales de pino anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro con el propósito de generar información que permita la toma de decisiones y reducir el riesgo en el caso de presentarse un incendio forestal, por lo que se plantearon las siguientes preguntas: a) ¿Cuál es la cantidad de combustible forestal muerto presente en la zona de plantación de *Pinus patula* Schl et Cham en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro?; y, b) ¿Qué factores ambientales influyen en la carga de combustible forestal muerto presente en la zona de plantación de *Pinus patula* Schl et Cham?, ante lo cual se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Generar información relacionada al contenido de combustibles forestales muertos y a su inflamabilidad en plantaciones forestales de *Pinus patula* Schl. et Cham de áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Objetivos específicos

- Estimar la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham) en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.
- Determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto y su relación con factores ambientales, en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham).

4. Marco teórico

4.1. Plantaciones forestales

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Food and Agriculture Organization [FAO], 2002), las plantaciones forestales se componen de árboles establecidos mediante plantación y/o mediante siembra deliberada de especies autóctonas o introducidas. El establecimiento se produce mediante la forestación de tierras que hasta entonces no estaban clasificadas como bosques, o la reforestación de tierras clasificadas como bosques, por ejemplo, tras un incendio o una tormenta o después de una tala. “En estas condiciones el ser humano puede controlar la genética, el crecimiento, la fertilidad, las relaciones híbridas y, en general, el desarrollo de los árboles” (Richter y Calvo, 1995).

Dependiendo del propósito de la plantación, FAO (2024), menciona que las plantaciones forestales pueden contener: Especies introducidas o indígenas que cumplen con los requisitos de una superficie mínima de 0,5 ha; una cubierta de copa de al menos el 10 por ciento de la cubierta de la tierra, y una altura total de los árboles adultos por encima de los 5 m. El introducir una especie exótica tiene sus ventajas como desventajas, pues su rápido crecimiento y su adaptabilidad generan una mejor restauración del ecosistema, pero si no hay el manejo adecuado, se pierden especies nativas del lugar.

4.2. Importancia de las plantaciones forestales

Barreiro (2015), explica que la deforestación para las actividades económicas como la explotación agrícola o ganadera llega a tener “un efecto similar al de quemar la piel de un ser humano, ya que los bosques ayudan a mantener el equilibrio ecológico y la biodiversidad”. Esta actividad económica también influye en el clima desajustando los periodos de lluvia y sol. Las plantaciones forestales controlan esta situación y previenen la erosión de las cuencas hidrográficas.

Las plantaciones forestales ayudan a la conservación de los recursos naturales protegiendo el suelo, el agua y, en particular, son cruciales porque ayudan a mitigar el cambio climático mediante su función de absorción de carbono. Además, son hogar de muchas especies de flora y fauna, lo que contribuye a la conservación del ecosistema (Karousakis, 2007), a lo que se suma una de las funciones principales que es la de reducir la presión hacía los bosques naturales pues proveen del recurso madera para las actividades de construcción, ebanistería, etc.

4.3. Procesos ecológicos en las plantaciones

Los procesos ecológicos que son una serie de procedimientos que involucran y ocurren en sistemas agrícolas, pecuarios, forestales, etc., estos procesos como el ciclo de nutrientes, las relaciones depredador-presa, entre otros, deben estar relacionados entre sí y con su ambiente para mantener un equilibrio en el ecosistema (Lindenmayer y Fischer, 2006). Se pueden identificar estos procesos utilizando algunos indicadores que son capaces de evaluar cómo se están produciendo, como el flujo de energía, la dinámica de las comunidades bióticas, los ciclos del agua y los ciclos de minerales y nutrientes (Rodríguez et al., 2009).

4.4. Manejo de plantaciones forestales

Para FAO (2024) la gestión forestal sostenible “implica diversos grados de intervención humana, (...) destinadas a salvaguardar y mantener los ecosistemas forestales y sus funciones (...) favorecen a determinadas especies o grupos de especies de valor social o económico para mejorar la producción de bienes y servicios”. El gestionar los bosques de una manera equilibrada permite que estos se mantengan, así como permitirle al mundo gozar de ellos sin afectarles negativamente.

Las técnicas para el manejo forestal no son aplicables para todos los bosques, Von Gadow, Sánchez y Aguirre (2004) manifiestan que no se aplican matarrasas, que se prefieren especies arbóreas adecuadas al sitio y que se fomenta la regeneración natural. La consecuencia práctica de estas acciones es el desarrollo a gran escala de bosques mixtos e irregulares con estructuras complejas. Dada la complejidad de las estructuras y la gran cantidad de opciones silvícolas posibles, se tiene la obligación de establecer nuevos métodos de manejo forestal; específicamente métodos de inventario, de planificación y de control.

En Ecuador, al ser un país con una gran diversidad de flora y fauna, además de plantaciones extensas se ha tratado de cuidar, preservar y mantener dichas plantaciones. Constantemente se hacen esfuerzos, pero no solo depende de disposiciones ministeriales, sino de esfuerzos por parte de la misma población, así como de fuentes de financiación. El Ministerio de Agronomía y Ganadería (2020) expresó que “unen esfuerzos con los gobiernos autónomos descentralizados para establecer plantaciones forestales; fomentan el establecimiento de sistemas agroforestales y silvopasturas que tienen doble propósito y son importantes sumideros de carbón; trabajan en buenas prácticas forestales para que los productos tengan certificaciones FCC y pueden mejorar su comercialización en Europa, así como mejoran la normativa para tener una mayor trazabilidad en los productos”.

Sin embargo, todos estos planes todavía no se concretan, así que organizaciones no gubernamentales también están trabajando, pero no es suficiente en algunos sectores. Un caso

de esto es el estudio que se realizó en la provincia de Esmeraldas, Velasco *et al.* (2024) concluyó que “la sostenibilidad se presenta en peligro, con probabilidades medias a bajas de persistencia en los próximos 15 años”. Todo por el poco cuidado junto con el crecimiento de la población y el espacio que estos usan para habitar. Podríamos decir que, si bien hay planes y estrategias de manejo para la conversación y preservación, todavía hay lugares que no reciben esa atención lo que lleva a una posible pérdida de estos espacios forestales.

4.5. Plantaciones de *Pinus patula*

Según Eguiluz (1986) el *Pinus patula* es un magnífico árbol que suele formar rodales mixtos o puros de gran valor comercial. La rectitud y nitidez de su fuste despertaron el interés de los silvicultores y criadores de árboles, que empezaron a probar esta especie en varios países del cinturón tropical. Estos árboles pueden alcanzar una altura de 20 a 40 metros y tienen algunas características que los distinguen como ser rojizos, con conos fuertes y grandes.

Las partes vegetativas de especie como sus raíces, hojas y tallos suelen ser combustibles forestales o biomasa producida, que al contacto con otros factores meteorológicos caen y se depositan en el suelo forestal, formando una gran capa de hojarasca que puede ser esencial para el comienzo de un incendio forestal a lo largo del tiempo (Walker *et al.*, 2020). No obstante, cuenta con una gran capacidad de germinación natural, que se produce principalmente en áreas elevadas donde el suelo está expuesto y hay muchas áreas abiertas como pastizales y matorrales.

La madera de esta especie generalmente tiene una textura gruesa e irregular y un brillo bajo, pero si se mantiene bien y se cuida, se puede obtener una madera blanda y liviana con baja cantidad de nudos (Vozzo, 2003).

4.5.1. Descripción dendrológica Pino

Pinus patula Schl. et Cham es “una especie mexicana con un amplio rango de distribución natural, la preferencia que se le da a esta especie se debe a su rápido crecimiento, amplio grado de adaptación, fustes relativamente rectos libres de nudos, con un bajo contenido de resinas” (Márquez, *et al.*, 2020). Mide de 10 a 25 metros, con la corteza roja; sus hojas llegan a mediar hasta 20 cm, su forma es delgada y de color verde claro. “Esta especie tiene yemas amarillentas, largas y erguidas; tiene dos haces fibrovasculares y sus canales resiníferos son medios; a veces tiene uno o dos internos” (Chuquín, 1990, citado por Trejo, 2011).

Los conillos son laterales, algo atenuados en ambas extremidades, con las escamas extendidas y provista de una punta fina y caediza. Conos largamente cónicos, de 7 a 9 cm., a veces hasta 12, duros, sésiles reflejados, algo encorvados, oblicuos y puntiagudos; por lo general agrupados, en conjunto de 3 a 6. Frecuentemente se ve en el tronco y en las ramas

gruesas en este caso suelen ser solitarios, quedando embutidos en la corteza. Su color es amarillento ocre con tinte rojizo, lustroso. Son tensamente persistentes (no se separan de la ramilla, aunque esta muera y se desprende del árbol) y se abren parcialmente en diferentes épocas (Trejo, 2011).

4.5.2. Distribución y ecología de la especie

Pinus patula, también conocida como pino, es una especie de árbol de la familia de las Pináceas que proviene de México y se puede encontrar en una amplia gama de ecosistemas, desde bosques tropicales hasta bosques templados. En la actualidad, se encuentra en el centro y sur de América, aunque también se ha extendido a Sudáfrica y al este de África. En Ecuador, se encuentra principalmente en la serranía ecuatoriana (Carrere, 2005). Esta especie vive en altitudes de 450 a 2 400 m s.n.m. y se adapta a una amplia gama de escenarios edáficos. En condiciones climáticas, necesita temperaturas de 14 a 22 grados centígrados y lluvias anuales de 1 000 a 2 400 ml. (Vinueza, 2013).

El pino es considerado una especie pionera en términos ecológicos porque puede colonizar rápidamente zonas perturbadas o degradadas. Según un estudio de López-Upton *et al.* (2004), esta especie puede germinar y establecerse en suelos con bajo contenido de nutrientes y en lugares con altas temperaturas. Esta especie se adapta fácilmente a una variedad de condiciones climáticas, y puede crecer en climas cálidos, húmedos, fríos y secos. Además, es muy resistente a enfermedades y plagas, lo que la hace una especie resistente y de rápida regeneración (Ruiz, 2004).

4.5.3. Incidencia del pino en incendios forestales

Los pinos generan hojarasca rápidamente inflamable con un bajo radio de empaquetamiento (por ejemplo, hojas finas y grandes) que potencian los incendios del bosque. Debido a su contenido de resina, un combustible extremadamente volátil, los pinos suelen ser altamente inflamables. Esto hace que los incendios sean más intensos y difíciles de controlar en áreas donde los pinos son la mayoría (Pausas et al., 2017).

4.6. Combustibles forestales en plantaciones forestales

El término “combustibles forestales” se refiere a la vegetación viva y/o muerta que resulta del ciclo que naturalmente se produce, además de las intervenciones del ser humano y que se convierte en material disponible para la propagación de incendios forestales. Estos generalmente incluyen copas, ramas, follaje y trozos de árboles que han sido destruidos por la tala. En términos generales, los desechos también incluyen árboles caídos por el viento, muertos, sotobosque vivo y, en general, toda la vegetación del bosque. Estos combustibles

también pueden provenir de los desechos de la zona después de la cosecha o del producto de las podas y raleos (Elizalde, 1994).

Chávez y Rodríguez (2016) manifiestan que “el manejo inadecuado de los residuos presentes en el sector, generan efectos nocivos sobre el medio ambiente, ya que favorece la propagación de incendios afectando zonas aledañas naturales y la proliferación de plagas a otros cultivos”. La especie es favorable para que un incendio se desate más rápido por lo que hay que controlar que en los espacios en los que esta plantada tengan una constante vigilancia. Por lo tanto, para reducir el material vegetal acumulado a través de técnicas como la tala selectiva, la quema controlada y la limpieza de áreas cercanas a estructuras, es fundamental el manejo adecuado de los combustibles forestales. Sin embargo, la quema de estos materiales genera emisiones de contaminantes atmosféricos, como gases de efecto invernadero y partículas finas, que contribuyen al cambio climático y afectan la calidad del aire (Granda, 2024).

4.6.1. Clasificación de combustibles forestales

Los combustibles forestales vivos se clasifican según el tipo de material. El material pequeño es madera que se descompone rápidamente y se quema fácilmente en incendios forestales. El material mediano es madera de copas y ramas de 1,25 a 10 cm de diámetro. El material grande es madera como troncos desechados y otras maderas de más de 10 cm de diámetro (Haltenhoff, 1997).

Brown (1982) comenta que la vegetación forestal se compone de plantas vivas y muertas, tanto en pie como derribadas. El tamaño de las plantas varía desde pequeñas hierbas y plantas herbáceas hasta grandes arbustos y árboles. Los trozos de vegetación considerados como partículas combustibles varían en tamaño desde pequeñas hojas, agujas y ramitas hasta grandes ramas y troncos de árboles. La vegetación y los combustibles con características físicas similares, que pueden muestrearse adecuadamente utilizando la misma técnica, pueden agruparse de la siguiente manera: (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del combustible forestal muerto, por su tamaño y tiempo de retardo

Diámetro (cm)	Tiempo de retardo (Horas)	Tamaño y peso
< 0,6	1	Fino/Liviano
0,61 – 2,5	10	Pequeño/ligero
2,51 – 7,5	100	Regulares/Medianos
>7,51	1000	Grandes/ Pesados Firmes
>7,51	1000	Grandes/ Pesados Podridos

Modificado de Brown (1982)

4.6.2. Evaluación de combustibles forestales por intersecciones planares

La técnica de intersecciones planares descrita por Brown se utiliza para evaluar los estudios sobre la disponibilidad de material forestal dentro del lugar de estudio. Esta técnica fue adaptada por Carmona (2011), quien menciona que este método puede ser utilizado para cualquier tipo de vegetación, incluso para material forestal muerto o combustible forestal muerto. Las evaluaciones in situ realizadas con inventarios específicos son las más precisas, el método consiste en calcular el número de intersecciones entre las piezas leñosas y la piola divisora. En los planos de muestreo vertical, se cuentan los materiales muertos como hojas, ramas, ramitas y troncos, y en el terreno, las líneas de muestreo se dividen según la clasificación del combustible forestal muerto (Brown, 1982).

4.7. Silvicultura preventiva en plantaciones forestales

El manejo de plantaciones tiene como objetivo mantener, fomentar y reducir la competencia entre los árboles y los cultivos por nutrientes, luz, agua y otros recursos (Instituto Ecuatoriano Forestal y de Áreas Naturales y de Vida Silvestre [INEFAN], 1998). Esto se logra mediante actividades como la poda y el raleo. No obstante, estas acciones tienen un efecto secundario debido a que liberan una gran cantidad y volumen de combustible forestal en el área, lo que es fundamental para la propagación del fuego. Para combatir la acumulación de combustible forestal, se utilizan diversas técnicas de silvicultura preventiva en las plantaciones.

4.7.1. Quemadas al barrer

Es esencial establecer un camino cortafuego alrededor de los límites del área para aumentar la seguridad en el control del fuego porque este tipo de quema es necesario para evitar que el fuego se propague fuera del área. En áreas extensas, es necesario dividirla en parcelas que pueden ser tratadas de una vez o gradualmente dependiendo de la cantidad de combustible presente en la zona, la inflamabilidad de los desechos y la dificultad de controlar el fuego (Haltenhoff, 2006).

4.7.2. Quemadas parciales

Las quemadas parciales son técnicas de manejo del fuego que controlan y dirigen el avance del fuego mediante el control y la aplicación del fuego en pequeñas áreas de terreno. Este tipo de quema generalmente se utiliza con el objetivo de reducir la carga de combustibles forestales en la zona, lo que reduce la intensidad y el alcance del incendio y facilita su control (Haltenhoff, 2006).

4.7.3. Quema progresiva

Esta quema combina la acumulación, el amontonamiento y la quema de desechos en un solo proceso, lo que reduce los costos generales de supervisión y permite un control adecuado del fuego durante la quema. La quema progresiva tiene grandes ventajas sobre los demás métodos de manejo de desechos porque se puede usar en tiempo húmedo, aunque se necesita algún tiempo para comenzar el fuego. Por lo tanto, los daños a la repoblación y la masa residual son mínimos y con esta técnica se elimina el peligro tan pronto como se crea (Haltenhoff, 2006).

4.8. Incendio forestal

La vida en este planeta depende de las zonas forestales, ya que juegan un papel importante en los ciclos de producción y distribución del agua, además de purificar el aire que respiramos capturando el CO₂ y liberando oxígeno. Estas áreas proporcionan alimento, medicina y refugio a los seres vivos, regulan la temperatura y la humedad y son fuente de materia prima para una variedad de actividades humanas. Varios factores que no están relacionados con las actividades forestales amenazan estos procesos cruciales, como la degradación del suelo, la deforestación, la tala inmoderada y los incendios no controlados que están relacionados con otras actividades como la agricultura, la ganadería y el desarrollo urbano (Plana, 2016).

Si bien el fuego puede ser un problema, su existencia es importante para la eliminación de plagas y control de especies invasoras; y la regeneración del suelo por los minerales que puede traer. Sin embargo, el uso inadecuado del fuego puede tener efectos perjudiciales en el ecosistema, así como en la salud y seguridad de las personas (Cárdenas, 2010).

Los combustibles vegetales son uno de los principales componentes del comportamiento del fuego porque tienen características como la inflamabilidad y la humedad, que son esenciales para la ignición y el comportamiento del fuego. Las coberturas vegetales están relacionadas con la dinámica del fuego y varios factores climáticos la afectan (Parra y Bernal-Toro, 2011).

Un incendio no controlado puede ocurrir de forma regular, gradual o instantánea y causar grandes pérdidas materiales, económicas y, sobre todo, graves daños al entorno. MAATE (2019) define un incendio forestal como cuando uno o varios materiales combustibles en áreas cubiertas de vegetación son consumidos de forma incontrolada por el fuego, que puede salir de control y extenderse fácilmente por extensas áreas. Además, la Comisión Nacional Forestal (2010) afirma que un incendio forestal sucede cuando el fuego no puede ser controlado y arracha con varias hectáreas del bosque.

4.8.1. Causas de un incendio forestal

Los incendios forestales pueden ocurrir en cualquier época del año, dependiendo principalmente de la cantidad de materia combustible y las condiciones meteorológicas en el sitio. De acuerdo con la Secretaría de Gestión de Riesgos (2023), hay algunas causas que contribuyen a los incendios forestales, tales como la erupción de un volcán o la caída de rayos; un aumento abrupto de la temperatura; vientos fuertes; causas antrópicas, como la presencia de fogatas y cigarrillos; y por un manejo inadecuado del fuego en la agricultura.

4.8.2. Tipos de incendios forestales

Los incendios forestales suelen ser más comunes debido a la disponibilidad de combustible forestal y factores meteorológicos. Por lo tanto, estos incendios tienen un comportamiento diferente. Los incendios pueden propagarse a lo largo de la superficie del suelo, debajo del suelo o incluso por encima del suelo, y cada comportamiento del fuego tiene una nomenclatura (Cochrane 2010).

4.8.3. Impacto de los incendios forestales en el ecosistema

Los efectos de un incendio forestal pueden ser significativos tanto a nivel ambiental como socioeconómico porque los incendios forestales tienen el potencial de destruir hábitats naturales y provocar la extinción de especies vegetales y animales, lo que tendrá efectos a largo plazo en la diversidad de especies y la composición biológica de los ecosistemas (Margalef et al., 2017).

Los incendios pueden quemar la capa orgánica del suelo, lo que afecta su estructura y fertilidad. Además, la ausencia de protección vegetal después de un incendio puede resultar en la erosión del suelo como resultado de la escorrentía de agua. Cuando las alteraciones del lugar, como los incendios graves, producen condiciones hidrológicas deficientes (menos del 10 % de la superficie del suelo cubierta de plantas y hojarasca), la escorrentía superficial puede aumentar más de un 70 % y la erosión puede incrementarse en tres órdenes de magnitud, según un estudio de Robichaud *et al.* (2000), esto se debe a la infraestructura destruida, la pérdida de cultivos y los daños a la industria forestal.

Los incendios forestales tienen un impacto significativo en la diversidad biológica de un ecosistema, ya que son una fuente importante de emisión de carbono y otras partículas (Davies y Unam, 1999), alteran el volumen de biomasa y disminuyen significativamente las actividades fotosintéticas de las plantas, y afectan negativamente la salud humana y animal (Urzúa, 2011).

Los efectos de los incendios forestales dependen de tres aspectos: intensidad, recurrencia y la duración del incendio. Estos efectos pueden incluir la pérdida de animales, la pérdida de vegetación y la degradación del suelo. Por otro lado, los efectos indirectos incluyen la contaminación del agua y la erosión del suelo, así como el ensuciamiento de represas y deslizamientos de tierra (Ubeda y Sarricolea, 2016).

4.9. Incidencia meteorológica en incendios forestales

La humedad relativa, la velocidad del viento, la temperatura y la precipitación son algunas de las variables que afectan el comportamiento de un incendio forestal, incluida la propagación, la duración y la intensidad. “La velocidad del viento contribuye en la intensidad de un incendio forestal al reducir la cantidad de humedad en la vegetación y al proveer oxígeno para la combustión” (Pazmiño, 2019).

“La inflamabilidad y la distribución de la vegetación están relacionadas con la intensidad de un incendio forestal, pero estas se controlan por la precipitación en diferentes épocas del año” (Pazmiño, 2019). Además, la altitud y el tipo de suelo aumentan la ocurrencia y la intensidad de los incendios forestales.

El contenido de humedad de los combustibles es crucial porque está directamente relacionado con la probabilidad de que comience un incendio forestal cuando el combustible forestal cae al suelo, donde la temperatura reduce el contenido de humedad del combustible, lo que provoca el incendio, las tormentas secas son el fenómeno meteorológico más común que causa incendios forestales, ya que se acompañan de vientos fuertes y poca precipitación, lo que aumenta la probabilidad de que los rayos causen incendios forestales en áreas con poca humedad (Almarza, 2004).

4.10. Triángulo de fuego

El concepto de fuego se usa para prevenir y controlar los incendios y representa los tres componentes esenciales necesarios para que se produzca y mantenga un incendio: una reacción química de combustión que oxida una sustancia rápidamente, generando calor y luz, y cuando esta reacción no está completa, genera humo y gases. Según Segovia (2019), la combustión es la interacción de elementos esenciales que permiten la ignición de un fuego. Estos elementos incluyen oxígeno, calor y combustible. El triángulo del fuego representa los tres elementos esenciales del fuego: combustible, oxígeno y calor. Sin embargo, cuando un elemento falta, el fuego se extinguirá.

4.10.1. Combustible

Los combustibles son aquella sustancia que sean capaz de encenderse y mantener un proceso de combustión (quemarse). Los combustibles pueden ser sólidos, líquidos o gases, ya sea en su estado natural o en su forma preparada. Generalmente, el combustible libera energía de su estado potencial a su estado utilizable, ya sea directamente o mecánicamente, produciendo calor como residuo y cambiando o transformando su estructura química durante la combustión (Byram, 1959).

El combustible de un ecosistema es aquel material vegetal presente en el ecosistema, compuesto por materiales leñosos y ligeros de madera viva o muerta que puede quemarse y encenderse cuando se expone a fuentes de calor. Los materiales vegetales se clasifican según peso, tamaño, estado de descomposición, ubicación y tiempo de retardo (Brown, 1982). Los combustibles forestales, que son manipulables, son uno de los componentes más cruciales en el manejo y control de los incendios.

4.10.2. Oxígeno

Debido a que se presenta en el aire, el oxígeno actúa como oxidante, lo que permite el proceso de oxidación y la propagación del fuego. La oxidación es un proceso fisicoquímico que ocurre naturalmente en seres vivos y materia inorgánica (García, 2016). El proceso transforma sustancias y compuestos químicos y genera energía. Cualquier sustancia capaz de oxidar un combustible puede producir fuego, pero para que pueda producirse fuego, debe existir una mezcla entre los vapores o gases combustibles y el oxígeno (Laborales, 2014).

4.10.3. Reacción en cadena

Según la Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales (2014), la reacción en cadena es lo que permite que la reacción progrese y se mantenga una vez que se inicia el fuego. En ocasiones, incluso cuando los tres factores están combinados en tiempo y lugar y con una intensidad adecuada, la reacción no avanza porque el ambiente no puede disipar todo el calor que se produce. La liberación de energía producida por una reacción inicial se conoce como reacción en cadena. Estas reacciones en cadena, que pueden ser exotérmicas o endotérmicas, rompen los enlaces químicos entre los reactantes y liberan energía para provocar reacciones adicionales.

4.10.4. Elementos del triángulo de la propagación del fuego

La mayoría de los incendios forestales son predecibles porque se conocen adecuadamente los factores ambientales que influyen en la ignición y propagación del fuego. Los tres factores que contribuyen a la propagación del fuego son la conducción o contacto

directo con los combustibles, la convención y la radiación. Sin embargo, hay muchos factores climáticos, topográficos y vegetales que influyen en el comportamiento del fuego (Moreno, 2009).

La humedad relativa del aire tiene un impacto similar al de las altas temperaturas cuando los niveles son bajos (menos del 40 %). Esto se debe a que contribuye a disminuir el contenido de humedad de la vegetación, lo que reduce la humedad de equilibrio, y esto tiene un impacto en la disminución del nivel de energía exterior necesario para provocar la ignición.

El viento ayuda a acelerar la desecación de la vegetación y aumenta la cantidad de oxígeno y la velocidad de propagación, solo afecta un área específica del incendio y las precipitaciones son cruciales porque pueden afectar el estado del combustible y la cantidad de calor requerida (Prados, 2017).

Dado que los cambios en la pendiente alteran el estado del fuego, la topografía tiene un impacto directo en el comportamiento de un incendio. Los factores más influyentes incluyen la altitud, la posición en relación con la pendiente, la orientación, la altitud y la rugosidad del terreno. Los elementos vegetales se refieren a los combustibles forestales y su impacto en el comportamiento del fuego en los incendios forestales. Dependiendo de la cantidad, continuidad, calidad y contenido de humedad del combustible, este factor es extremadamente variable (MetEd, 2016).

Todo lo que hay en el bosque es combustible y es un componente del triángulo del fuego. Los combustibles forestales se pueden dividir en combustibles aéreos y superficiales según su ubicación. Los combustibles aéreos pueden incluir materiales vivos o muertos como gramíneas, hierba, arbustos, humus, turbas y hojas, ramas y/o trocos caídos (Ramos et al., 2013).

Debido a que la humedad tiene un impacto significativo en la cantidad de calor necesaria para que el combustible se quemara, la humedad tiene un impacto en la probabilidad de que se inicie un incendio. Debe de existir una diferencia entre el estrato vegetal y el contenido de los combustibles que están en el suelo. (Gould *et al.*, 2011).

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La investigación se realizó en plantaciones forestales de *Pinus patula*, anexas al Parque Universitario “Francisco Vivar Castro” (PUFVC), provincia y cantón de Loja, parroquia Punzara, las cuales son propiedad del Lic. Pío Oswaldo Cueva. El área posee una superficie de 8 ha, y se encuentra en un rango altitudinal de 2 430 a 2 560 m s.n.m., localizado entre las coordenadas geográficas: 79° 11' 11" y 79° 11' 12" Longitud Oeste; 04° 02' 29" y 04° 02' 30" Latitud Sur (Figura 1). Su precipitación media anual es de 955 mm/año, con una temperatura media anual de 16,2 °C, y la humedad relativa de 71,56 % (Sarango et al, 2019).

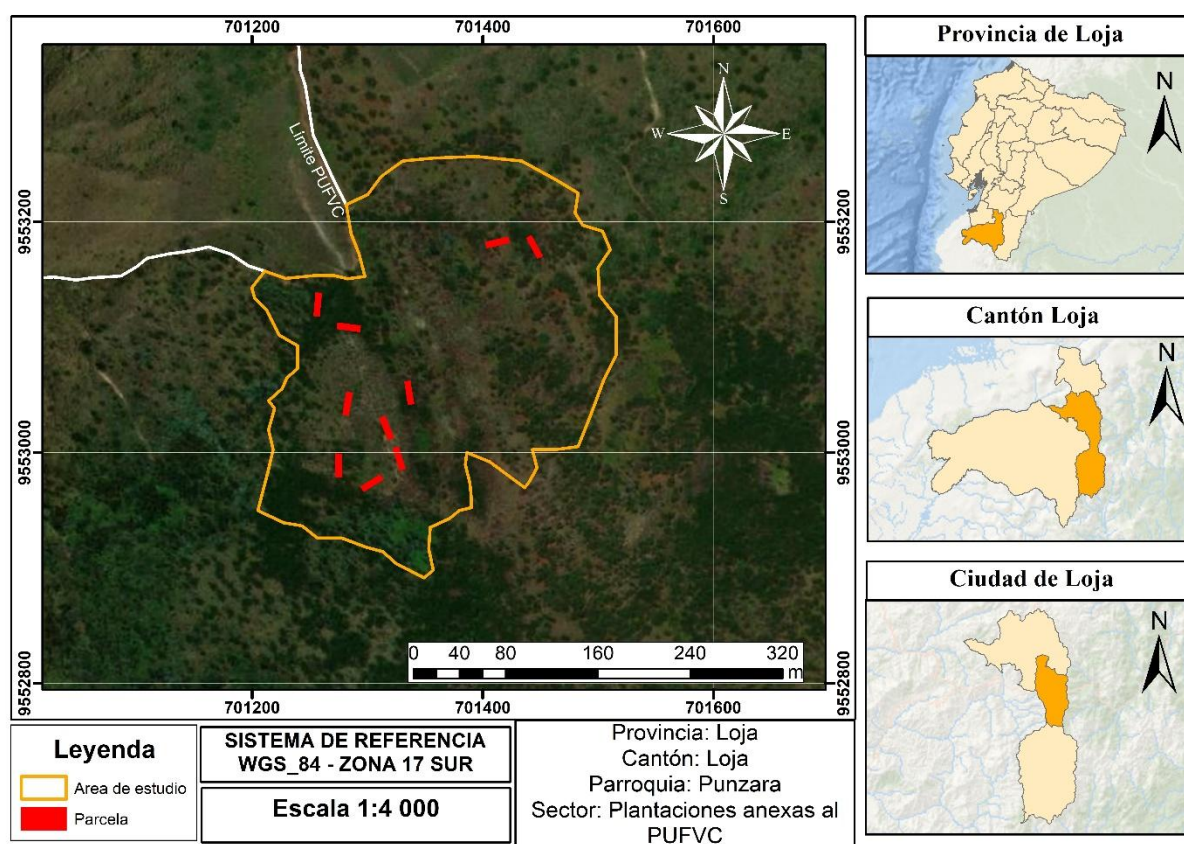


Figura 1. Ubicación geográfica de las plantaciones forestales de pino anexas al PUFVC.

5.2 Metodología para estimar la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham) en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Previo a la cuantificación de la cantidad de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino se caracterizó la composición florística que se desarrolla bajo las plantaciones, para lo cual se implementaron 10 transectos temporales bajo la plantación, se utilizó un diseño sistemático en donde se registraron todos los individuos ≥ 5 cm de diámetro a

la altura del pecho (DAP). Además, se registró la altura total (HT, m) de cada uno de los individuos, para ello se utilizó la cinta diamétrica y el hipsómetro Sunnto, respectivamente.

5.2.1 Cuantificación del combustible forestal muerto

Para la cuantificación de la cantidad de combustible forestal muerto, se utilizó la metodología de líneas o intersecciones planares propuesta por Brown (1982), adaptada para las plantaciones forestales.

5.2.2. Establecimiento de líneas de intersección en cada parcela

Se instalaron 10 transectos temporales de 5×20 m ($1\ 000$ m²) donde se delimitaron las líneas de intersección planares a 2, 4, 6 y 20 m según las categorías de los combustibles (Figura 2).

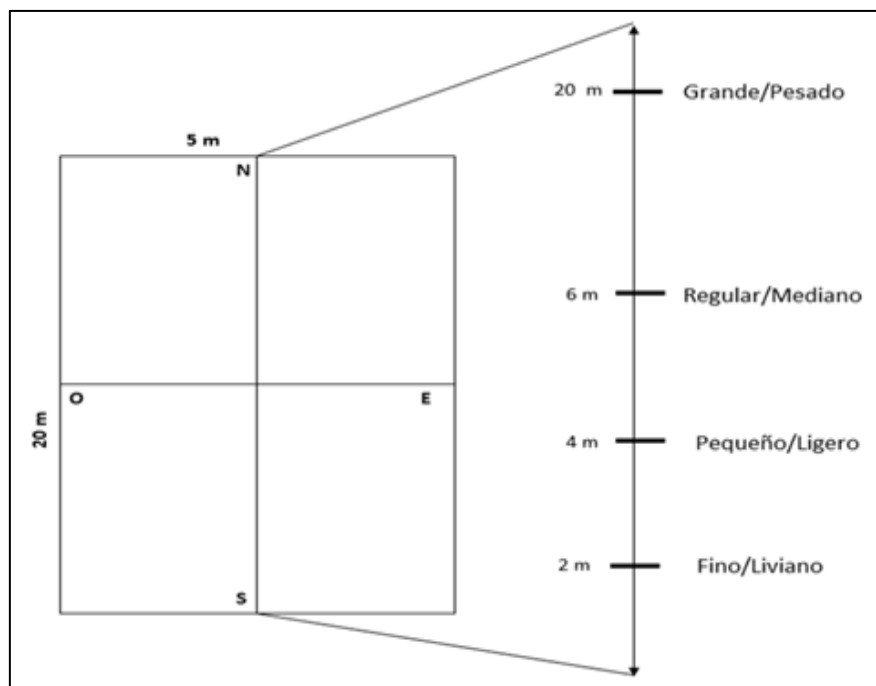


Figura 2. Transectos temporales con las líneas de intersección y categorías para la cuantificación del combustible forestal muerto.

5.2.3 Recolección de la hojarasca

La recolección de la hojarasca se realizó mediante la instalación de dos cuadrantes en cada parcela con una superficie de 50×50 cm (Figura 3) en donde se colectó el material vegetal, y etiquetó en fundas plásticas, mientras que la profundidad se midió en cada uno de los cuadrantes instalados con ayuda de una cinta métrica.

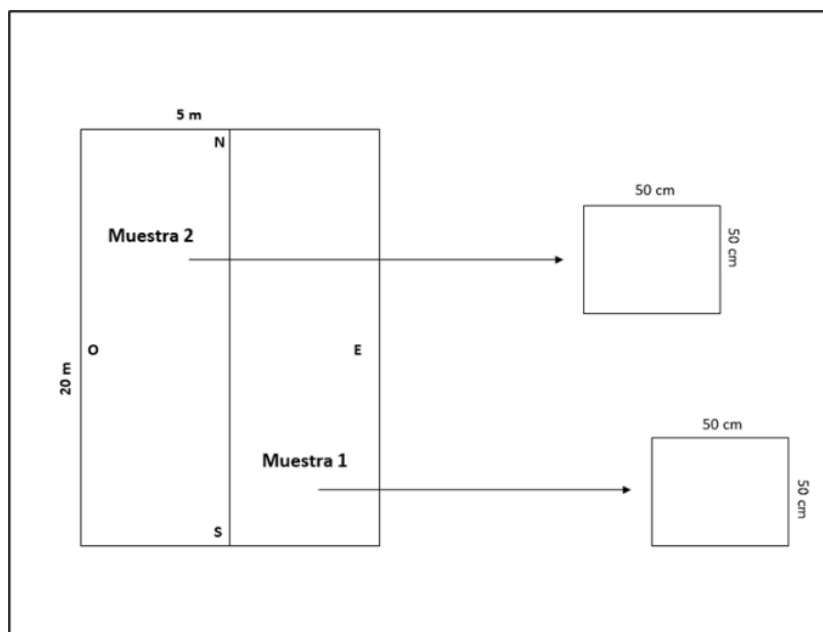


Figura 3. Esquema para la instalación de parcelas de hojarasca en una plantación de *Pinus patula*.

5.2.4 Levantamiento del combustible forestal muerto

A lo largo de las líneas planares se registró la frecuencia y diámetro de los combustibles forestales clasificados por su tamaño y peso en: livianos, ligeros, medianos y pesados, considerando el estado del material como firme o podrido para todas las categorías (Tabla 2).

Tabla 2. Tamaños del combustible forestal muerto (Brown, 1982).

Diámetro (cm)	Tiempo de retardo (horas)	Tamaño y peso	Distancia de medición (m)
< 0,6	1	Finos/Livianos	0 - 2
0,61 – 2,5	10	Pequeños/Ligeros	0 - 4
2,51 – 7,5	100	Regulares/ Mediano	0 - 6
> 7,51	1 000	Grandes/Pesados Firmes	0 - 20
> 7,51	1 000	Grandes/Pesados Podridos	0 - 20

5.2.5 Determinación de la cantidad de combustible forestal muerto

El cálculo de los pesos de material combustible muerto se lo realizó mediante la aplicación de las fórmulas sugeridas por Díaz (2015) (Tabla 3).

Tabla 3. Fórmulas para el cálculo del combustible forestal muerto (Díaz et al., 2015).

Tamaño de clase (cm)	Fórmula
< a 0,6	$P = \frac{0,484 * f * c}{NI}$
0,61 – 2,5	$P = \frac{3,369 * f * c}{NI}$
2,51 – 7,5	$P = \frac{36,808 * f * c}{NI}$

$> 7,51$ (firmes)	$P = \frac{1,46 * d^2 * c}{NI}$
$> 7,51$ (elementos podridos)	$P = \frac{1,21 * d^2 * c}{NI}$

Los valores 0,484; 3,369; 36,808; 1,46 y 1,21, corresponden a los pesos específicos por cada clase

donde:

P : es el peso de combustible ($Mg\ ha^{-1}$)

f : es la frecuencia o número de intercepciones

c : factor de corrección por pendiente

d^2 : suma de cuadrados de los diámetros de ramas y trozas

NI : es la longitud total de la línea de muestreo o suma de longitudes de las líneas.

El factor de corrección de pendiente, fue estimado con la ecuación propuesta por Brown (1974).

$$c = \sqrt{1 + (\% \text{ pendiente} / 100)^2}$$

El levantamiento de información se lo realizó en una hoja de campo, la cual organizó la información por plantación, parcela y categoría de combustible (Tabla 4).

Tabla 4. Hoja de campo para el levantamiento de información del combustible forestal muerto.

Fecha:		Hora:						
Parcela Nro.:		Ecosistema:						
Coordenadas UTM		Elevación: m s n m			Pendiente (%):			
Código	Pendiente (%)	Profundidad Ho (cm)	Peso (g)	0 -0,60 cm	0,61 - 2,5 cm	2,51 - 7,6 cm	>7,61 firme	>7,61 podrido

5.2.6 Secado de hojarasca

El secado de la hojarasca se realizó en el laboratorio de Fisiología Vegetal de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, en donde se colectaron 20 muestras que fueron depositadas en la estufa con temperatura de 55 °C. La toma de datos se realizó diariamente en el transcurso de 8 días, hasta que las muestras alcanzaron un peso estable, con lo que se procedió a calcular la carga de combustible (Figura 4).



Figura 4. Secado del material vegetal en estufa a 55 °C/ 24 hrs

5.3 Metodología para determinar la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto y su relación con factores ambientales, en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham)

La inflamabilidad se la calculó bajo condiciones de laboratorio, por lo que se trabajó con las muestras recolectadas. Con la información del peso húmedo y seco se calculó el contenido de humedad en base húmeda de las muestras (Rochas, 1994; Hernando y Elvira, 1989), utilizando la siguiente formula:

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

donde:

CH % = Contenido de humedad en base húmeda

Ph = Peso húmedo (g)

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

Las características o propiedades de la inflamabilidad se evaluaron acorde a la metodología desarrollada por Hachmi et al. (2011). Se utilizaron muestras vegetales secas con un peso de 5 g con un número de 20 repeticiones, en total se utilizó 100 g secos.

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

5.3.1 Tiempo de ignición

El tiempo de ignición es el tiempo transcurrido desde que se expone la muestra a la fuente de calor hasta que entra en ignición (aparición de llama). Se representó en segundos y para el cálculo del tiempo de ignición y se utilizó un cronómetro para su calculo (Hachmi et al., 2011).

5.3.2 Sostenibilidad

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

$$TC = tf - ti$$

donde:

TC = sostenibilidad de la llama (s)

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

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

(Hachmi et al., 2011).

5.3.3 Combustibilidad

La combustibilidad es la capacidad que tiene un material para arder cuando se expone al fuego (Bianchi et al., 2014). Para determinar la combustibilidad se aplicó la siguiente fórmula

$$Ci = \left(\frac{Wf - Wi}{tf - ti} \right)$$

donde:

C = combustibilidad (g/s)

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

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

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

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

(Hachmi et al., 2011).

5.3.4 Altura de llama

Es la medida vertical máxima desde la superficie hasta la punta de la llama (Ramos et al., 2019). Para el cálculo en la altura que alcanzó la llama se tomó en cuenta desde la base donde estuvieron depositadas las muestras hasta el punto máximo que se logró evidenciar con ayuda de una regla graduada pegada a la pared.

5.3.5 Índice de inflamabilidad

A partir de los datos obtenidos se obtuvo el índice de inflamabilidad utilizando la siguiente fórmula:

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

donde:

FI= índice de inflamabilidad

TC = sostenibilidad (s)

TI = tiempo de ignición (s)

FH = altura de la llama (cm)

(Hachmi et al., 2011).

5.3.6 Categoría de inflamabilidad

Para determinar la categoría de inflamabilidad se utilizaron los valores acordes a la metodología desarrollada por Hachmi et al. (2011) (Tabla 5).

Tabla 5. Valores y categorías de inflamabilidad.

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

5.3.7. Factores ambientales y su relación con la cantidad de combustible forestal muerto

Para determinar la relación de factores ambientales en la cantidad de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales, se midió variables topográficas y ambientales como: pendiente, profundidad de hojarasca, velocidad del viento, temperatura, humedad relativa y humedad absoluta, para ello se utilizó la estación micro climática Krestel 3 500 (Figura 5).



Figura 5. Medición de las variables ambientales con la estación micro climática Kestrel 3 500 en una plantación de *Pinus patula*.

5.3.8 Análisis de datos

Una vez que se organizó los valores en una base de datos se procedió a obtener estadísticas descriptivas utilizando el programa estadístico InfoStat versión estudiantil. Con los valores de los factores ambientales y la cantidad de combustible, se realizó un análisis de componentes principales (APC). Se eliminaron las variables que presentaron correlación y con las restantes se realizó un análisis de correlación de Spearman para medir la fuerza y dirección de la asociación en dos variables.

6. Resultados

6.1 Carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham) en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro

6.1.1 Composición florística bajo la plantación de *Pinus patula* Schl. et Cham.

En la plantación forestal de *Pinus patula*, se registraron 50 individuos, los cuales están distribuidos en 5 familias y 5 especies, siendo *Clethra fimbriata* Kunth la que presentó mayor abundancia, con un total de 23 individuos (Tabla 6).

Tabla 6. Composición florística de regeneración natural bajo la plantación forestal de *Pinus patula* Schl. et Cham.

Nombre científico	Familia	Nro. Individuos
<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae	23
<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae	9
<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae	7
<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae	7
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae	4
Total		50

6.1.2 Carga total de combustible forestal muerto presente en las plantaciones forestales de *Pinus patula* Schl. et Cham.

El contenido de humedad de los combustibles forestales fue de: 58,41 % para hojarasca, 35,54 % para la categoría finos, 39,31 % para ligeros y 28,72 % para la categoría de combustibles medianos (Figura 7, Anexo 1); los cuales mostraron diferencias significativas en los combustibles mediano/regular y la hojarasca con respecto a los demás combustibles, no obstante, entre el combustible fino/liviano y pequeño/ligero no existen diferencias significativas (ANOVA, $p=0,0001$; $\alpha=0,05$) (Tabla 7).

Tabla 7. Contenido de humedad de los combustibles forestales muertos en las plantaciones de pino anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Categoría de tipo de combustible	Contenido de humedad (%)	Representatividad (%)	Error estándar	Coficiente de variación
Hojarasca	58,41	36,71	2,09	11,34
Fino/Liviano	35,54	22,34	1,94	17,28
Pequeño/Ligero	39,31	24,71	4,64	37,36
Mediano/Regular	25,85	16,25	3,43	42,01
Total	46,06	100	12,1	107,99

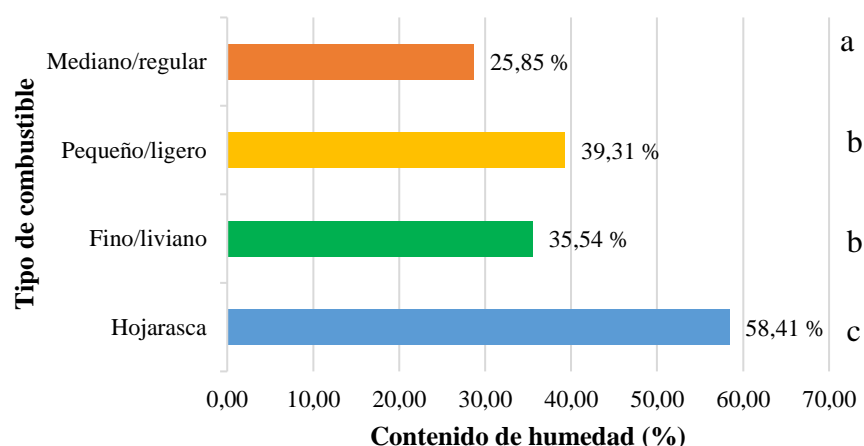


Figura 6. Contenido de humedad de los diferentes tipos de combustibles de la plantación de *P. patula*

La plantación forestal de *P. patula* presentó una carga de combustibles forestal muerto total de $46,06 \text{ Mg ha}^{-1}$, de los cuales la categoría de combustible mediano/regular registra la mayor carga con un total de $20,59 \text{ Mg ha}^{-1} (\pm 4,11)$; mientras que, la categoría con menor carga de combustible corresponde a grande/pesado podrido con una cantidad de $0,72 \text{ Mg ha}^{-1} (\pm 0,38)$ (Tabla 8).

Tabla 8. Carga de combustible forestal muerto en las plantaciones de pino anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.

Categoría de tipo de combustible	Contenido de combustible (Mg ha^{-1})	Representatividad (%)	Error estándar ($\pm \text{Mg ha}^{-1}$)	Coefficiente de variación (%)
Hojarasca	4,04	8,77	0,19	15,04
Fino/Liviano	7,08	15,37	1,57	70,19
Pequeño/Ligero	12,35	26,81	2,51	64,16
Mediano/Regular	20,59	44,70	4,11	63,11
Grande/Pesado podrido	0,72	1,56	0,38	165,42
Grande/Pesado Firme	1,28	2,78	0,55	136,52
Total	46,06	100,00	9,31	514,44

Al comparar las categorías de los combustibles forestales muertos se identificaron diferencias estadísticas significativas ($p= 0,0001$; $\alpha=0,05$). Las categorías mediano/regular y grande/pesado podrido, presentaron diferencias estadísticas significativas en la cantidad de carga de combustible forestal muerto presentes en la plantación forestal de *P. patula*, mientras que, entre el resto de las categorías no se encontraron diferencias estadísticas significativas, tal como se puede observar en la Figura 6.

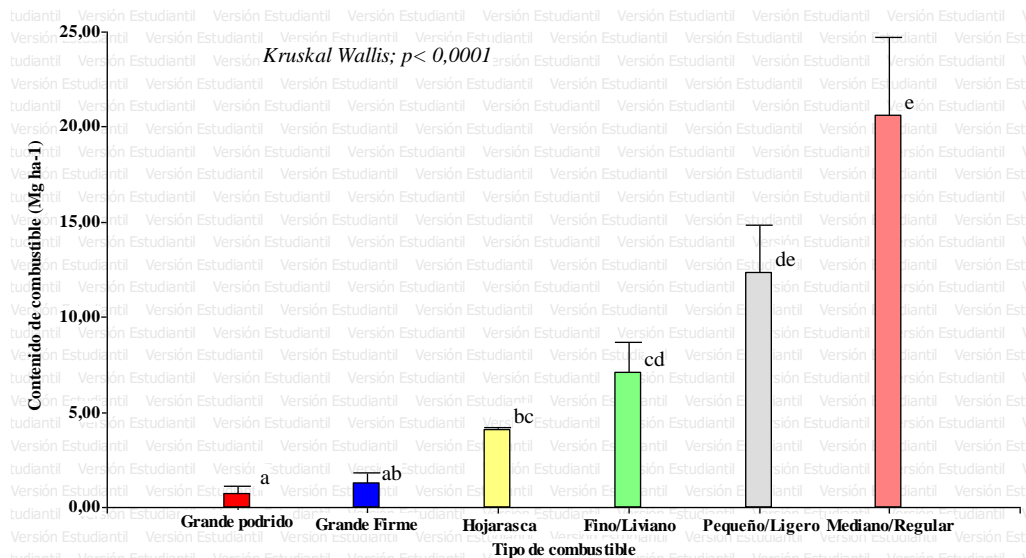


Figura 7. Cargas de combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula*

6.2 Determinación de inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto y su relación con factores ambientales en las plantaciones de pino (*Pinus patula* Schl. et Cham).

6.2.1 Determinación de las características para determinar la inflamabilidad

Las estadísticas descriptivas para las características de la inflamabilidad de los combustibles forestales muertos, evaluadas en condiciones de laboratorio, se presentan en la Tabla 9.

Tabla 9. Estadísticas descriptivas de la inflamabilidad de los combustibles forestales muerto.

Características Inflamabilidad	Estadística	Tipo de combustible				
		Hojarasca	Fino/liviano	Pequeño/ligero	Regular/mediano	Promedio total
Tiempo de ignición (s)	Media	4,52	17,34	32,18	46,55	25,15
	Error típico	0,22	1,01	5,31	8,2	3,69
	Desviación estándar	0,86	3,92	20,57	31,75	14,28
	Coefficiente de variación	18,95	22,62	63,95	68,21	43,43
Sostenibilidad (s)	Media	37,58	118,35	118,35	132,44	101,68
	Error típico	5,39	13,31	13,31	19,48	12,87
	Desviación estándar	20,88	51,54	51,54	75,43	49,85
	Coefficiente de variación	55,55	43,55	43,55	56,96	49,90
Combustibilidad (g/s)	Media	0,016	0,019	0,011	0,006	0,01
	Error típico	0,002	0,001	0,002	0,001	0,00

	Desviación estándar	0,009	0,005	0,009	0,005	0,01
	Coefficiente de variación	54,39	27,24	79,44	85,98	61,76
Altura de la llama (cm)	Media	50,73	32,93	9,27	5,13	24,52
	Error típico	3,35	2,43	1,99	0,7	2,12
	Desviación estándar	12,99	9,39	7,71	2,72	8,20
	Coefficiente de variación	25,6	28,52	83,24	53,03	47,60

El tiempo de ignición promedio para todos los combustibles forestales muertos fue de 25,15 s. La mayoría de los combustibles presentaron tiempos de ignición menores al minuto, en especial la hojarasca, que tuvo una aparición de llama entre 3,35 s a 6,71 s; mientras que, los combustibles medianos tardaron en encenderse en promedio 46,55 s. De modo que se pudo observar una variabilidad en los tiempos de ignición entre los diferentes tipos de combustibles. De acuerdo con la prueba estadística Kruskal Wallis. Las categorías de los combustibles forestales muertos finos/liviano; pequeño/ligero; regular/mediano y la hojarasca, presentaron diferencias estadísticamente significativas, como se observa en la Figura 8.

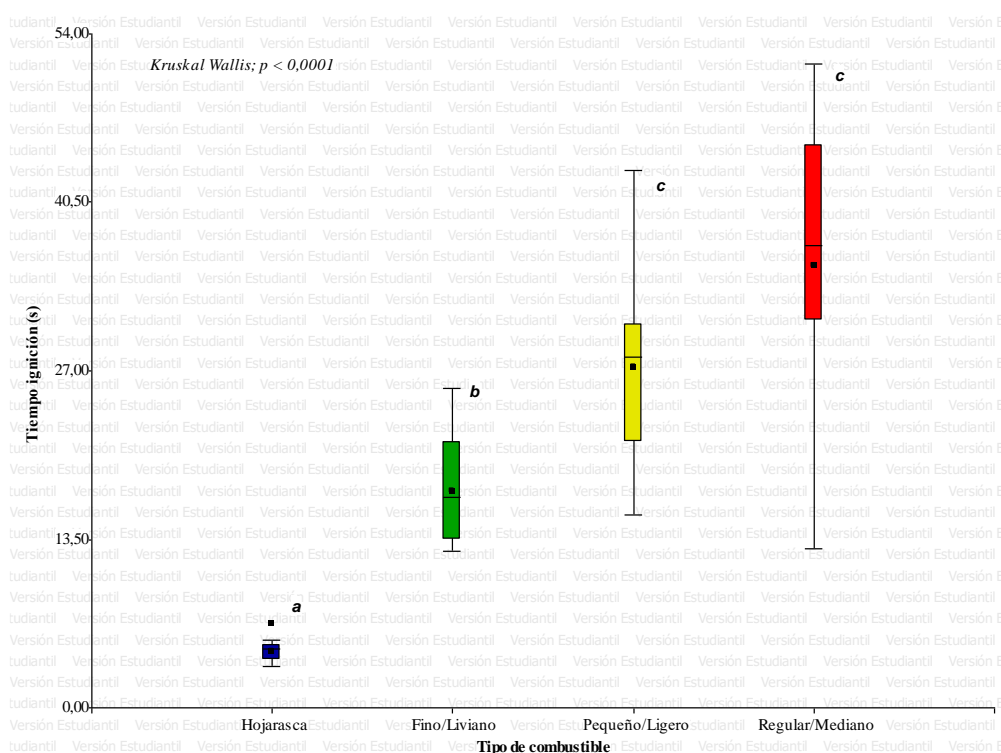


Figura 8. Distribución de los valores de tiempo de ignición del combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula*.

La sostenibilidad o duración de la llama promedio para todos los combustibles forestales muertos fue de 117,66 s. La hojarasca presentó los menores tiempos de sostenibilidad, con un valor promedio de 37,58 s; mientras que, los combustibles medianos/regular presentaron la sostenibilidad más alta, con un promedio de 132,44 s. La prueba Kruskal Wallis ($p= 0,0001$; $\alpha=0,05$) encontró diferencias significativas en la sostenibilidad de la llama entre la categoría hojarasca en comparación al resto de categorías (Figura 9).

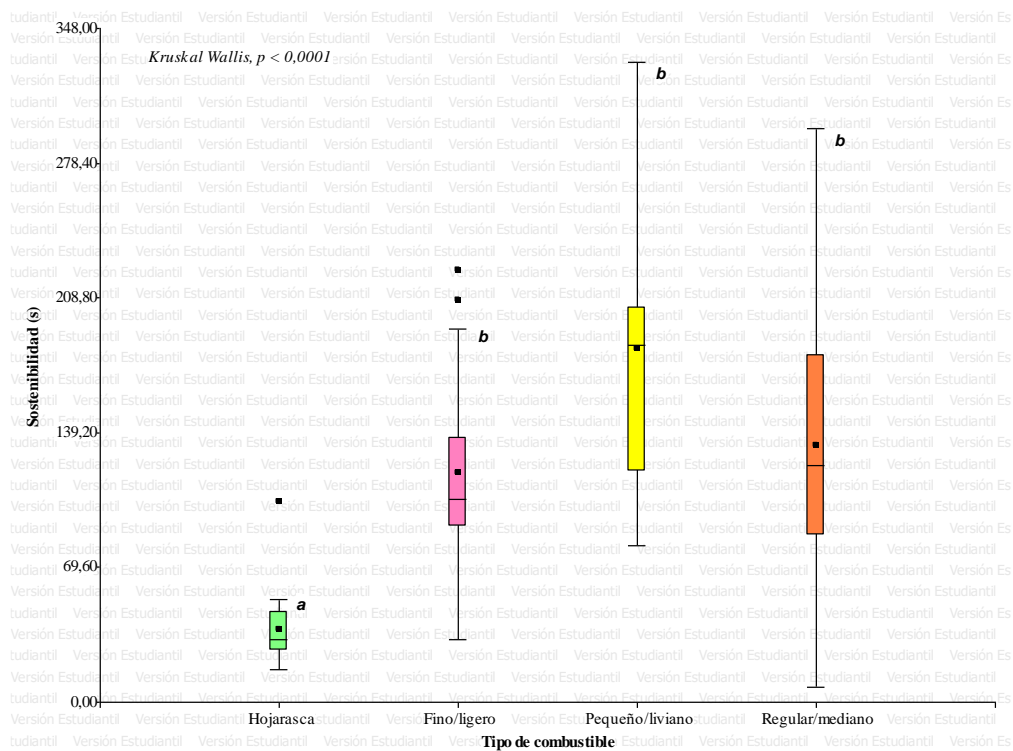


Figura 9. Distribución de los valores de sostenibilidad del combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula*.

La combustibilidad promedio para todos los combustibles forestales muertos fue de 0,0129 g/s. Los combustibles medianos/regular presentaron la menor combustibilidad con un valor de 0,006 g/s, mientras que los combustibles finos/liviano y la hojarasca presentaron la mayor combustibilidad con un valor de 0,016 y 0,019 g/s respectivamente. La prueba Kruskal Wallis evidenció diferencias estadísticas significativas ($p=0,0001$; $\alpha=0,05$) entre los combustibles fino/ liviano y regular/mediano en la combustibilidad de los combustibles, mientras que en el resto de categorías no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Figura 10).

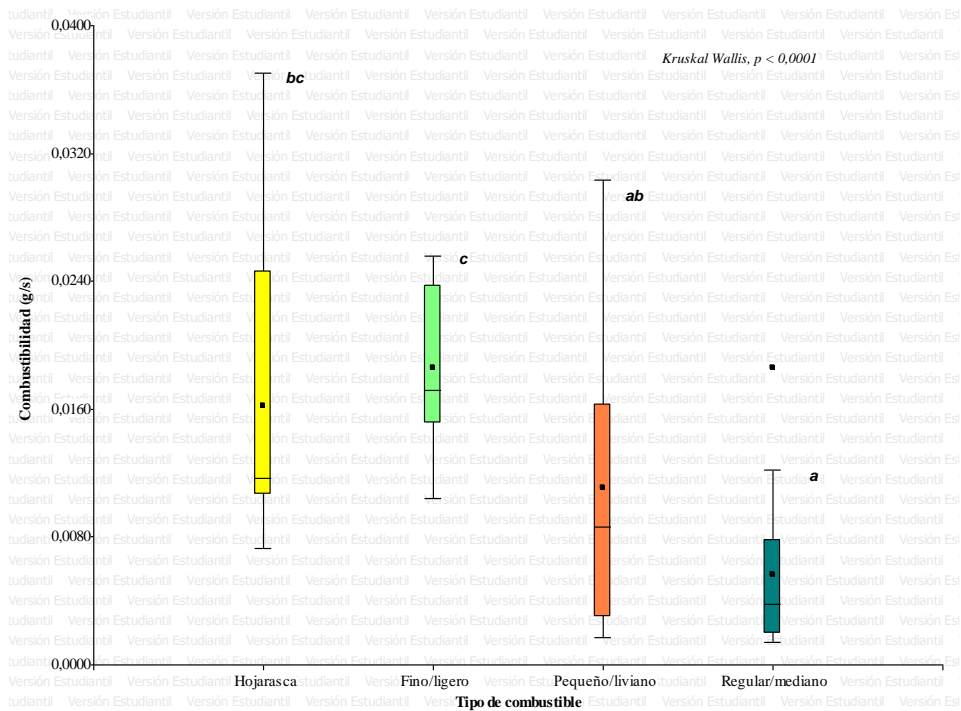


Figura 10. Distribución de los valores de combustibilidad del combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula*.

La altura de la llama promedio para todos los combustibles forestales muertos fue de 24,52 cm. Los combustibles finos y ligeros presentaron alturas promedio de 33 cm y 9,27 cm respectivamente. La prueba Kruskal Wallis mostró la existencia de diferencias significativas ($p = 0,0001$; $\alpha = 0,05$) con respecto a la altura de la llama entre los combustibles forestales: fino/liviano; regular/mediano y el resto de las categorías (Figura 11).

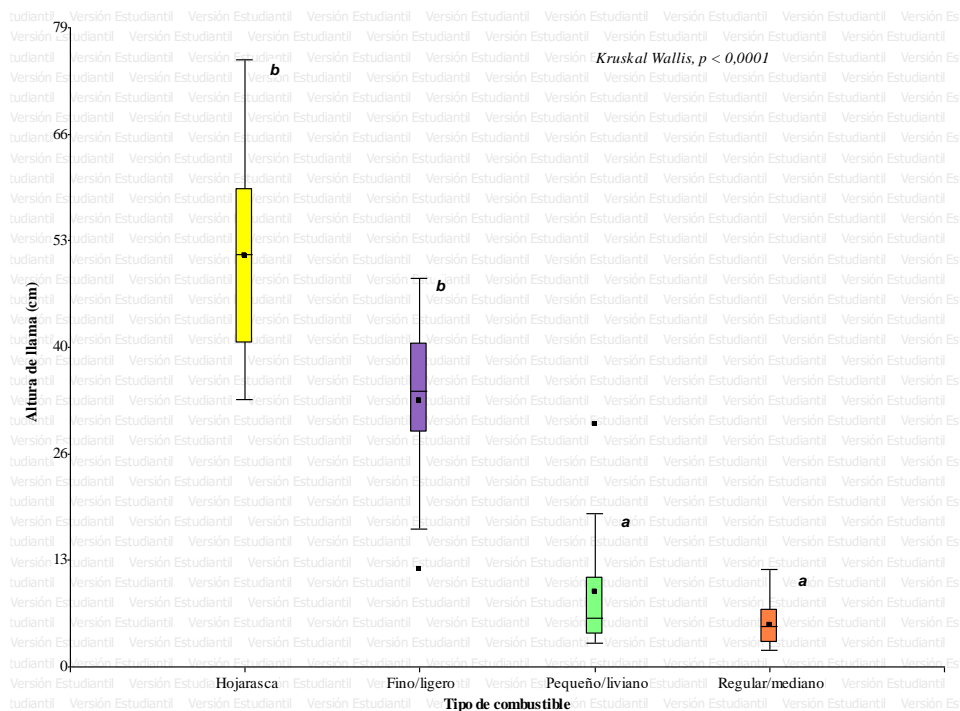


Figura 11. Distribución de los valores de altura de la llama del combustible forestal muerto de la plantación *Pinus patula*.

6.2.2 Inflamabilidad de los combustibles forestales muertos

En lo que tiene que ver con la inflamabilidad de los combustibles forestales muertos se pudo observar que la hojarasca y los combustibles forestales fino/liviano y el pequeño/ligero, son muy extremadamente inflamables, no obstante, el combustible mediano/regular se categorizó como extremadamente inflamable (Tabla 10).

Tabla 10. Índices y categorías de inflamabilidad del combustible forestal muerto en las plantaciones de pino anexas al PUFVC por medio del método de Hachmi et al. (2011).

Tipo de combustible	Índice de inflamabilidad	Categoría
Hojarasca	13,42	Muy extremadamente inflamable
Fino/Liviano	12,29	Muy extremadamente inflamable
Pequeño/Ligero	7,8	Muy extremadamente inflamable
Regular/Mediano	3,94	Extremadamente inflamable

Mediante un análisis clúster de las características de inflamabilidad, por medio de un dendrograma se encontró 2 grupos específicos de combustibles forestales muertos en función de su inflamabilidad, lo que se traduce en que las propiedades de inflamabilidad fueron similares entre los combustibles Fino/liviano y la hojarasca, así mismo, entre los combustibles pequeños y medianos (Figura 11).

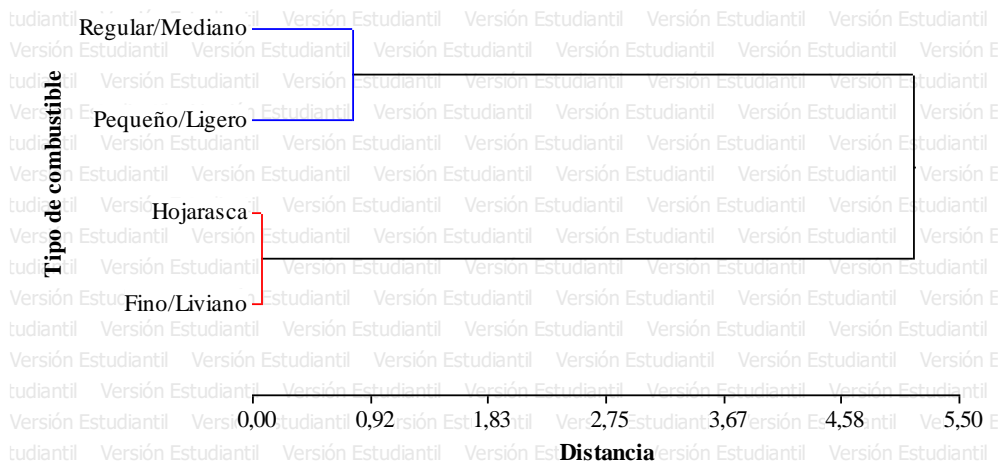


Figura 12. Análisis de clúster por medio de un dendrograma para la inflamabilidad de los combustibles forestal muerto de la plantación *Pinus patula*.

6.2.3 Relación de la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto con los factores ambientales

La humedad relativa, humedad absoluta y temperatura son los factores ambientales que influyen significativamente en la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones forestales de *P. patula*, los dos ejes explican el 70,4 % de la variabilidad de los datos (Figura 13).

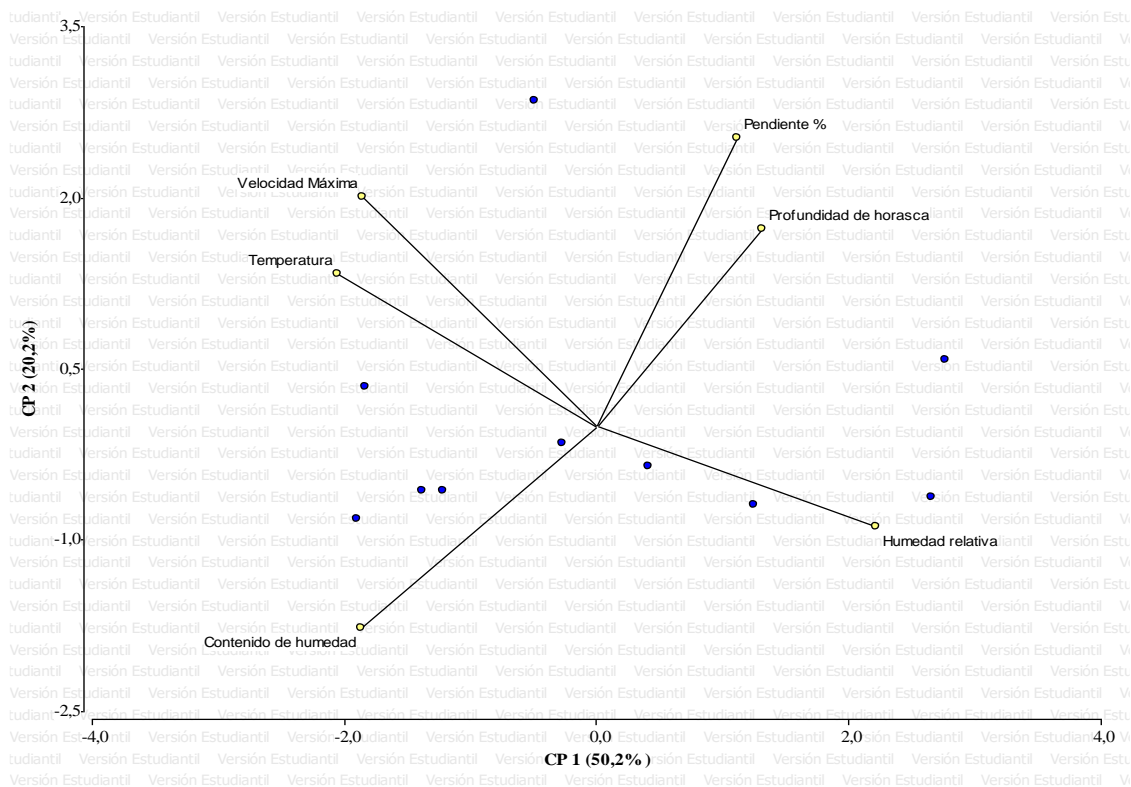


Figura 13. Análisis de componentes principales para determinar la relación entre los factores ambientales y los combustibles forestales muerto en la plantación forestal de *Pinus patula*.

Los valores de correlación entre los factores ambientales y la carga de combustible forestal muerto la pendiente, la profundidad de la hojarasca y la humedad relativa fueron los que registraron una asociación positiva, aunque muy baja, mientras que para el resto de variables ambientales la asociación fue negativa y baja (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de coeficiente de correlación de Spearman entre los factores ambientales y la carga de combustible forestal muerto en la plantación de pino.

Factor ambiental	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de correlación	p-valor
Profundidad (cm)	12,17	4,14	0,15	0,29
Velocidad máxima del viento (m/s)	2,41	0,79	-0,07	0,63
Temperatura (°C)	23,21	2,62	-0,01	0,93
Contenido de Humedad (%)	58,41	0,07	-0,19	0,18
Humedad Relativa (%)	44,95	6,86	0,17	0,23
Pendiente (%)	9,40	10,18	0,20	0,17

7. Discusión

7.1 Carga de combustible forestal muerto en las plantaciones forestales de *Pinus patula*

La cantidad de combustible forestal muerto es un factor crucial en la dinámica de los incendios forestales, porque una mayor cantidad de combustible puede lograr aumentar la velocidad e intensidad de propagación de un incendio, por ende, al existir más material disponible para quemarse puede resultar en incendios más grandes y difíciles de controlar (Skalij, 2010).

La carga de combustible forestal muerto obtenido bajo la plantación forestal de *Pinus patula* en áreas anexas al PUFVC fue de 46,06 Mg ha⁻¹, el cual es un valor mayor al reportado por Granda (2024), quien registró en su estudio una carga total de combustible forestal de 37,81 Mg ha⁻¹. Al comparar con investigaciones realizadas en diferentes especies de pino, Castañeda et al. (2015), registraron en bosques densos de *Pinus hartwegii*, valores de 25 Mg ha⁻¹, para bosques semidensos con 24 Mg ha⁻¹ y para bosques fragmentados un valor de 34 Mg ha⁻¹, mientras que, Carmona et al. (2011) registraron en bosques templados, en donde predomina la especie *Pinus montezumae*, cargas de combustible forestal muerto de 17,90 Mg ha⁻¹, valores inferiores a los reportados en esta investigación, lo cual podría atribuirse al manejo que se da a las plantaciones forestales.

Por otro lado, algunas investigaciones reportan valores similares a los obtenidos en esta investigación de la carga de combustible forestal muerto como la de Caballero (2019) quien registró valores comprendidos entre 41,89 Mg ha⁻¹ y 45,54 Mg ha⁻¹. De manera similar, Chávez (2021) registró una carga de combustible forestal muerto de 42,35 Mg ha⁻¹ en un bosque de Pinus-Quercus.

La categoría de combustible mediano/regular presentó la mayor cantidad dentro de la plantación forestal de *P. patula* anexa al PUFVC, con un valor total de 20,59 Mg ha⁻¹, mientras que, Castañeda et al. (2015) registró en su estudio, que el combustible grande/pesado, fue el que aportó con grandes cargas de combustible dentro de los bosques densos, semidensos y fragmentados de la especie forestal de *Pinus hartwegii*, con valores de 13,22 Mg ha⁻¹, 13,16 Mg ha⁻¹ y 15,02 Mg ha⁻¹ respectivamente, estas diferencias podrían atribuirse a que en la zona de estudio, acciones como la extracción ilegal, el derribo, y aprovechamiento o abandono presente en estos bosques, favorecen a la generación de este tipo de combustible.

La categoría con menor carga de combustible en la plantación forestal de pino en áreas anexas al PUFVC, corresponde al combustible grande/pesado podrido con una cantidad de 0,72

Mg ha⁻¹, de manera similar, Carmona et al. (2011) registraron en su estudio que el combustible con menor carga es el grande/pesado podrido con valor de 0,20 Mg ha⁻¹ en bosques templados de la especie *Pinus montezumae*. En cambio, Castañeda et al. (2015) mencionan que, en su estudio, el combustible con menor carga fue el fino/liviano con un valor de 0,30 Mg ha⁻¹ para los bosques densos, semidensos y fragmentado de la especie *P. hartwegii*.

La variación en la carga de combustible forestal muerto presente en la plantación forestal de *Pinus patula* anexa al Parque Universitario Francisco Vivar Castro, con respecto a los resultados de otras investigaciones, puede deberse a la influencia de factores ambientales como la humedad relativa, la humedad absoluta, la temperatura, la pendiente, el viento, entre otros. Además, la gran acumulación del combustible forestal muerto en esta plantación forestal, se debe a que, en la zona de estudio no existe un manejo silvicultural, de modo que la capa de hojarasca es significativa y en épocas de sequía y bajo condiciones ambientales adecuadas aumenta la probabilidad de ignición de estos combustibles si llegaran a ser influenciados por algún agente de calor, y con ello, llegar a causar un incendio forestal de rápida propagación siendo muy difícil de controlar y que sin duda afectaría al Parque Universitario Francisco Vivar Castro ante lo cual se deben diseñar planes de contingencia en caso de que llegase a presentar algún siniestro.

7.2 Inflamabilidad del combustible forestal muerto en las plantaciones forestales de *Pinus patula*.

Las características de inflamabilidad evaluadas en la carga de combustibles forestales muertos de las plantaciones de *Pinus patula*, se las realizaron bajo condiciones de laboratorio. El mayor contenido de humedad de los combustibles forestales se registró en la categoría hojarasca con 58,41 %, 35,54 % para la categoría finos, 39,31 % para los ligeros y 28,72 % para los combustibles medianos, resultados similares a los registrados por Villers y Won (2007), en donde la humedad de los combustibles para las especies de *Pinus montezumae* y *Pinus hartwegii*, se mantuvieron por arriba del 30 %.

La caracterización de los combustibles forestales bajo plantaciones forestales es un aspecto de gran importancia para la estimación de la inflamabilidad y el peligro de un incendio forestal. La inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto presente en las plantaciones forestales de *Pinus patula*, resultó pertenecer a la categoría de extremadamente inflamable, esto se puede corroborar con lo registrado por Ferriol (2020), en donde se indica que la especie *Pinus halepensis*, es altamente inflamable por la gran cantidad de ramas secas

que arroja al suelo, y la facilidad que tiene para entrar en ignición. Así mismo, Guerrero et al. (2021) registró en su estudio que la especie *Pinus radiata* es inflamable, indicando que existe una alta susceptibilidad a la ignición.

De acuerdo con Neri et al. (2009), en su estudio de inflamabilidad de combustibles forestales, registró que las especies de *Pinus palustris* y *Pinus ponderosa*, generan una llama más larga, por ende, su biomasa se consume más, dando como resultado que estas especies forestales son altamente inflamables al ser expuestas a una fuente de calor. A su vez, Resco et al. (2018) registraron que en la especie *Pinus halepensis*, la senescencia de hojas durante la sequía incrementa la inflamabilidad de esta especie, dando como resultado un alto índice de inflamabilidad en épocas secas. Estos resultados son similares a los encontrados en la plantación forestal de *Pinus patula*, de modo que, esta especie conífera presenta una alta inflamabilidad, lo que lo convierte en un elemento de riesgo en entornos propensos a incendios forestales. Debido a estas características, es fundamental considerar el manejo adecuado de las plantaciones forestales de pino para de este modo, mitigar los riesgos de incendios y proteger tanto la biodiversidad y ecosistemas, así como a las comunidades cercanas a estas áreas.

En la plantación forestal de *Pinus patula* anexa al Parque Universitario Francisco Vivar Castro, se identificó la correlación entre la carga de combustible forestal muerto y los factores ambientales, donde la humedad absoluta, la humedad relativa y la temperatura son los factores que influyen en la carga de combustible, resultados similares a los presentados por Trejo (2011), en el cual, registró que la humedad relativa influye en la carga de combustible forestal dentro de un bosque de *Pinus hartwegii*. La temperatura es otro de los factores ambientales que influyen en la carga de combustible forestal muerto, ya que, a mayor temperatura, la humedad relativa disminuye, lo que a su vez reduce la humedad en los combustibles forestales.

En cambio, los resultados obtenidos por Flores et al. (2010) dentro de un bosque de *Pinus duranguensis*, mencionan que el parámetro ambiental que mayor correlación con respecto a la carga de combustible forestal fue la humedad relativa, siendo este resultado similar a lo obtenido dentro de la plantación forestal de *Pinus patula* en áreas anexas al PUFVC. A su vez la velocidad del viento es otro de los factores ambientales que menor correlación posee con respecto a la carga de combustible forestal presente en la plantación forestal de *Pinus patula*, dicho resultado es similar a lo presentado por Flores et al. (2010), en donde también registraron una correlación relativamente baja con respecto a la carga de combustible forestal dentro del bosque de *Pinus duranguensis*.

De manera general, en esta investigación se evidencia que la temperatura y la humedad relativa, son factores ambientales determinantes en la carga de combustible forestal muerto, al o que Nagy (2021) menciona que existe una relación indirecta entre estos factores ambientales, ya que a mayor temperatura menor humedad relativa, y como consecuencia, la humedad presente en los combustibles forestales también disminuye, de modo que, contribuye a que los combustibles forestales cumplan con las condiciones ambientales adecuadas para que entren fácilmente en ignición al momento de ser expuestos a una fuente de calor externa. Por lo tanto, en las plantaciones de *Pinus patula*, es importante considerar cómo los factores ambientales afectan a la cantidad y a la disponibilidad del combustible forestal muerto ya que el combustible forestal muerto tiene la capacidad de encender y arder cuando se expone a una fuente de calor (Diaz et al., 2012).

8. Conclusiones

- La plantación forestal de *Pinus patula* anexa al Parque Universitario Francisco Vivar Castro presenta en promedio una carga total de combustible forestal muerto de 46,06 Mg ha⁻¹, lo que convierte a estas áreas en un foco de riesgo potencial que facilitaría la propagación de un incendio forestal por lo que su manejo es imperativo.
- En la plantación forestal se encuentran representadas todas las categorías de combustibles forestales muertos con diferencias estadísticas significativas, siendo la categoría de combustible mediano/regular la de mayor contenido con 20,59 Mg ha⁻¹, por lo que este tipo de combustible es importante de considerar en la evaluación del riesgo ante incendios forestales y debe ser objeto de atención al implementar estrategias de manejo forestal.
- Características como el tiempo de ignición, la sostenibilidad y la altura de la llama, de todas las categorías de combustible forestal muerto sugieren que bajo condiciones adecuadas, estos combustibles pueden llegar a encenderse rápidamente, lo que aumenta la vulnerabilidad de la plantación forestal de *P. patula* ante un incendio forestal aspecto que deberá ser considerado dentro de la planificación de estrategias de prevención de incendios forestales para el Parque Universitario Francisco Vivar Castro.
- El nivel de inflamabilidad de los combustibles forestales muertos en las plantaciones forestales anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro muestra diferencias estadísticas significativas siendo las categorías hojarasca y fino/liviano muy extremadamente inflamable y extremadamente inflamable respectivamente, por lo que existe un alto riesgo de ignición y de propagación de un incendio forestal en la zona de estudio.
- Factores ambientales como la humedad relativa, la humedad absoluta y la temperatura pueden influir en la inflamabilidad de la carga de combustible forestal muerto por lo que las condiciones climáticas deben ser monitoreadas para evaluar el riesgo de incendios forestales en la zona.

9. Recomendaciones

- Desarrollar planes de manejo silvicultural enfocados en reducir la carga de combustible forestal muerto con el propósito de reducir el riesgo en caso de que se presente un incendio forestal y que pueda afectar al Parque Universitario Francisco Vivar Castro.
- Sugerir y gestionar entre las autoridades pertinentes que todos los propietarios de terrenos de áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro bajo la cobertura de uso de plantaciones forestales, sean capacitados en temas de Manejo del Fuego, Efectos del Fuego, y Educación Ambiental como una estrategia de prevenir afectaciones a la diversidad del parque.
- Realizar monitoreos continuos tanto de la carga de combustible forestal muerto como de las características de inflamabilidad, especialmente en épocas secas, para prevenir y mitigar el riesgo de que se produzca incendios forestales.

10. Bibliografía

- Aguirre Mendoza, Zhofre, Díaz Ordoñez, Elvis, Muñoz Chamba, Johana, & Muñoz Chamba, Luis. (2014). *Sucesión natural bajo plantaciones de Pinus radiata D. Don (Pinaceae) y Eucalyptus globulus Labill. (Myrtaceae), en el sur del Ecuador*. Revista Arnaldoa, 26(3), 943-964.
- Aguirre, Z., & Palacios, P. F. (2012). *Evaluación del manejo, cumplimiento de objetivos y actualización del plan de manejo del PUEAR*. Repositorio Digital UNL. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/5338>
- Almarza, C. (2004). *Meteorología e incendios forestales: El papel de los Servicios Meteorológicos en el apoyo a la prevención de incendios*. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_AM%2FAM_2004_35_44_48.pdf
- Barreiro, J. (2015). *Establecimiento de plantaciones forestales y su incidencia en la recuperación de suelos degradados* [Tesis de Grado]. Universidad estatal del sur de Manabí. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/91/1/BARREIRO%20SOLEDISPA%20%20JOHNY%20RICHARD.pdf>
- Bianchi, L., Defossé, G., Dentoni, M., Kunst, C., Ledesma, R., & Bravo, S. (2014). *Dinámica de la humedad de los combustibles y su relación con la ecología y el manejo de fuego en la región chaqueña occidental (Argentina) I: conceptos básicos*. Scielo Argentina. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-23142014000200008
- Brown, J. (1974). Hand for inventorying downed woody material. *USDA Forest Service*, 7(2). https://www.fs.usda.gov/rm/pubs_int/int_gtr016.pdf
- Brown. (1982). Handbook for inventorying surface fuels and biomass in the Interior West. *General Technical Report (GTR)*, p 48. doi:<https://doi.org/10.2737/INT-GTR-129>
- Byram, G.M. (1959). *Combustion of forest fuels*. In: Davis, Kenneth P., ed. Forest fire control and use. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Caballero, P. (2018). *Combustibles forestales y susceptibilidad a incendios de un bosque templado en la mixteca alta, Oaxaca, México*. *Foresta Veracruzana*. <https://www.redalyc.org/journal/497/49757295003/49757295003.pdf>
- Cárdenas, L. (2010). *Incendios forestales*. Comisión nacional forestal, Tercera edición, 6-8. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/10/236Gu%C3%ADa%20pr%C3%A1ctica%20para%20comunicadores%20-%20Incendios%20Forestales.pdf>
- Carmona, J., José, F., & Chávez, A. (2011). *Análisis comparativo de cargas de combustibles en ecosistemas forestales afectados por incendios*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63438956004.pdf>

- Carrere, R. (2005). *Pinos y eucaliptos en el Ecuador símbolos de un modelo destructivo*, (*)
Coordinador del movimiento mundial para los bosques. Quito
- Castañeda, M., Endara, A., Villers, M. d. L., & Nava, E. (2015). *Evaluación forestal y de combustibles en bosques de Pinus hartwegii en el Estado de México según densidades de cobertura y vulnerabilidad a incendios*. SciELO México.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712015000200003
- Chávez, A. y Rodríguez, M. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad* 9(2) p. 91- 107.
<http://dx.doi.org/10.18359/ravi.2004>
- Comisión Nacional Forestal (Conafor). (2010). *Procedimiento para la elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales*. Gerencia de Protección Contra Incendios Forestales. Comisión Nacional Forestal. Semarnat. México, D.F., México. 49 p.
- Davies, S.J. y Unam, L. (1999). Smoke-haze from the 1997 Indonesian forest fires: effects on pollution levels, local climate, atmospheric CO₂ concentrations, and tree photosynthesis. *Forest Ecology and Management*, 124: 137-144.
- Díaz, E. G. (2012). *Caracterización de Combustibles Forestales Mediante un Muestreo Directo en Plantaciones Forestales*. Memorias del Cuarto Simposio Internacional Sobre Políticas, Planificación y Economía, 426-436.
<https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/44565>
- Díaz, J. (2015). *Construcción de Mapas de Combustible Forestal para Detectar el Peligro*. Universidad Autónoma de Nueva León.
<http://eprints.uanl.mx/9390/1/1080214888.pdf>.
- Eguiluz , T. (1986). Taxonomic relationships of *Pinus tecunumanii* from Guatemala. *Commonwealth Forestry Review*. 65(4): 303-313.
<http://www.jstor.org/stable/42606597>.
- Ferriol, M. (2020). *El pino carrasco (Pinus halapensis Mill.)*. Repositorio Digital Universidad Politécnica de Valencia.
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/144729/Ferriol%20-%20El%20pino%20carrasco%20%28Pinus%20halapensis%20Mill.%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Flores, J., Xelhuantzi, J., & Chávez, A. (2010). *Monitoreo del comportamiento del fuego en una quema controlada en un rodal de pino-encino*. Scielo México.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v16n1/v16n1a6.pdf>
- Food and Agriculture Organization. (2010). *Global forest resources assessment 2010: Main report*. Editorial FAO.<http://www.fao.org/3/i1757e/i1757e.pdf>

- Food and Agriculture Organization. (2024). *Gestión forestal sostenible* [Página Web]. <https://www.fao.org/sustainable-forests-management/es/>
- Food and Agriculture Organization. (Consultado en 2024). *Capítulo 3. Plantaciones forestales* [Página Web]. FAO. <https://www.fao.org/4/y1997s/y1997s09.htm>
- Gadow, K. v.; S. Sánchez O. y O.A. Aguirre C. 2004. *Manejo forestal con bases científicas*. Madera y Bosques 10(2):3-16
- García, F. (2016). La oxidación dualidad vida y muerte. *Recursos Naturales y Sociedad*. doi:<https://doi.org/10.18846/renaysoc.2016.02.02.02.0001>
- Gómez, Leire. (2017). Combustibles forestales y valoración técnico ambiental. Universidad de Navarra. Recuperado de: https://academic.e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/23242/LGF_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- González, P. (2009). *Impacto de los incendios forestales en suelo, agua, vegetación y fauna*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. <https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONC UENTA&prmID=39186>.
- GOULD, W.A.; GONZÁLEZ, G.; HUDAK, T.A.; HOLLINGSWOTH, N.T. y HOLLINGSWOTH, J. (2008). *Forest structure and downed woody debris in boreal, temperate and tropical forest fragments*. University of Nebraska-Lincoln. *AMBIO- A Journal of the human Environment* 37:577-587.
- Granda, A. (2024). *Caracterización de la carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de Pinus patula Schiede ex Schltdl. & Cham. y Eucalyptus saligna Sm en el Parque Universitario Francisco Vivar*. Repositorio Digital Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/29050>
- Guerrero, F., Hernández, C., Toledo, M., Espinoza, L., Carrasco, Y., Arriagada, A., Muñoz, A., Tabora, L., Bergmann, J., & Carmona, C. (2021). *Leaf Thermal and Chemical Properties as Natural Drivers of Plant Flammability of Native and Exotic Tree Species of the Valparaíso Region, Chile*. MDPI. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/13/7191>
- Hachmi, M., Sesbou, A., Benjelloun, H., El Handouz, N., y Bouanane, F. (2011). A Simple Technique to Estimate the Flammability Index of Moroccan Forest Fuels. *Journal of Combustion*, 2011, e263531. <https://doi.org/10.1155/2011/263531>
- Haltenhoff, H. (2006). *Silvicultura para la prevención de incendios forestales en plantaciones forestales*. Ministerio de agricultura CONAF, 18-22.
- Haltenhoff, Herbert . (1997). *Silvicultura Preventiva*. Corporación Nacional Forestal, Chile.
- Karousakis, K. 2007. *Incentives to reduce GHG emissions from deforestation: lessons learned from Costa Rica and Mexico*. Organization for Economic Co-operation and Development –OECD/IEA-, Paris, FR. 51. [/https://redd.unfccc.int/uploads/2_126_redd_20081208_oecd_incentives.pdf](https://redd.unfccc.int/uploads/2_126_redd_20081208_oecd_incentives.pdf)

- Lindenmayer D, J Fischer. 2006. Habitat Fragmentation and Landscape Change. An Ecological and Conservation Synthesis. Washington D.C., USA. Island Press. 329 p
- López-Upton, J., Williams-Linera, G., Manson, R., Solano, N., & Boege, K. (2004). Simulated thorns and nutrients have interactive effects on seedling predation. *Oikos*, 105(3), 549-558.
- Lozano, D. (2021). *Funcionalidad ecológica en plantaciones de eucalipto, en el Bosque Nacional Ipanema: cuál es la importancia de las plantaciones forestales en la restauración de áreas degradadas?* Bosques latitud cero. <https://n9.cl/9ry7>.
- MAE. (2005). *Plan participativo para la prevención, control de*. MAE. https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2020/11/Informe-de-Situacion-No-005-Incendios-Forestales-08112020_17h00.pdf
- MAE. (2016). *SISTEMA NACIONAL DE CONTROL FORESTAL*. Quito. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/07/1.CONTROL-FORESTAL.pdf>
- Margalef, O., Altava-Ortíz, V., Ramon M. (2017). "Long-term effects of extensive wildfires on the composition of ground-dwelling beetle assemblages in Mediterranean forests". *Forest Ecology and Management*, 391, 66-74.
- Márquez, J., Cruz, H., Alba, J., Mendizábal, L., Ramírez, E. y Pérez, P. (2020). Variación de semillas de *Pinus Patula* Schl. et Cham. de una prueba de progenies en Potrero de García, Veracruz. *Revista Foresta Veracruzana* 22(2) p. 25- 32. <https://www.redalyc.org/journal/497/49766661002/html/#:~:text=Resumen%3A%20Pinus%20patula%20Schl.,dentro%20y%20fuera%20de%20M%C3%A9xico>.
- MetEd, 2016. Intermedie Wildland Fire Behavior, S-290. <https://www.meted.ucar.edu/fire/s290/unit/es/navmenu.php?page=2.2.0>
- Ministerio de Agronomía y Ganadería. (2020). *MAG impulsa plantaciones forestales comerciales para evitar la deforestación*. Ministerio de Agronomía y Ganadería. <https://www.agricultura.gob.ec/mag-impulsa-plantaciones-forestales-comerciales-para-evitar-la-deforestacion/>
- Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2020). *Incendios forestales Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). *Plan Nacional de Acción Ambiental, PLANAA 2011-2019*. Informe Nacional del Estado del Ambiente-INEA 2012-2013
- Moraga, J. (2010). EVALUACIÓN DEL RIESGO ANTE INCENDIOS FORESTALES EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA. *Revista Geográfica de América Central* 2(45) p. 33-64. <https://www.redalyc.org/pdf/4517/451744669002.pdf>
- Moreno, M. (2009). *"Elementos y factores climáticos: Los climas"*. https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_25/M_JOSE_MORENO_2.pdf

- Muñoz, C., Treviño, E., Verástegui, J., Jiménez, J. y Aguirre, O. (2005). Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Revista Investigaciones geográficas* 56 https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112005000100007
- Nagy, A. (2021). *Incendios forestales y su relación con la meteorología*. Blog Meteoclim. <https://blog.meteoclim.com/incendios-forestales-y-su-relacion-con-la-meteorologia>
- Neri, A. C., Rodríguez, D.A., & Contreras, R. (2009). *Inflamabilidad de combustibles forestales en las selvas de Calakmul, Campeche*. *SciELO México*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v25n2/v25n2a2.pdf>
- Ocampo, K. y Beltrán, J. (2018). Modelación dinámica de incendios forestales en los Cerros Orientales de Bogotá, Colombia. *Revista Madera y bosques* 24(3) <https://www.redalyc.org/journal/617/61760315018/html/>
- Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., ... & Shvidenko, A. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993.
- Parra L., Á., & Bernal-Toro, F. (2011). Introducción a la ecología del fuego. En D. Armenteras-Pascual, F. Bernal-Toro, F. Gonzáles-Alonso, M. Morales-Rivas, J. Pabón-Caicedo, G. Páramo-Rocha, & Á. Parra-Lara. *Incendios de Cobertura Vegetal en Colombia* (pp. 17 - 52). Cali, Colombia: Universidad Autónoma de Occidente
- Pausas, J.G., et al. (2017). Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*, 105(2), 289–297.
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *Revista Investigación y Desarrollo* 1(1) p. 11-18 <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8529773.pdf>
- Plana, E. (2016). *Los Incendios Forestales - Guía para Comunicadores y Periodistas*. Proyectos eFIRECOM. <https://es.scribd.com/document/349567271/Los-Incendios-Forestales-Guia-para-Comunicadores-y-Periodistas#>
- Prados, A. (2017). *Análisis de la incidencia de las variaciones climáticas en el régimen de incendios forestales de la comuna de Valparaíso (Chile) entre 1986 y 2014*. Universidad politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/56967/1/PFC_Adrian_Vidal_de_Prados.pdf
- Prevención de Riesgos Laborales. (2014). *Naturaleza del Fuego*. <https://www.cej.es/portal/asesoramientoprl/pdf/p4.pdf>
- Ramos, M., Pico, O., Jimenez, A., Cantos, C., Tapia, M., & Mero, O. (2019). *Comportamiento del fuego a escala experimental en una plantación de Tectona grandis L.f. en Jipijapa, Manabí, Ecuador*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/331157856_Comportamiento_del_fuego_a_

escala_experimental_en_una_plantacion_de_Tectona_grandis_Lf_en_Jipijapa_Manabi_Ecuador

- Reed, D., Cossalter, C., & Mayrand, K. (2018). *Plantations and protected areas: a global assessment*. Recuperado de: <https://www.cifor.org/library/7114/plantations-and-protected-areas-a-global-assessment/>
- Resco, V., Karavani, A., Boer, M., Baudena, M., Colinas, C., Díaz, R., Permán, J., & Enríquez, A. (2018). Deforestación inducida por el fuego en bosques mediterráneos sometidos a sequía. Researchgate. https://www.researchgate.net/profile/Alvaro-Enriquez-De-Salamanca/publication/325177237_Deforestacion_inducida_por_el_fuego_en_bosques_mediterraneos_sometidos_a_sequia/links/5afc416daca272e7302d167c/Deforestacion-inducida-por-el-fuego-en-bosques-mediterran
- Richter, D.D. y Calvo, J.C. (1995). ¿Es una plantación forestal un bosque?. *Revista Forestal Centroamericana*. Turrialba, Costa Rica 11(4) pp. 12-13. <https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6959/A7494e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G. (2000). "Erosion rates associated with prescribed fires on steep mountain slopes in northeast Oregon". *International Journal of Wildland Fire*, 9(1), 25-37.
- Rodríguez, R., Brancalion, S., Isernhagen, I. (2009). Pacto para a restauração ecológica da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal. São Paulo: Instituto BioAtlântica, 256 p.
- Ruiz de la Torre, J. (2004). Effects of thinning on *Pinus patula* diseases: incidence and severity. *Forest Ecology and Management*, 199(2-3), 183-195.
- Sarango, J. (2019). *IMPACTO ECOLÓGICO DE UN INCENDIO FORESTAL EN LA FLORA DEL PÁRAMO ANTRÓPICO DEL "PARQUE UNIVERSITARIO DE EDUCACIÓN AMBIENTAL Y RECREACIONAL FRANCISCO VIVAR CASTRO" DE LA CIUDAD DE LOJA*. Universidad Nacional de Loja. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22526/1/Johanna%20Maribel%20Sarango%20Cobos.pdf>.
- Segovia, S. (2019). *Teoría del Fuego*. Municipio de Malvinas Argentinas. https://biblioteca.malvinasargentinas.ar/gobierno/GOB_teoría_fuego.pdf
- Trejo, J. (2011). *Análisis de fenología del ensayo de procedencias de Pinus patula Schlect. et Cham en la provincia de Imbabura, sitio Iltaquí en el Periodo 2010-2011* [Trabajo de Titulación]. Universidad Técnica del Norte. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/2065/4/03FOR198TESIS.pdf>
- Troya, D. (2017). *Análisis del efecto generado por los incendios forestales sobre la diversidad, abundancia y gremios tróficos de la avifauna del Parque Metropolitano Guanguiltagua de Quito*. <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1903>

- Urzúa, N. (2011). Incendios forestales: principales consecuencias. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*
- Van Gadow, K., S. Sánchez O. y Aguirre C. (2004). Manejo forestal con bases científicas. *Madera y Bosques* 10(2):3-16 <https://www.redalyc.org/pdf/617/61710201.pdf>
- Velasco, J., Cervantes, F., Lajones, J. y Batíoja, C. R. (2024). Sostenibilidad ecológica de los bosques nativos del cantón Eloy Alfaro, provincia Esmeraldas Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias* 6(1) p. 85- 97. <https://editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/1028/1411>
- Villers, L., & Won, J. (2007). *Evaluación de combustibles y su disponibilidad en incendios forestales: un estudio en el Parque Nacional La Malinche*. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/26495651_Evaluacion_de_combustibles_y_su_disponibilidad_en_incendios_forestales_un_estudio_en_el_Parque_Nacional_La_Malinche
- Vinueza, M. (2013). *Fichas técnica especies forestales Ecuador, Ficha n° 13 Pinus radiata* Ecuador forestal. Quito.
- Vozzo, J.A. 2003. Tropical Tree Seed Manual. USDA, Forest Service. 874p. Part II: Species Descriptions. *Pinus patula* Schiede & Schltdl & Cham. by W.S. Dvorak. P 632-635.
- Walker XJ, Rogers BM, Veraverbeke S, Johnstone JF, Baltzer JL, Barrett K, Bourgeau-Chávez L, DayNJ, Groot WJ, Dieleman CD, Goetz S, Hoy E, Jenkins LK, Kane ES, ParisienMA, Potter S, Schuur EAG, Turetsky M, Whitman E, Mack MC. (2020). Fuel availability not fire weather controls boreal wildfire severity and carbon emissions. *Nature Climate Change* 10: 1130-1136
- Williams, M.A., et al. (2020). The effects of insects on wildfires as modulated by host plant traits, climate and ecosystem factors. *Forests*, 11(2), 186.

11. Anexos

Anexo 1 . El contenido de humedad de los combustibles forestales

Nro	Combustible	Peso húmedo (gr)	Peso seco (gr)	Contenido de humedad %	Promedio
1	Hojarasca	298,9	99,35	66,76	
2	Hojarasca	195,15	98,5	49,53	
3	Hojarasca	251,3	102,2	59,33	
4	Hojarasca	233,9	81,1	65,33	
5	Hojarasca	379,75	135,3	64,37	
6	Hojarasca	228,4	89	61,03	58,41
7	Hojarasca	243,3	111,6	54,13	
8	Hojarasca	267,5	102,3	61,76	
9	Hojarasca	227,4	105,7	53,52	
10	Hojarasca	167,15	86,35	48,34	
11	Fino	20,3	11,2	44,83	
12	Fino	17,8	10,5	41,01	
13	Fino	22,3	12,4	44,39	
14	Fino	19,8	12,4	37,37	
15	Fino	24,7	17,3	29,96	
16	Fino	17,5	11,9	32,00	35,54
17	Fino	19,6	13,9	29,08	
18	Fino	25,3	17,5	30,83	
19	Fino	19,5	13,7	29,74	
20	Fino	14,1	9	36,17	
21	Pequeño	86,5	25,5	70,52	
22	Pequeño	79,6	45,6	42,71	
23	Pequeño	83,7	45	46,24	
24	Pequeño	74,9	45,5	39,25	
25	Pequeño	77,9	56,8	27,09	
26	Pequeño	49,1	36,8	25,05	39,31
27	Pequeño	77,5	35,9	53,68	
28	Pequeño	113,5	78,5	30,84	
29	Pequeño	99,7	76,3	23,47	
30	Pequeño	154,5	101,6	34,24	
31	Mediano	75,3	51,2	32,01	
32	Mediano	109,1	77,7	28,78	
33	Mediano	40,8	25	38,73	
34	Mediano	80	59,4	25,75	
35	Mediano	113,2	89,4	21,02	28,72
36	Mediano	83,4	66,7	20,02	
37	Mediano	168,2	109,2	35,08	
38	Mediano	138,2	103,5	25,11	
39	Mediano	119,3	81,1	32,02	

Anexo 2 . Composición florística que se desarrolla bajo las plantaciones

PARCELA 1	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae

	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
PARCELA 2	Nombre científico	Familia
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
PARCELA 3	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
PARCELA 4	Nombre científico	Familia
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
PARCELA 5	Nombre científico	Familia
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
PARCELA 6	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
PARCELA 7	Nombre científico	Familia
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
PARCELA 8	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill	Myrtaceae

PARCELA 9	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae
PARCELA 10	Nombre científico	Familia
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Prunus opaca</i> Walp	Rosaceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Clethra fimbriata</i> Kunth	Clethraceae
	<i>Siparuna muricata</i> (Ruiz & Pav.) Pers	Rubiaceae
	<i>Viburnum triphyllum</i> Benth	Adoxaceae

Anexo 3. Base de datos de Inflamabilidad de los combustibles forestales

Parcela	Combustible	Carga de combustible	Pendiente (%)	Profundidad (cm)	Velocidad Máxima	Temperatura (°C)	Contenido de Humedad	Humedad relativa
1	Fino	5,04	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
1	Pequeño	9,43	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
1	Mediano	15,26	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
1	Grande firme	0	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
1	Grande podrido	0	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
1	Hojarasca	3,97	2	15,5	3,4	24,4	0,67	36,8
2	Fino	16,22	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
2	Pequeño	17,38	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
2	Mediano	22,6	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
2	Grande firme	0	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
2	Grande podrido	0	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
2	Hojarasca	3,94	22	16	3,6	26,1	0,5	38,2
3	Fino	4,95	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
3	Pequeño	10,34	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
3	Mediano	34,25	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
3	Grande firme	3,17	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
3	Grande podrido	2,52	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
3	Hojarasca	4,09	7	16,3	1,5	20,2	0,59	45,5
4	Fino	4,87	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6
4	Pequeño	6,6	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6
4	Mediano	6,27	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6
4	Grande firme	0	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6

4	Grande podrido	0	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6
4	Hojarasca	3,24	5	10,5	2,5	23,7	0,65	39,6
5	Fino	2,31	3	5	3	24,3	0,64	40,6
5	Pequeño	7,51	3	5	3	24,3	0,64	40,6
5	Mediano	7,81	3	5	3	24,3	0,64	40,6
5	Grande firme	0	3	5	3	24,3	0,64	40,6
5	Grande podrido	0	3	5	3	24,3	0,64	40,6
5	Hojarasca	5,41	3	5	3	24,3	0,64	40,6
6	Fino	8,05	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
6	Pequeño	15,34	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
6	Mediano	23,12	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
6	Grande firme	4,56	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
6	Grande podrido	0	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
6	Hojarasca	3,56	18	7,2	2,2	25,2	0,61	48,8
7	Fino	6,09	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
7	Pequeño	6,81	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
7	Mediano	9,54	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
7	Grande firme	0	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
7	Grande podrido	0	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
7	Hojarasca	4,46	2	14	1,4	24,9	0,54	44,3
8	Fino	3,48	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
8	Pequeño	9,29	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
8	Mediano	9,4	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
8	Grande firme	2,71	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
8	Grande podrido	1,77	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
8	Hojarasca	4,09	1	8	2,9	24,8	0,62	43,6
9	Fino	15,86	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
9	Pequeño	32,48	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
9	Mediano	41,4	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
9	Grande firme	0	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
9	Grande podrido	0	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
9	Hojarasca	4,23	30	14,2	1,8	19,9	0,54	56,6
10	Fino	3,89	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5
10	Pequeño	8,3	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5
10	Mediano	36,26	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5
10	Grande firme	2,31	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5
10	Grande podrido	2,91	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5
10	Hojarasca	3,45	4	15	1,8	18,6	0,48	55,5

Loja, 25 de marzo del 2025

Yo, Anthony Ricardo Calderón Córdova, con número de cédula 1105638090, Licenciado en Pedagogía del Idioma Inglés

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto, correspondiente al Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Forestal Curricular denominado: **Inflamabilidad y carga de combustible forestal muerto de las plantaciones forestales de pino *Pinus patula* Schl. et Cham, en áreas anexas al Parque Universitario Francisco Vivar Castro**, elaborado por **Daniel Alejandro Maldonado Jumbo**, con número de cédula 1105661159.

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

Atentamente. –

Lic. Anthony Ricardo Calderón Córdova

C.I: 1105638090

Tel.: 0959154688

Correo electrónico: anthonycalde1234@gmail.com